



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL
CRECIMIENTO DE *Argopecten
Purpuratus* (Lamarck,1819) EN LAS
ZONAS DE SECHURA (5°S) Y
CALLAO (12°S) DURANTE EL 2016**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR

BACH. CLAUDIA SILVANA JÁCOBO
GONZÁLES

LIMA - PERÚ

2018

“...And if you were to say that these shells were created, and were continually being created in such places by the nature of the spot, and of the heavens which might have some influence there, such an opinion cannot exist in brain of much reason, because here are the years of their growth, numbered on their shells...”

Leonardo da Vinci (34)

ASESOR DE TESIS

Dimitri GUTIÉRREZ AGUILAR

Dr. en Oceanografía

Coordinador del Programa de la Maestría en Ciencias del Mar - Universidad

Peruana Cayetano Heredia

Director General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático -

Instituto del Mar del Perú

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto y la culminación de la tesis fue realizado gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) del Ministerio de Educación del Perú dentro del financiamiento para los estudios de posgrado con la beca otorgada.

Agradezco a mi asesor, Dr. Dimitri Gutiérrez, por sus críticas constructivas, constante seguimiento, dedicación, empuje y confianza en la realización de la tesis y formación como investigadora, sin usted nada de esto sería posible.

Al Magister Juan Arguelles por compartir la información necesaria y ayudarme a entender algunas cosas de pesquería, ya que para mí fue algo nuevo.

Así mismo, a los laboratorios de la Dirección General de Investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático (Geología, Química y Bentos) y al Área de Invertebrados Marinos de la Dirección General de Investigaciones de Recursos Demersales y Litorales, por permitirme el uso de sus instalaciones y enseñanza en los análisis de las muestras y datos.

También agradezco el apoyo de Juanita, Ernesto y Federico, por adoptarme un par de meses para realizar mis cortes, mediciones y fotografías en el laboratorio de Geología, también a Wilson y Tony por brindarme la información necesaria.

Un agradecimiento especial al Sr. Roberto Valdéz, siempre estuvo pendiente de que realice mis muestreos a tiempo, informándome, apoyándome y sacándome una sonrisa, siempre se le extrañará.

A mis amigos y colegas del laboratorio de Bentos Marino, Luchito, Robert, Víctor y Dennis por el constante apoyo, consejos y brindarme un espacio donde pude trabajar esta investigación, también por la compañía y amistad durante todo este tiempo.

A la empresa Iprisco por permitirme realizar mi experimento en las mejores condiciones, al Ing. Alcázar, Urizar, Robert, Tommy y a todo el equipo que trabajo conmigo, gracias por los consejos, la comida y la compañía, ¡son lo máximo chicos!

A mis amigos y compañeros de la maestría que me permitió conocer y sentirme acompañada en este largo tramo, en especial a André, Analí, Zulita, Flavio, Iván, José Luis, Karen y Roger, eternamente agradecida con ustedes.

A mis profesores de la maestría que me brindaron los conocimientos y las herramientas necesarias para poder realizar este trabajo, en especial a la Dra. Graco, Dr. Villegas, Dr. Aguirre y al Dr. Tam.

A Gersson que siempre se acordó de mí, me dio apoyo de manera moral, entre otras cosas, ¡gracias!

A mis amigos y colegas molineros que nunca se cansaron de animarme hasta lo último: Valeria, Ivonne, Carlos, Andreina, André, Analu, Denis y Angie, pero en especial a Yuriko y Andrea mis hinchas, mis hermanas, por su paciencia, pero sobre todo su amor incondicional.

A mis amigos de toda la vida: Ornella, Karina, Meliza, César, Giovana y Miguel L., son parte de mí, a pesar que no nos veamos mucho, son siempre necesarios e importantes.

A Patricia Ayón por el empuje, ánimos y amistad sincera, que a veces me faltaba.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi mamá y a mi mami de cara, porque sin ellas no sería lo que soy, gracias por siempre impulsarme a tener sueños y metas.

Por último, a mis hermanos y a mis sobrinitos por la comprensión, amor y empuje en esta carrera llena de preguntas.

RESUMEN

La concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) es una especie de importancia comercial y genera el desarrollo de la acuicultura en el país. Este estudio se realizó con la finalidad de identificar qué variables ambientales en una condición natural, son favorables para su crecimiento. Para ello se realizó una comparación de dos ambientes submareales, la Isla San Lorenzo en Callao (12°S) y la zona de Constante ubicada en la bahía de Sechura en Piura (5°S), desde marzo hasta agosto del 2016. Se estimaron la temperatura, oxígeno disuelto y la concentración de clorofila-a satelital en ambas zonas y se realizaron experimentos de marcaje y recaptura para evaluar el crecimiento individual. De los tres factores abióticos considerados, se encontró que la zona de isla San Lorenzo presentó concentraciones de oxígeno disuelto significativamente inferiores a las de Constante en la realización de los experimentos, presentando además períodos de hipoxia costera e hipoxia severa, que no se registraron en Constante. En ambos sitios se escogieron al azar aproximadamente entre 100 - 300 individuos para realizar el marcaje físico, de los cuales se colectó una submuestra de 100 individuos para realizar un marcaje químico con calceína. En Constante la tasa de crecimiento fue menos variable en sus diferentes rangos de tallas y en el tiempo; mientras que en el caso de la Isla San Lorenzo se determinaron tasas de crecimiento más variables durante el periodo de estudio. Estos resultados sugieren que los eventos de hipoxia limitan la tasa de crecimiento de la concha de abanico en la zona de la Isla San Lorenzo. Por otro lado, se realizó el conteo de las estrías de crecimiento en dos individuos seleccionados en la zona de Constante y cuatro individuos de San Lorenzo, encontrándose que en promedio la tasa de formación de estrías en ambas zonas no fue significativamente distinta de 1 estría por día, acorde con lo reportado por otros estudios para la especie.

Palabras claves: Tasa de crecimiento, microcrecimiento, *Argopecten purpuratus*, Bahía de Sechura, Isla de San Lorenzo.

ABSTRACT

The Peruvian scallop (*Argopecten purpuratus*) is a species of important commercial value and contributes to the development of aquaculture in the country. The present study was carried out with the purpose of identifying which environmental variables in a natural condition are favorable for its growth. To do this, a comparison was made of two subtidal environments, the San Lorenzo Island in Callao (12 ° S) and the Constant zone that is located within the Sechura bay in Piura. (5 ° S) from March to August 2016. At both sites, there were estimated the temperature, dissolved oxygen contents, and the satellite chlorophyll-a for the area. In parallel, mark and recapture experiments were carried out to evaluate individual growth. From all the abiotic factors, it was found that the San Lorenzo Island area presented significantly lower concentrations of dissolved oxygen at the depth of the experiments, and periods with concentrations below the hypoxia and severe hypoxia thresholds were determined, which did not occur in Constante. Approximately 300 - 350 individuals were chosen at random to carry out the physical marking, from which a subsample of 100 individuals was collected to make a chemical mark with calcein. We found that the individuals of Constant developed a higher growth rate, which was more constant among the size ranges and with time; while in the case of San Lorenzo Island, growth rates were lower and more variable than those of Constante during the study period. These results suggest that hypoxia events limit the growth rate of the fan shell in the San Lorenzo island area. On the other hand, the count of growth lines was performed in two selected individuals in the area of Constant and four individuals of San Lorenzo, finding that at both areas the individuals formed around one growth line per day, on average, according to what has been reported previously for the species.

Keywords: Growth rate, micro growth, *Argopecten purpuratus*, Sechura Bay, San Lorenzo Island.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1	Planteamiento del problema	3
2.2	Marco teórico	5
2.2.1	Ecología de los pectínidos	5
2.2.2	Factores abióticos	6
2.2.3	Variaciones geográficas o latitudinales	11
2.2.4	Crecimiento en los pectínidos	12
2.2.5	La Concha de Abanico (<i>Argopecten purpuratus</i> , Lamarck 1819)	14
2.2.6	Reproducción en la concha de abanico	20
2.2.7	Las tasas de crecimiento en la concha de abanico	21
2.2.8	Metodología de estimación del crecimiento mediante marcaje y recaptura 21	
2.2.9	La ecuación de Von Bertalanffy y su aplicación en los pectínidos	23
2.2.10	Micro - crecimiento	24
2.3	Justificación del estudio	28
2.4	Objetivos	29
2.4.1	General	29
2.4.2	Específicos	29
2.5	Hipótesis	30
3	METODOLOGÍA	30
3.1	Diseño de estudio	30
3.1.1	Tipo de estudio	30
3.1.2	Población en estudio	30
3.1.3	Operacionalización de las variables	30
3.1.4	Área de estudio	31
3.2	Procedimiento y técnicas	34
3.3	Recolección de datos	34
3.3.1	Marcaje y recaptura de individuos para seguir su crecimiento	34
a)	Constante	35
b)	San Lorenzo	35
3.3.2	Análisis biológico y marcaje químico con calceína	35
3.3.3	Recolección de datos de temperatura, oxígeno disuelto y clorofila – a	36

3.4	Técnicas de procesamiento de datos	37
3.4.1	Determinación de tasas de crecimiento	37
3.4.2	Parámetros de crecimiento	39
a)	Parámetros de crecimiento	39
b)	Determinación de los valores de t_0 y rendimiento de crecimiento	40
3.4.3	Análisis biológico.....	40
3.4.4	Micro – incrementos, marca con calceína y conteo de estrías	41
3.5	Análisis y procesamiento de datos	42
3.5.1	Condiciones Reproductivas.....	42
a)	Índice Gonodosomático.....	42
b)	Factor de condición de Fulton.....	43
3.5.2	Comparación del crecimiento en <i>Argopecten purpuratus</i> entre Constante y San Lorenzo.....	43
4	RESULTADOS	45
4.1	Condiciones oceanográficas durante el estudio	46
4.1.1	Condiciones oceanográficas superficiales.....	46
4.1.2	Condiciones oceanográficas subsuperficiales.....	49
a)	Isla San Lorenzo - Callao.....	49
b)	Constante, Bahía de Sechura – Piura	50
4.1.3	Comparación de sitios	51
4.2	Cambios temporales en la estructura de la población	53
4.2.1	Estructura de tallas.....	53
a)	Isla San Lorenzo – Callao	53
b)	Constante, Bahía de Sechura – Piura	55
4.2.2	Relación longitud – peso.....	56
4.2.3	Madurez gonadal e índice gónado – somáticos	59
4.2.4	Factor de condición	62
4.3	Crecimiento de la altura valvar y sus variaciones durante el estudio.....	64
4.3.2	Relación de las variables ambientales con los parámetros de crecimiento .66	
4.3.3	Comparación de la estimación de parámetros de crecimiento	67
4.3.4	Estimación de los valores de índice de crecimiento (Φ) y t_0	68
4.3.5	Tasas de crecimiento de individuos mediante marcaje y recaptura (M/R)	
	69	
a)	Isla San Lorenzo – Callao	69

b)	Constante, Bahía de Sechura.....	71
4.3.2	Relación entre las tasas de crecimiento (M/R) y las variables ambientales	74
a)	San Lorenzo.....	74
b)	Constante.....	76
c)	San Lorenzo – Constante.....	76
4.4	Micro - crecimiento de la concha de <i>Argopecten purpuratus</i> y su relación con los factores ambientales	79
4.4.1	Crecimiento diario de las estrías y tasa de micro – incrementos	79
a)	San Lorenzo.....	79
b)	Constante - Bahía de Sechura, Piura	83
4.5	Relación con los parámetros ambientales	85
4.5.1	Relación entre los micro – incrementos con las variables oceanográficas	85
a)	Isla San Lorenzo.....	85
b)	Constante. Bahía de Sechura -Piura	86
5	DISCUSIÓN.....	88
5.1	Análisis crítico de la utilización de diferentes metodologías	88
5.2	Contexto ambiental del estudio de las tasas de crecimiento	90
5.3	Parámetros poblacionales y su relación con los cambios en el ambiente ...	93
5.4	Esclerocronología, ritmos de crecimiento y variabilidad de factores ambientales.....	97
6	CONCLUSIONES	100
7	RECOMENDACIONES	101
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103
9	ANEXOS.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de la concha de abanico (Aguirre, 2009).....	16
Figura 2. Desembarque de concha de abanico 1953 - 2017 con los eventos El Niño Costero	17
Figura 3. Bancos naturales de <i>A. purpuratus</i> en el litoral peruano. (Mendo et al., 2016).....	19
Figura 4. Comparación de crecimiento de diferentes especies. Heilmayer (2004).	24
Figura 5. Modelo de la formación de la concha, mediada por las células en <i>M. galloprovincialis</i> . El tamaño de la cavidad extrapalial se agranda en aras de la claridad (Calvo-Iglesias et al., 2016).	25
Figura 6. (a) Vista externa de la valva derecha de <i>Argopecten purpuratus</i> . El eje de crecimiento máximo está indicado por la flecha negra. (b) Imagen (microscopía electrónica de barrido) de las estrías diarias tomadas a lo largo del eje de crecimiento máximo. (Thébault, 2008).....	27
Figura 7. Localidades de estudio: Isla San Lorenzo - Callao (superior), y de Constante, bahía de Sechura – Piura (inferior). Los símbolos de estrella indican las zonas evaluación. El triángulo indica la Estación 2 Fija Callao (IMARPE).....	32
Figura 8. La concha de abanico. (A) Vista de la parte externa del caparazón. (B) Marca de calceína detectada con la fluorescencia. (C) Sección delgada vista bajo luz difusa, con el umbo hacia la izquierda y creciente borde a la derecha. (D) Detalle de la sección delgada que muestra los cambios por el sometimiento al estrés debido al marcaje con calceína.	42
Figura 9. Micro - incrementos observados con el estereoscopio a un aumento de 1x (ZEN) calculados con el programa Zen Blue.....	42
Figura 10. Promedio mensual de la temperatura superficial de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura (flechas verticales).	48
Figura 11. Promedio mensual del oxígeno disuelto superficial de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura. (flechas verticales).....	48
Figura 12. Promedio mensual de la clorofila a (mg m^{-3}) de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura (flechas verticales).	49
Figura 13. Promedio mensual de la temperatura de fondo de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura respectivamente.	50
Figura 14. Promedio mensual del oxígeno disuelto de fondo de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015	

hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura respectivamente y la línea verde punteada indica la hipoxia costera ($1,43 \text{ mL L}^{-1}$).	51
Figura 15. Histogramas de los individuos marcados en las cuatro fechas donde se realizó marcaje: a) 21/03/16, b) 28/04/16, c) 09/06/16, d) 25/07/16 en la zona de la isla San Lorenzo, Callao.....	54
Figura 16. Histogramas de los individuos recapturados en las tres fechas donde se obtuvieron individuos recapturados: b) 28/04/16, c) 09/06/16, d) 25/07/16 en la zona de la isla San Lorenzo, Callao.	55
Figura 17. Histogramas de los individuos marcados el (a) 01/05/2016 y los recapturados en las tres fechas restantes donde se realizó la recaptura en las siguientes fechas: (b) 13/05/2016, (c) 24/06/2016 y (d) 07/08/2016 en la zona de Constante en la bahía de Sechura, Piura.	56
Figura 18. Arriba: Ecuación exponencial entre el peso total (gr) vs altura valvar (mm) en la zona de la isla San Lorenzo en la primera fecha de la marcación con las tres fechas de recaptura con sus respectivas ecuaciones alométricas. Abajo: Regresiones lineales con los valores logarítmicos del peso total (gr) vs altura valvar (mm).	58
Figura 19. Arriba: Ecuación exponencial entre el peso total (gr) vs altura valvar (mm) en la zona de Constante con las tres fechas de recaptura con sus respectivas ecuaciones alométricas. Abajo: Regresiones lineales con los valores logarítmicos del peso total (gr) vs altura valvar (mm)	59
Figura 20. Madurez Gonadal en las 4 fechas de toma de muestra en la zona de la isla San Lorenzo – Callao.....	60
Figura 21. Madurez Gonadal en las 3 fechas de toma de muestra en la zona de Constante en la bahía de Sechura - Piura.	61
Figura 22. Promedio del IGS por grupos de talla de concha de abanico en la isla San Lorenzo - Callao: 21 de marzo, 28 de abril, 09 de junio y 25 de julio del 2016.	62
Figura 23. Promedio del IGS por grupos de talla de concha de abanico en Constante, Bahía de Sechura - Piura: 13 de mayo, 24 de junio y 12 de agosto del 2016.	62
Figura 24. Promedio del factor de condición por rangos de talla de altura valvar en la isla San Lorenzo - Callao: 21 de marzo, 28 de abril, 09 de junio y 25 de julio del 2016.	63
Figura 25. Promedio del factor de condición por rangos de talla de altura valvar en Constante, Bahía de Sechura - Piura: 13 de mayo, 24 de junio y 12 de agosto del 2016.	64
Figura 26. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy con el método de Gulland & Holt (1959), por los períodos de estudios en las dos zonas.....	65
Figura 27. Relación de las variables ambientales con los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy (L_{inf} y k), donde la línea punteada roja es la condición de hipoxia severa ($<0,5 \text{ mL L}^{-1}$) y la línea punteada vino es hipoxia costera ($<1,43 \text{ mL L}^{-1}$).67	

Figura 28. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy con los tres métodos aplicados a toda la data: Gulland & Holt (1959), en las dos zonas y con los dos valores conocidos de las zonas de estudio.	68
Figura 29. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de la altura valvar en los diferentes rangos encontrados con sus respectivas fechas de recaptura en San Lorenzo.....	70
Figura 30. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares en el rango 35 – 40 mm entre los tres períodos en San Lorenzo. 70	70
Figura 31. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares promedio entre 40 – 45 mm entre los tres períodos en San Lorenzo.	71
Figura 32. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de la altura valvar en los diferentes rangos encontrados con sus respectivas fechas de recaptura en Constante.	72
Figura 33. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares en el rango de 60 – 65 mm para la zona de Constante.	72
Figura 34. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de individuos con alturas valvares de 45 – 50 mm de San Lorenzo (SL) y Constante (C).	73
Figura 35. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares promedio de 50 – 55 mm de San Lorenzo y Constante (C).	73
Figura 36. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de individuos con alturas valvares promedio de 55 – 60 mm de San Lorenzo (SL) y Constante (C).	74
Figura 37. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con la cantidad de datos en puntos (horizontal) en la zona de San Lorenzo para el rango de tallas de 35 – 40 mm y 40 – 45 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).	75
Figura 38. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con la cantidad de datos en puntos (horizontal) en la zona de Constante para el rango de tallas de 60 – 65 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).....	76
Figura 39. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con los datos observados en puntos (horizontal) en la zona de San Lorenzo y Constante para los rangos de tallas de 45 -50 mm, 50 – 55 mm y 55 - 60 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).....	78
Figura 40. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo B080, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.	81

Figura 41. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo A656, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.	81
Figura 43. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo A007, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.	82
Figura 44. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo B036, obtenidos desde 01 de abril hasta el 25 de julio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.	82
Figura 45. Micro – incremento con el número de estrías del individuo A882, obtenido desde el primero de 01 hasta el 24 de junio del 2016 en Constante.....	83
Figura 46. Micro – incremento con el número de estrías del individuo A844, obtenido desde el primero de 01 hasta el 07 de agosto del 2016 en Constante. ...	84
Figura 47. Relación lineal entre el número de formación de estrías con los días transcurridos en ambas zonas.	85
Figura 48. Micro – incremento por día del individuo A882 con las variables ambientales en su resolución correspondiente, donde las líneas punteadas indican condiciones de hipoxia costera (rojo) e hipoxia severa (negra).	86
Figura 49. Micro – incremento por día del individuo A882 con las variables ambientales en su resolución correspondiente, donde las líneas punteadas indican condiciones de hipoxia costera (rojo) e hipoxia severa (negra).	87
Figura 50. Relación entre el índice de rendimiento del crecimiento (Φ') y temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) de <i>Argopecten purpuratus</i> (Mendo et al., 2016).....	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de las estaciones de muestreo.	31
Tabla 2. Pruebas de normalidad de Shapiro - Wilks y t- student en las variables ambientales durante el periodo de estudio (Marzo – agosto 2016) en las dos zonas.	51
Tabla 3. Análisis de varianza de doble vía entre el factor espacial y factor temporal, donde las corresponden a clorofila, oxígeno disuelto y temperatura, respectivamente. El factor espacial ($Z = \text{zona}$) tiene dos grupos (C: Constante, SL: San Lorenzo). El factor temporal ($P = \text{Períodos}$) tiene 6 grupos (SLO _I , SLO _{II} , SLI, CO _I , CO _{II} , CI). n.s.: no significativo.....	52
Tabla 3. Análisis de varianza en las zonas de estudio (Zonas: SL: San Lorenzo y C: Constante), en el caso de SL se compararon con la fecha de marcaje y las 3 de recaptura y en Constante se compararon entre las fechas de recaptura. n.s.: no significativo.	57
Tabla 4. Análisis de varianza de doble vía entre el factor espacial y factor temporal, donde la tabla a es por el índice gónada – somático (IGS) y la tabla b es por el factor	

de condición (FC). El factor espacial (Z = zona) tiene dos grupos (P: Piura, C: Callao). El factor temporal (F = Fecha) tiene 3 grupos (I: primera recaptura, II: segunda recaptura y III: tercera recaptura). n.s.: no significativo.	64
Tabla 5. Estimaciones de los parámetros de Von Bertalanffy (L_{∞} y K) por el método de Gulland & Holt (1959), separados por las zonas de estudio (San Lorenzo-SL y Constante-C) y períodos (otoño I-O _I , otoño II-O _{II} e invierno-I) y, donde SLO _I : 21-03-16 al 28-04-16; SLO _{II} : 28-04-16 al 09-06-16; SLI: 09-06-16 al 25 -07-16; CO _I : 01-04-16 al 13-05-16; y CI: 24-06-16 al 07-08-16. Los valores entre corchetes son los intervalos de confianza del valor de k.	65
Tabla 6. Estimación de los parámetros de crecimiento mediante los métodos propuestos en las dos zonas de estudio.	67
Tabla 7. Determinación del índice de crecimiento y valor de t ₀ por el método de Pauly (1980).	68
Tabla 9. Datos de micro - crecimiento de los individuos marcados con calceína de la isla San Lorenzo – Callao. Se indican alturas valvares iniciales y finales, números de estría por día, máximo y mínimo incremento.	80
Tabla 10. Resumen de los individuos en la isla San Lorenzo – Callao, con sus respectivas alturas iniciales y finales, nro. de estría por día, máximo y mínimo incremento.	80
Tabla 11. Comparación entre el número de estrías formadas por día, máximo y mínimo incremento en donde las zonas son SL: San Lorenzo y C: Constante, Prom: promedio, DE: desviación estándar y I.C.: intervalos de confianza.	80
Tabla 12. Relación entre el número de estrías y los días transcurridos de ambas zonas.	84
Tabla 12. Parámetros de crecimiento de <i>Argopecten purpuratus</i> en las diferentes localidades de Perú (Mendo et al., 2016) incluyendo las de este estudio (Utilizando el método de modelo no lineal)	96

ANEXOS

TABLAS

Tabla A 1. Estructura de tallas de los individuos nuevos de la isla San Lorenzo – Callao en el periodo de marzo a julio de 2016.....	110
Tabla A 2. Estructura de tallas de los individuos recapturados de la isla San Lorenzo – Callao en el periodo de abril a julio de 2016.....	110
Tabla A 3. Estructura de tallas de los individuos marcados y recapturados de Constante, Bahía de Sechura – Piura en el periodo de abril a agosto de 2016. ..	111
Tabla A 4. Tasas de crecimiento por estructura de tallas promedios de los individuos recapturados de la isla San Lorenzo – Callao, durante las tres fechas de recaptura durante el periodo de estudio desde marzo a julio del 2016.	112
Tabla A 5. Tasas de crecimiento por estructura de tallas promedios de los individuos recapturados de Constante, bahía de Sechura - Piura, durante las dos fechas de recaptura durante el periodo de estudio desde abril a agosto del 2016.	113
Tabla A 6. Distribución porcentual de estadios de madurez sexual por fechas en la isla San Lorenzo - Callao.	113
Tabla A 7. Distribución porcentual de estadios de madurez sexual por fechas en la Constante, Bahía de Sechura – Piura.	113
Tabla A 8. Índice gonado – somático (IGS) y factor de condición (FC) por rango de tallas para <i>Argopecten purpuratus</i> en cada fecha para la zona de la isla de San Lorenzo – Callao.	114
Tabla A 9. Índice gonado – somático (IGS) y factor de condición (FC) por rango de tallas para <i>Argopecten purpuratus</i> en cada fecha para la zona de Constante, bahía de Sechura – Piura.....	114
Tabla A 10. Índice gonado – somático y factor de condición en las dos zonas de estudio, donde SL: San Lorenzo y C: Constante, en sus respectivas fechas de recaptura.	115

FIGURAS

Figura F 1. Promedio mensual de las anomalías de la clorofila a satelital (mg m^{-3}) en la zona de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de enero del 2015 hasta octubre del 2016.	116
Figura F 2. Individuos con calceína a los que se les realizó conteo de estrías formadas y estimación de micro - incrementos en la zona de isla San Lorenzo –	

Callao, donde la figura a, b y c es de la fecha de recaptura del 09-06-2016 y la figura d es de la fecha de recaptura del 25-07-2016.....	117
Figura F 3. Individuos con calceína a los que se les realizó conteo de estrías formadas y estimación de micro - incrementos en la zona de isla San Lorenzo – Callao, donde la figura a es de la fecha de recaptura del 24-06-2016 y la figura b es de la fecha de recaptura del 07-08-2016.	117
Figura F 4. Individuos marcados con calceína donde la primera fila es la reconstrucción de toda la concha a un 2x, luego un acercamiento de 4x a la zona donde se ve una marca de estrés, donde luego se activó la luz fluorescente para la verificación de la marca de calceína, todos los individuos son de la zona de San Lorenzo.....	118

1 INTRODUCCIÓN

La concha de abanico se ha convertido en uno de los recursos hidrobiológicos cultivados más importantes de la costa peruana, gracias a la importante demanda internacional (González et al. 2010) y nuestras costas presentan condiciones favorables para el desarrollo del cultivo de esta especie (Benites, 1988). Sin embargo, en los últimos años hay un decaimiento debido a la disminución del abastecimiento de las semillas de manera natural como artificial y las condiciones variables en el ambiente marino (Alcázar, 2015). Además, la producción nacional de este bivalvo tiene una mejor acogida frente a otros pectínidos producidos en otras partes del mundo (Mincetur, 2003). Es por estos motivos que actualmente el cultivo de la concha de abanico es una actividad económica dinámica y generadora de empleo (PRODUCE, 2008).

En la actualidad la producción de la concha de abanico muestra una fuerte variabilidad, a pesar de lo cual no se conoce en forma suficiente cómo las condiciones bio-oceanográficas afectan las tasas de crecimiento. Un mejor conocimiento de las condiciones abióticas y bióticas del medio que afectan las tasas de crecimiento en la concha de abanico contribuirá a mejorar la eficiencia del cultivo de la especie (Navarro, 2000).

Con respecto a esto, se asume que las variables extrínsecas más importantes en la determinación de las tasas crecimiento de la concha de abanico son la disponibilidad y la calidad del alimento, el cual es aportado naturalmente en forma de fitoplancton y materia orgánica particulada (Aguirre, 2009).

El presente trabajo busca aportar conocimiento científico aplicable al cultivo de la concha de abanico a través del análisis de las condiciones abióticas que influyen a las tasas de crecimiento y sus variaciones en zonas de diferente latitud. Esto contribuirá a identificar las condiciones óptimas de determinación de nuevas áreas con potencial para el cultivo o

determinar zonas dentro de una concesión con mejores condiciones productivas. Los resultados podrán también ser utilizados para predecir las tasas de crecimiento y programar la producción en función de las variables bio-oceanográficas.

2 PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

La concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en el Perú crece en varios bancos naturales como el de Bahía de Sechura y Lobos de Tierra en Piura, Bahía de los Chimús y el Dorado en Chimbote, Bahía de Guaynuna en Casma, Bahía de Independencia y Bahía Paracas en Pisco, e Isla San Lorenzo en Callao. Estos bancos en su mayoría están sometidos a la extracción de semillas para sostener diferentes tipos de cultivo. No obstante, el recurso es vulnerable a los efectos de El Niño y de la Niña sobre su crecimiento y reproducción (Mendo et al., 2007). Ya que el crecimiento es uno de los cuatro factores que determinan los cambios en la biomasa (reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural y mortalidad por pesca), conocer su variación natural es un requisito crítico para poder evaluar la condición de una población explotada. En este sentido, el estudio del crecimiento relacionado es de esencial importancia en el manejo de los recursos pesqueros, ya que contribuye, año tras año, al suministro de la biomasa extraída por una pesquería (Pauly, 1984). Además, la identificación de los factores ambientales que afectan la tasa de crecimiento en las poblaciones de peces e invertebrados es ecológicamente importante debido a su rol en la producción y reclutamiento de juveniles (Brandt et al., 1992; Berkeley et al., 2004).

Cabe indicar que las tasas de crecimiento varían a través del ciclo de vida de un individuo, debido al equilibrio que debe existir en la distribución de energía en el proceso de crecimiento y otros como la reproducción (Roff, 2000), siendo importante el equilibrio entre el crecimiento y la reproducción (Roff, 1983, 2000; Britton et al., 2013).

Asimismo, se debe tomar en cuenta la influencia por la temperatura del agua, que ha sido reconocida como el mayor determinante del crecimiento diferencial (Blanck and

Lamouroux, 2007; Lappalainen et al., 2008; Carmona-Catot et al., 2011). En el caso de la concha de abanico, que es un bivalvo de origen tropical (Waller, 1969), se ha documentado que la temperatura ejerce una influencia significativa en su crecimiento, reproducción y fijación de semillas (Illanes et. 1985). Se ha reportado que la especie presenta cambios en su consumo específico de oxígeno dependiendo de la temperatura, es decir si presenta mayores temperaturas tendrá un mayor consumo de oxígeno (Dionicio, J. & Flores, J., 2015). Además, se ha verificado que el crecimiento de la especie es afectado por los eventos de hipoxia (Aguirre et al., 2016). También se ha determinado que la interacción de la temperatura con el pH incide en la calcificación de la concha, donde Lagos et al. (2016) indica que la combinación de bajas temperaturas y condiciones de bajo pH reducen las tasas de crecimiento y la calcificación de la concha, donde Córdova (2016) también indica que hay diferencias significativas en el crecimiento con un pH menor (pH=7.4 aprox.) que en condiciones normales (pH= 7.8).

Por último, la disponibilidad de alimento tiene una relación directa con las tasas de crecimiento; donde con altos valores del cociente Clorofila: feopigmentos en el material particulado se correlacionan con altas tasas de crecimiento (Aguirre, 2007). Además, las condiciones ambientales de determinadas épocas del año pueden favorecer cambios en el sistema de circulación a microescala, eventos de floración algal, entre otros procesos, que en diversos grados afectan principalmente los cultivos de concha de abanico, aunque las zonas de impacto no sean siempre las mismas (González et al.; 2010).

Si bien es cierto que son conocidos los factores abióticos que inciden en el crecimiento de *A. purpuratus*, aún se conoce poco el efecto de la interacción de estos factores, aunque se presentan asociados en el ambiente natural. El estudio comparativo de la especie en

áreas que contrastan en sus condiciones ambientales permite explorar el efecto de estas interacciones.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Ecología de los pectínidos

Los bivalvos de la familia Pectinidae son alrededor de 400 especies vivas. Se encuentran en todos los mares del mundo desde las regiones polares hasta en los trópicos. La mayoría de las especies comercialmente importantes existen en las aguas costeras de la plataforma continental, pero a algunos pectínidos se les puede llegar a encontrar en todo tipo de profundidades desde la zona intermareal hasta los 7000 m de profundidad. (Shumway, 2016)

Los pectínidos, por el número de especies, su distribución geográfica y la variedad de hábitats que ocupan, son un grupo exitoso de moluscos bivalvos, y los miembros más importantes de varias comunidades bentónicas. Muchas de las especies son de gran importancia comercial, ya que la carne se considera un alimento de lujo en muchos países. Por estas diversas razones, los pectínidos han sido el objeto de mucha investigación científica. Sin embargo, a pesar de la vasta literatura, el conocimiento detallado de la ecología se limita a unas pocas especies y persisten algunas lagunas en nuestra comprensión de otras especies comunes.

Según Gosling (2003) la distribución y la abundancia tanto a nivel local como a nivel regional de esta familia están influenciadas por factores físicos tales como la temperatura, la salinidad y la luz, y factores biológicos como depredadores, competidores y parásitos. Otros factores que influyen sobre las poblaciones de los pectínidos son la concentración de oxígeno, el pH, las corrientes y el tipo de sustrato. Sin embargo, los efectos de los

factores abióticos se dan sobre diversos aspectos de la biología de los pectínidos, tales como la alimentación, la reproducción, el crecimiento, la respiración y la regulación osmótica.

Los pectínidos, como la concha de abanico, son bivalvos epibentónicos que se alimentan removiendo el material particulado que se encuentra suspendido en el agua (sestón), el que además de fitoplancton incluye partículas inertes que comprenden el detritus, pudiendo ser este último de origen orgánico o inorgánico. Los bivalvos filtradores hacen pasar la corriente de agua a través de sus branquias, donde el alimento es colectado y llevado al sistema digestivo mediante transporte ciliar hacia la boca donde es ingerido, conducido al estómago y luego a la glándula digestiva donde ocurren los procesos de digestión y absorción para luego ser eliminado a través del intestino. La remoción de partículas suspendidas en el agua por parte de los bivalvos filtradores recibe el nombre de “tasa de aclaramiento” y se entiende como el volumen de agua liberada de sus partículas por unidad de tiempo (Litros/hora) (Navarro, 2002).

2.2.2 Factores abióticos

a) Oxígeno disuelto

La tasa de crecimiento de un individuo es el producto de la eficiencia de la disponibilidad de energía en la que se convierte en tejido corporal. Las relaciones entre las tasas de alimentación o absorción de oxígeno y el tamaño corporal son a menudo descrito usando la ecuación alométrica $y = aW^b$, donde a y b son parámetros ajustados, W es el peso corporal e y es la tasa prevista. El exponente (b) para la pérdida de energía respiratoria que es generalmente mayor que el exponente que describe la ganancia de energía de la alimentación. Esto da lugar a una reducción en la energía disponible para el crecimiento

cuando el organismo aumenta el tamaño y proporciona una base fisiológica para la disminución del crecimiento de los individuos. También cualquier factor ambiental que altere las tasas de ingestión, absorción, excreción o la absorción de oxígeno influirá en el alcance del crecimiento de manera positiva o negativa (Shumway, 2006).

Se necesita tener en cuenta que en la zona de San Lorenzo – Callao, *A. purpuratus* está expuesto a eventos de 'hipoxia costera', el cual se define como un estado de la columna de agua que tiene niveles de oxígeno disuelto igual o menores a 1.43 mL L^{-1} (2 mg L^{-1} o $63 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ o 30% de saturación) (Rabalais et al. 2010) y otro es el termino de 'hipoxia severa' que Hofmann et al. (2011) describen como una situación de mortalidad masiva de la fauna, en la que solamente sobreviven organismos de especies muy especializadas, este término está asociado a concentraciones de oxígeno menores o iguales a 0.5 mL L^{-1} .

Para el caso de la concha de abanico según Mendo, citado por Lodeiros et al. (2001), el oxígeno disuelto es un factor limitante para el crecimiento de *A. purpuratus* cultivado en suspensión en la Bahía Independencia, pero por otro lado en la Bahía de Sechura Cabezas (2013) indica que el éxito de un cultivo de la concha de abanico *A. purpuratus* está relacionado a la disponibilidad de alimento y al oxígeno disponible del medio ya que ello condiciona la densidad de siembra. Se conoce que existe un mejor crecimiento de la concha de abanico a densidades bajas y por lo tanto mayor disponibilidad de oxígeno y alimento.

b) pH

La acidificación del océano, es decir la disminución del pH en el mar tiene efectos en los organismos marinos como los moluscos marinos donde han tenido varias respuestas según Doney et al. (2009), en su mayoría de especies estudiadas entre cocolitoforidos,

foraminíferos plantónicos, equinodermos corales y algas rojas coralinas presentan respuestas negativas frente al incremento del CO₂.

Los moluscos presentan respuestas especie-específicas respecto a un incremento de CO₂ en el agua de mar según la recopilación que hizo Parker et al. (2013), donde mostró que más del 60% de las especies que han sido objeto de estudios en acidificación muestran respuestas negativas frente al incremento de presión de CO₂ y al bajo pH. En una revisión hecha por Gazeau et al. (2013) con respecto a los adultos y los juveniles de moluscos, presentaron respuestas mixtas (positivas, negativas y neutras) bajo altas presiones parciales de CO₂ cuando se evaluó las siguientes características: sobrevivencia, calcificación / crecimiento de concha, tasas de respiración y tasas de aclaramiento. Cuando se evaluó el comportamiento y la respuesta inmune en los adultos y juveniles, estos mostraron respuestas negativas frente a un incremento de CO₂ y disminución de pH; el crecimiento somático se mostró respuesta neutra; las tasas de excreción se mostraron respuestas neutras y positivas; y la regulación ácido-base mostró respuestas negativas y neutras. En relación a los pectínidos el 100% de los estudios recopilados en la revisión de Parker et al. (2013) mostraron efectos negativos frente a la acidificación.

c) Salinidad

La salinidad es un factor ecológico que actúa claramente para limitar la distribución, pero se han realizado pocos estudios de distribución en relación con la salinidad o de la tolerancia a la salinidad de los pectínidos. La mayoría de los pectínidos viven plenamente en aguas salinas y especies como *Argopecten gibbus*, *Argopecten purpuratus* y *A. equipecten* no sobreviven bien cuando hay una reducción de la salinidad. *Argopecten gibbus* ocurre donde la salinidad es bastante estable y en un rango de 31-37 ‰ (Allen y Costello 1972). *Argopecten purpuratus* es una especie estenohalina. Por ejemplo, los principales bancos naturales de esta especie se encuentran en las bahías a lo largo de la

costa peruana y chilena entre Sechura y Valparaíso, donde las fluctuaciones de salinidad son generalmente bajas (34,5 a 35,2) (Uribe et al., 2003). Más allá de los extremos de esta distribución, la salinidad presenta rangos inferiores; al norte de Paita, Perú (5 ° S), debido a la presencia de Aguas Ecuatoriales Superficiales, y al sur de Valparaíso, Chile (33 ° S), debido a la fuerte presencia de aguas subantárticas, además de la influencia de agua dulce de escorrentía de los ríos que entra en las bahías (Shumway, 2003).

d) Corrientes

Las zonas con mayores flujos sobre el fondo proporcionan condiciones favorables para la alimentación por filtración, pero hay mucha evidencia experimental para mostrar que la alimentación y el crecimiento de *Placopecten magellanicus*, *Argopecten irradians* y *Chlamys islandica* se inhiben en tasas de flujo muy altas (Shumway, 2003). Pilditch y Grant (1999) llevaron a cabo una detallada investigación de los efectos del suministro variable de alimentos sobre *Placopecten magellanicus*, encontrando que, con una concentración de fitoplancton constante, las tasas de aclaramiento durante una disminución del flujo (15-5 cm/s) fueron 30% más altas que durante un aumento del flujo (5 - 15 cm/s), lo cual interpretaron que las tasas de aclaramiento durante un declive del flujo compensa cuando es más rápido el flujo impidiéndose la alimentación.

e) Turbidez

Los pectínidos que viven en ambientes costeros abiertos con sustratos gruesos de fondo y con flujos de corriente fuerte, en donde con normalidad no se enfrentan a aguas de alta turbidez.

Se ha demostrado que aumentos en la cantidad de materia particulada inorgánica en el agua, tienen un efecto perjudicial sobre la eficiencia de absorción y el crecimiento de

Chlamys islandica (Wallace y Reinsnes 1985), y la actividad ciliar de *Mizuhopecten yessoensis* (Yamamoto 1956). Parece probable, sin embargo, que la turbidez es un factor ecológico importante que limita la presencia y distribución de los adultos y las larvas recién instaladas.

f) Profundidad

La profundidad es un factor importante que influye en muchos aspectos de la biología de los pectínidos debido a que los efectos ecológicos son generalmente relacionados con las variaciones en la temperatura, la disponibilidad de alimento o el tipo de sustrato (Shumway, 2003). Un ejemplo que menciona Waller (1969) y Allen y Costello (1972) con la especie *Argopecten gibbus*, tiene reportes en aguas que varían desde 9.9 °C hasta 33°C, pero las temperaturas fuera del rango de 15-27° C son probablemente letales para la mayor parte de la población (Miller et al., 1981). Esto restringe a las especies a tener un rango de profundidad bien definida, con las concentraciones que ocurren en 33-42 m. Otro factor que influye es la reducción de la disponibilidad de alimento al aumentar la profundidad de 19 a 31 metros, lo cual incidió en el crecimiento, rendimiento reproductivo y esfuerzo reproductivo de *Placopecten magellanicus* en Terranova (MacDonald y Thompson, 1986).

g) Tipo de sustrato

La mayoría de las especies de pectínidos se encuentran en una amplia gama de sustratos de fondo, pero las especies comerciales más importantes suelen encontrarse en sustratos más duros de grava y arena gruesa a fina (Shumway, 2016).

Muchas especies, como *Argopecten gibbus* (Allen y Costello, 1972), es capaz de tolerar sedimentos fangosos, pero aún para esta especie, las áreas de mayor abundancia y tasas de crecimiento más rápidas son normalmente en áreas con sustrato más grueso, los cuales son áreas de mayor energía hidrodinámica.

2.2.3 Variaciones geográficas o latitudinales

A pesar de que la latitud no tiene significado ambiental por sí mismo, es una representación de la cantidad total de la entrada de energía solar, que se traduce principalmente en temperatura, pero también en la producción primaria y parámetros relacionados (Roy et al., 1998).

La variación intraespecífica en el crecimiento de bivalvos en general se estudió más a lo largo de gradientes latitudinales donde el enfoque es comparar el crecimiento y la reproducción a lo largo de gradiente de calidad ambiental, agua, régimen de mareas o tipo de hábitat.

La influencia de la disponibilidad de alimentos, la temperatura y las fluctuaciones en los presupuestos energéticos de las poblaciones es uno de los focos de los estudios en moluscos, especialmente a la luz del reciente "calentamiento global" (Sukotin et al., 2002). La tasa de crecimiento y la producción reproductiva integran las actividades fisiológicas de los organismos y se consideran buenos indicadores para la idoneidad de un ambiente (Lonsdale y Levinton, 1985).

La temperatura superficial del agua (aproximadamente zona eufótica) puede servir como la producción y la entrada de alimentos en el sistema, también. En términos de número de individuos, bioenergética ecológica, distribución y variedad de hábitats, los moluscos

bivalvos son en virtud de un grupo exitoso y miembros importantes de casi todas las comunidades bentónicas (Westheide y Rieger, 1996).

2.2.4 Crecimiento en los pectínidos

El crecimiento individual es un parámetro básico en los estudios de dinámica de poblaciones y el manejo del stock (Brey, 2001). En los moluscos bivalvos, los estudios sobre crecimiento y producción han identificado grados de variabilidad intraespecífica a escalas espaciales y temporales, es decir, macro y micro variaciones geográficas, así como cambios estacionales en las tasas de crecimiento

(Richardson 2001). Esta variabilidad siempre se ha atribuido a los efectos ambientales, principalmente a la disponibilidad de alimentos y la temperatura.

El efecto de estas variables es complejo, dependiendo de la forma específica en la que energía y el gasto energético (Shumway 2016).

Los procesos de crecimiento en moluscos, sin embargo, pueden maximizarse hasta límites fisiológicos o de desarrollo, sobre el supuesto de que un crecimiento con los bajos niveles de costos de línea de base, ser un compromiso óptimo entre los costos de la aptitud y los beneficios de las diferentes tasas de crecimiento (Bayne et al. 1999).

Los estudios de la dinámica de poblaciones de bivalvos necesitan un conocimiento del crecimiento y de la edad de los organismos dentro de la población. La edad y tasa de crecimiento se puede estimar usando una variedad de métodos, incluyendo un análisis de las distribuciones de las frecuencias de tallas, los anillos superficiales de los bivalvos y las bandas internas de la concha. (Ramón y Richardson, 1992).

En muchos estudios, el crecimiento de los bivalvos se ha descrito en términos de una cierta dimensión de la concha. Para los pectínidos, dicha dimensión es la altura de la concha, definida como la distancia máxima entre los márgenes dorsal (bisagra) y ventral.

Los estudios de monitoreo de los factores ambientales conjuntamente con la evaluación del crecimiento tanto somático como reproductivo y la supervivencia, son complemento imprescindible para estimar la influencia de los factores ambientales en las poblaciones naturales o cultivadas. La mayoría de los estudios sobre la influencia ambiental en bivalvos han sido realizados en zonas boreales, templadas o subtropicales, donde las condiciones son muy diferentes a aquellas de los trópicos (Maeda – Martínez, 2001).

a) Estimación de tasas de crecimiento

La tasa de crecimiento puede expresarse como un aumento en el tamaño por unidad de tiempo (usualmente años), es decir, la tasa de crecimiento absoluta, o como un aumento proporcional por unidad de tiempo, es decir, la tasa de crecimiento relativo (Semilla, 1976).

El método más popular de describir el crecimiento, sin embargo, establece la relación entre el tamaño de la concha y la edad para construir una curva de crecimiento, que a menudo se ajusta a una función matemática no lineal, como el Modelo de Von Bertalanffy, que tiene como propósito hacer comparaciones predictivas (Shumway, 2016). Para que estos modelos sean eficaces es esencial que se cumplan ciertos criterios, incluida la representación de todas las edades, especialmente de las más jóvenes, y que las limitaciones y el significado de los parámetros deben ser reconocidos. Por ejemplo, el parámetro K, o el coeficiente de crecimiento de Brody, no es una medida de la tasa de crecimiento absoluta per se sino un indicador relativo, que representa la velocidad a la que se alcanza el tamaño asintótico. La mayoría de los estudios que describen el crecimiento de los pectínidos lo han tratado exclusivamente con la concha, pero para medir la producción y el flujo de energía es necesario registrar el peso del tejido blando. La variación a corto plazo en el peso del tejido no es siempre reflejada en un cambio en

las dimensiones de la concha (Hilbish, 1986). El crecimiento de la concha puede continuar durante toda la vida, en cambio el crecimiento de los tejidos blandos (soma) a menudo termina completamente y puede llegar a ser negativo (Vahl, 1981; Macdonald y Thompson, 1985). La variación a corto plazo en el peso del tejido somático o de contenido energético, es un indicador más sensible de las fluctuaciones de crecimiento individual que un cambio en las dimensiones de la concha, porque a diferencia del tejido blando de los pectínidos, esta no puede reducirse rápidamente en condiciones ambientales adversas. Los métodos usados para la estimación del crecimiento de organismos acuáticos se pueden dividir en indirectos o basados en tallas; y directos o basados en estructuras duras que permiten estimar la edad de los organismos. Los del primer grupo se refieren al análisis de la distribución de la frecuencia de tallas, especialmente de la longitud; distribuciones modales sugieren grupos de peces de edad semejante (cohortes) por cada moda. Mientras que, dentro de los segundos se encuentra el estudio de marcas con formación periódica en estructuras duras como anillos de crecimiento, esclerocronología, etc.

El crecimiento en la concha de abanico *Argopecten purpuratus* ha sido generalmente estimado mediante el análisis de frecuencias de tallas, sin embargo, existen limitantes al usar estos métodos. Así, en datos de frecuencias de tallas de peces como el barrilete, es difícil identificar las modas en los datos de frecuencia de tallas debido a las altas tasas de crecimiento, reclutamiento continuo y variabilidad en el crecimiento (Schaefer, 1961; Joseph y Calkins, 1969).

2.2.5 La Concha de Abanico (*Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819)

La concha de abanico (*Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819) es un filtrador de partículas en suspensión (sestón) principalmente de fitoplancton (Shumway et al., 1987), de reproducción externa y hermafrodita funcional (Avendaño et al., 2001). Se caracteriza

por poseer valvas grandes, sólidas, circulares, moderadamente convexas y más largas que altas, con una coloración que va desde el blanco al rosado, café, púrpura o una combinación de estos.

A. purpuratus está presente en Perú y Chile, desde Paita (5.1 °S) hasta Valparaíso (33.1 °S) (Marincovich 1973; Wolff and Mendo 2000; González 2010). También se puede encontrar esta especie al norte de Paita, en Los Órganos (4.17 °S) y al sur del Valparaíso, aunque esto es resultado la translocación de individuos debido a actividades con propósito de acuicultura. Esta especie se puede encontrar principalmente en aguas someras entre los 5 a 40 metros de profundidad en bahías semi-protegidas con sustrato arenoso, rocoso, de fango-arenoso o sobre conchuela (Mendo et al. 2016), con temperaturas entre los 12 y 25°C y salinidad entre 33 y 35 ‰ (Osorio, 2002).

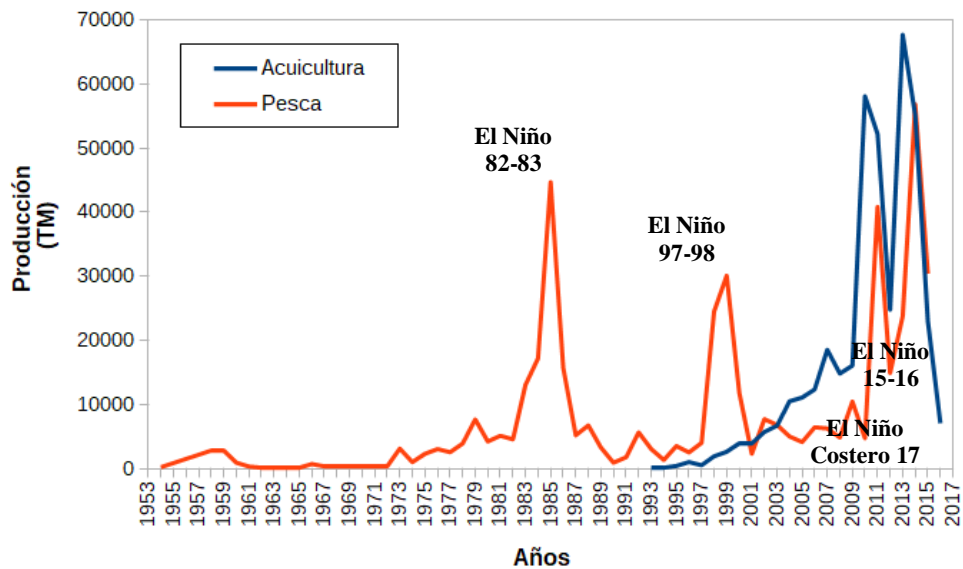
La concha de abanico es una especie de rápido crecimiento, alcanzando una altura máxima de 160 mm (DiSalvo et al. 1984). El ciclo de vida de la concha de abanico presenta dos fases importantes; una larval pelágica que tiene una duración aproximada de 30 días desde la fecundación (dependiente de la temperatura) y una bentónica que empieza cuando la postlarva sedimenta al fondo y busca un sustrato para su fijación mediante filamentos llamados biso (figura 1). A pesar de poseer fibras de biso para su fijación a un sustrato durante parte de su ciclo de vida (juvenil) tiene capacidad, aunque limitada, de locomoción (Navarro, 2002).



Figura 1. Ciclo de vida de la concha de abanico (Aguirre, 2009)

Las fluctuaciones de las poblaciones de concha de abanico son muy pronunciadas y se correlacionan con la presencia del fenómeno El Niño (figura 2). Durante estos eventos, las condiciones del hábitat de la especie mejoran notablemente; y la proliferación de la población, la producción y dispersión de larvas se incrementa de manera exponencial. Los bancos que se habían extinguido son recolonizados durante estos eventos; sin embargo, la mayoría se extingue al poco tiempo (Wolff y Mendo 2000).

La especie es favorecida por las condiciones bio-oceanográficas asociadas a la ocurrencia de eventos El Niño de rango extraordinario como se ve en los años 82-83 y 97-98 (Mendo et al. 1988), donde se vió que afectaron de manera positiva el crecimiento, reproducción y reclutamiento de *A. purpuratus* en la costa central y sur del Perú, así como también en el norte de Chile.



Fuente: FAO (2017)

Figura 2. Desembarque de concha de abanico 1953 - 2017 con los eventos El Niño Costero

Por el contrario, durante años considerados normales (o fríos), las tasas de reproducción y crecimiento son bajas, la mortalidad de las larvas es alta y el crecimiento de la población es limitado en gran medida por sus predadores. Es importante anotar que las poblaciones de la especie son solo afectadas positivamente durante eventos El Niño considerados muy intensos tales como los observados en 1982-1983 y 1997-1998, los que duraron varios meses. Sin embargo, las poblaciones de esta especie no son afectadas de manera significativa durante eventos El Niño de menor intensidad (Mendo y Wolff 2003; Wolff y Mendo 2000)

Mendo y Wolff (2003) afirman que los booms de la concha de abanico son el resultado de diversos factores que se encuentran interrelacionados: a) el incremento de la actividad reproductiva como resultado de la aceleración de la madurez y el incremento de la frecuencia de desove, b) la reducción del período larval y, como consecuencia, la reducción de su mortalidad, c) el incremento de la tasa de crecimiento individual, d) el incremento de la tasa de sobrevivencia de conchas juveniles y adultas debido a la reducción de la biomasa de otros moluscos y crustáceos filtradores, y e) el incremento de la capacidad de carga de los bancos naturales debido a los altos niveles de oxígeno

disuelto disponible (Mendo y Wolff 2003; Wolff y Mendo 2000; Wolff 1987; Mendo et al. 1987; Arntz, Landa y Tarazona, 1985).

La influencia positiva que estos factores combinados tienen sobre la población de la especie únicamente durante la presencia de eventos El Niño extraordinarios estaría relacionada, al parecer, con el origen de la especie. Waller (1969) encontró que sus orígenes estarían en aguas tropicales o subtropicales del mar Caribe y del océano Atlántico. Aparentemente, parte de la población migró hacia el océano Pacífico antes de la formación del istmo de Panamá y dieron origen a nuevas especies, de las cuales dos existen hasta nuestros días: *Argopecten circularis* (pectínido dominante de la región ecológica panameña) y *A. purpuratus*.

Wolff (1987) hipotetizó que la especie había mantenido sus características tropicales o subtropicales durante su evolución en el sistema de afloramiento de aguas frías de la Corriente Peruana debido a los recurrentes eventos El Niño.

Los bancos naturales más importantes de concha de abanico según Mendo et.al. (2007), donde ocurren un mayor asentamiento y reclutamiento, de manera intermitente o fluctuante dependiendo de las condiciones oceanográficas, son 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 Fronton, entre otros (figura 3)

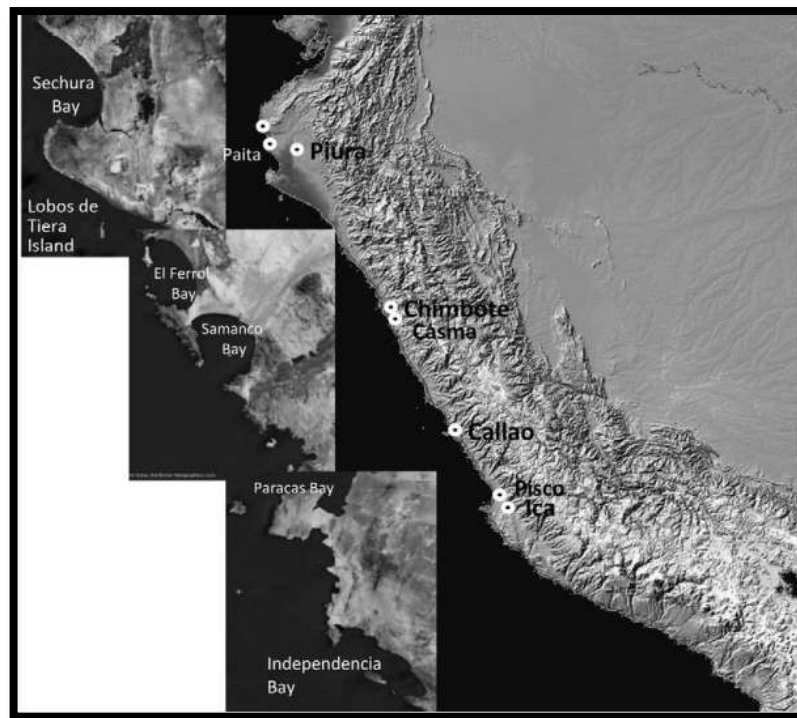


Figura 3. Bancos naturales de *A. purpuratus* en el litoral peruano. (Mendo et al., 2016)

Los principales bancos que producen concha de abanico en Perú son bahía Independencia, bahía de Sechura e isla Lobos de Tierra (González 2010). Hasta antes de 1980, bahía Independencia era el banco más productivo de toda la costa peruana, pero desde 1990 la bahía de Sechura y la isla Lobos de Tierra pasaron a ser los principales bancos más productivos, sin embargo, existen pequeños bancos en bahías como Chimbote, Casma y Callao (Mendo et al. 2016).

Los bancos naturales en su mayoría en los últimos años fueron sometido a una fuerte presión pesquera con la finalidad de obtener semillas sea para las concesiones o para áreas de repoblamiento. La producción se llegó a incrementar después de los eventos El Niño y también a su vez los stocks de concha de abanico se habrían homogenizado genéticamente en algunas zonas de la costa peruana (González, 2010).

Los dos bancos que no han recibido semillas de otros bancos distantes son los de Bahía Independencia y el de Isla Lobos de Tierra. Más bien este último, debido a que tiene una gran productividad y es distante de la costa, se ha convertido en la fuente de semillas para

varias zonas de la costa peruana. La Bahía de Sechura ha sido usada como zona de acopio de semillas de Isla Lobos de Tierra por parte de pescadores artesanales y empresas privadas.

2.2.6 Reproducción en la concha de abanico

Fernández (2011) indica que esta especie es hermafrodita, es decir posee los dos sexos masculino y femenino en una misma especie, pero funcionalmente son insuficientes, siendo la producción de gametos (óvulos y espermatozoides) en forma alternada, su ciclo reproductivo es continuo. La gónada que contiene ambos sexos en *Argopecten purpuratus* es llamada coral, la cual tiene una coloración anaranjada (parte femenina) y blanco (parte masculina).

Existen muchos factores, tanto endógenos como exógenos, que afectan tanto el desempeño de las larvas como el de los juveniles tempranos y tardíos. Son tres etapas principales en las cuales puede manifestarse el efecto de esos factores:

- Desarrollo de las gónadas y gametos
- Desove y fecundación
- Desarrollo y crecimiento de la progenie

Considerando que los factores endógenos son más difíciles de manejar experimentalmente, los esfuerzos destinados a controlar la producción de semillas se han dirigido a los de naturaleza exógena, principalmente a aquellos que se refieren a la dieta y temperatura.

2.2.7 Las tasas de crecimiento en la concha de abanico

La tasa de crecimiento de *A. purpuratus* ha sido estudiada en el Perú por diversos autores y en distintas condiciones ya sea en su ambiente natural o en zonas de cultivo o en experimentos controlados. Cisneros et al. (2008) reportó tasas de crecimiento entre 3.2 y 11.5 mm mes⁻¹ en un experimento en cultivo suspendido en Pucusana (12°S) durante comparaciones entre cultivos suspendido y de fondo, con semillas de diferente origen. Alcázar & Mendo (2008) reportaron 0.33mm/día para el cultivo suspendido y 0.21 mm/día para el cultivo de fondo en un experimento realizado en Casma (9°S). Aguirre et al. (2015) reportó para cultivo en la Bahía de Paracas (13°S) una tasa de crecimiento entre 0.25 y 0.39 mm/día. En los estudios realizados en IMARPE por Arguelles et al. (2017), en la zona de la isla San Lorenzo, las tasas de crecimiento durante el año 2015 en el mes de agosto fue de 5,5 mm mes⁻¹, en el mes de octubre 5,1 mm mes y en diciembre fue de 2.90 mm mes⁻¹, en el año del 2016 en el mes de enero fue de 5,8 mm mes⁻¹.

En Chile, Avendaño & Cantillán (2008) durante El Niño en la Bahía La Rinconada (23°S), reportaron tasas de crecimiento de 0.175 mm/día, de 0.143 mm/día durante un año normal y de 0.082 mm/día durante un verano frío (La Niña). Al sur de Chile (41°S) en una zona de cultivo López et al. (2000) realizó un estudio de crecimiento en concha de abanico y a partir de los datos se realizó cálculos de las tasas de crecimiento obteniéndose entre 0.27 y 0.5 mm/día. González et al. (1999), comparó dos lugares para cultivar *A. purpuratus*, encontrando tasas de crecimiento de 5.21 mm mes⁻¹ en Bahía Metri y 3.47 mm/mes en Canal de Quihua.

2.2.8 Metodología de estimación del crecimiento mediante marcaje y recaptura

Los primeros estudios de marcado se realizaron con el fin de determinar, en primera instancia, los movimientos ó migraciones e identificar stocks. Sin embargo, desde 1930

los estudios se han ido ampliando con el fin de proporcionar información sobre el crecimiento, la mortalidad o el tamaño de la población (Ricker, 1956).

De esta forma podemos resumir los principales objetivos o aplicaciones que tiene esta técnica como los siguientes:

- Estudio del patrón de migración (áreas de puesta, áreas de alimentación, etc.).
- Descripción de la distribución espacial y estudios de identificación de stocks o mezcla de poblaciones.
- Estudio del crecimiento.
- Estimación de la mortalidad a partir de la tasa de recaptura (mortalidad natural, mortalidad por pesca o mortalidad debida al marcado)
- Estimación de la tasa de supervivencia (después del escape del arte de pesca, de la fase de cría en un cultivo, etc.).
- Estudios relacionados con la abundancia del recurso y medidas de gestión para aumentar la población.

La estimación de las tasas de crecimiento se realiza en mm.mes^{-1} , con lo cual se utiliza la metodología descrita por Sparre y Venema (1997):

$$TC = \frac{L_{t+\Delta t} - L_t}{\Delta t}$$

TC: Tasa de crecimiento

$L_t, L_{t+\Delta t}$: Son la altura valvar al momento de marcado y recaptura respectivamente.

Δt : es el intervalo de tiempo entre el marcaje y recaptura en meses.

2.2.9 La ecuación de Von Bertalanffy y su aplicación en los pectínidos

El crecimiento de la concha se ha descrito comúnmente por el modelo de von Bertalanffy y la información de la edad obtenida de anillos de crecimiento externo en la concha. La especie de pectínido más grande, que alcanza alturas asintóticas (HN) de hasta 160-170 mm, son generalmente de larga vida, con una vida entre 18 y 23 años. Estas especies son a menudo características de aguas más profundas (hasta 100 a 200 m), como *Chlamys islándica* (Vahl, 1981) o de profundidades moderadas (hasta 50-60 m) tales como *Pecten maximus* (Mason, 1957). Por el contrario, las especies restringidas a aguas costeras poco profundas (10 m) por ejemplo, el *Argopecten irradians* que alcanza un tamaño máximo de 80 mm a los 2 años (Bricelj y Krause, 1992).

Sin embargo, el tamaño grande, la longevidad prolongada y el hábitat en aguas profundas no siempre están correlacionados con un crecimiento lento.

El coeficiente de crecimiento de Bertalanffy (k) proporciona una medida de la tasa a la cual los animales alcanzan su altura asintótica de la concha. La concha gigante del Pacífico, *Patinopecten caurinus*, crece con bastante rapidez (K= 0.39) (MacDonald y Bourne, 1987).

Las poblaciones en latitudes norte se caracterizaron por un mayor tamaño corporal y se detectó un menor crecimiento anual durante los primeros 6 años de su vida que los de latitudes del sur. Este último no podría explicarse por diferencias latitudinales en las tasas de crecimiento diarias, sino porque va disminuyendo la longitud de la estación de crecimiento con el aumento de la latitud.

Así, como se ilustra para los pectinidos (figura 4), diferentes especies y, en menor medida, poblaciones de la misma especie a través de diferentes regímenes de temperatura, logró un mayor rendimiento de crecimiento en relación con la tasa metabólica de referencia a temperaturas más bajas (latitudes altas). Esto se atribuyó potencialmente a un menor costo

de crecimiento y / o mantenimiento de costos metabólicos a bajas temperaturas (Heilmayer et al., 2004).

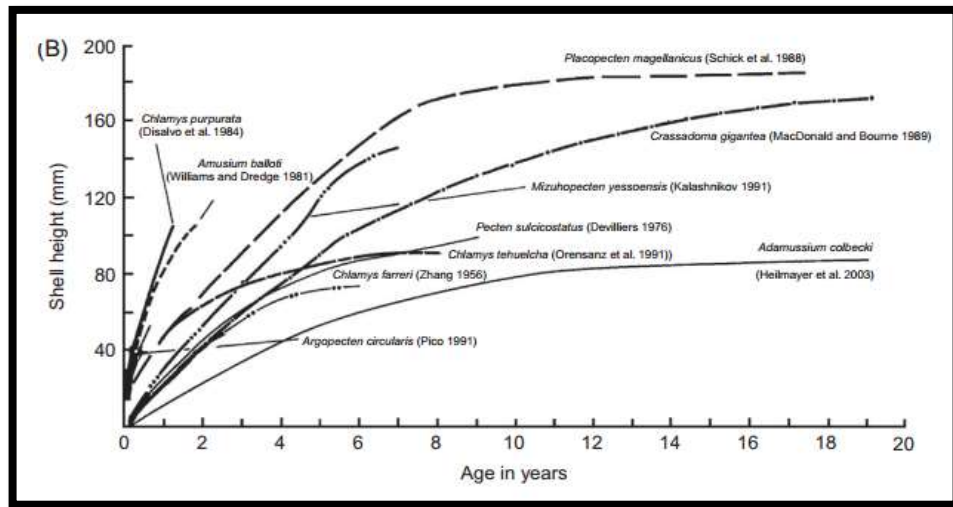


Figura 4. Comparación de crecimiento de diferentes especies. Heilmayer (2004).

El modelo de crecimiento utilizado, tanto en longitud como en peso, es el más usado en peces y bivalvos corresponde a la ecuación de von Bertalanffy, cuya expresión integrada y linealizada ha sido propuesta por Beverton & Holt (1957):

$$L(t) = L_{\infty} * (1 - e^{(-K*(t-t_0)})}$$

Ecuación 1. Modelo de crecimiento Von Bertalanffy.

2.2.10 Micro - crecimiento

La mayoría de estudios en crecimiento en pectínidos se basan en un monitoreo de cohortes en lugar de realizar un seguimiento al crecimiento individual a una escala de alta frecuencia (Thébault et al., 2008). La relación entre el crecimiento a corto plazo y parámetros ambientales (temperatura, disponibilidad/calidad del sestón, parámetros

fisicoquímicos del agua del mar, etc.) aún ha sido poco estudiada en el Perú (Aguirre et al., 2015).

La concha de los bivalvos se forma por acreción periódica de cristales de carbonato de calcio (depositados en una matriz orgánica que representa unos pocos porcentajes del peso de la concha) en el margen ventral, dando como resultado la formación de incrementos de crecimiento de la concha (correspondientes a períodos de calcificación) separados por líneas de crecimiento (períodos de desaceleración del crecimiento o cese). Estas líneas de crecimiento internas y / o externas reflejan ritmos anuales, mensuales, quincenales, de marea, diarios y subdentales arrastrados por osciladores endógenos sincronizados por señales ambientales que actúan como *zeitgebers* (es decir, como un reloj biológico interno) (Aschoff et al., 1982).

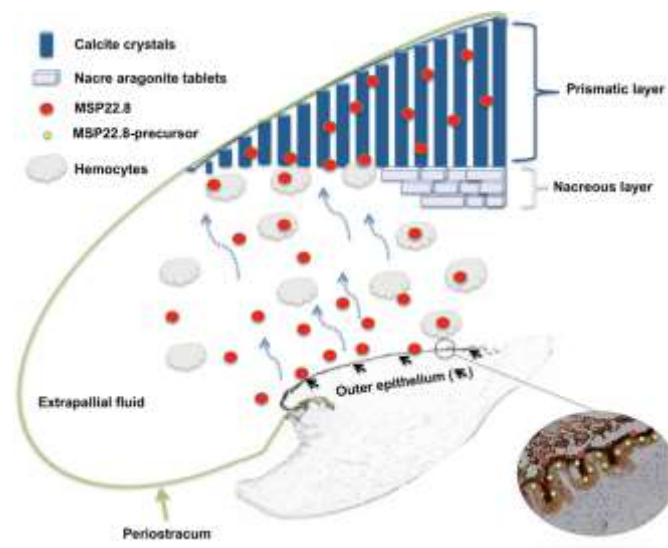


Figura 5. Modelo de la formación de la concha, mediada por las células en *M. galloprovincialis*. El tamaño de la cavidad extrapalial se agranda en aras de la claridad (Calvo-Iglesias et al., 2016).

La esclerocronología realiza el estudio de las variaciones físicas o químicas en los tejidos duros calcáreos de la formación acrecionaria (crecimiento o incremento en tamaño originado por una gradual adición, fusión o inclusión externa) de los organismos y del

contexto temporal en el cual se formaron. Para ello se emplean conceptos relacionados a la parte morfológica externa o llamada parte dura de los pectínidos y se utilizan diferentes términos, como los siguientes:

- Surco: Una depresión alargada y bastante uniforme en la concha o partes blandas de un molusco.
- Cresta: Elevación de borde afilado de la superficie de la concha que se produce como una sola línea.
- Costilla (s): Cresta elevada redondeada de ancho y prominencia moderados. Una estructura alargada: en gasterópodos, espiral (siguiendo la dirección de enrollamiento), axial (paralela al eje de enrollamiento), u oblicuo; en bivalvos, radiales o concéntricos.
- Costa: Cresta grande, en forma de cordón, que corre longitudinalmente, en espiral o concéntricamente en un caparazón costilla.
- Línea (s) de crecimiento: líneas impresas en la superficie del caparazón o concha, debido a etapas de crecimiento y períodos de descanso.
- Anulación o anillo anular: un incremento de crecimiento en un caparazón o concha marcado por constricciones regulares.
- Estría: Surco o surco muy fino, inciso, en cualquier lugar de la superficie del caparazón, a veces llamado estriación.

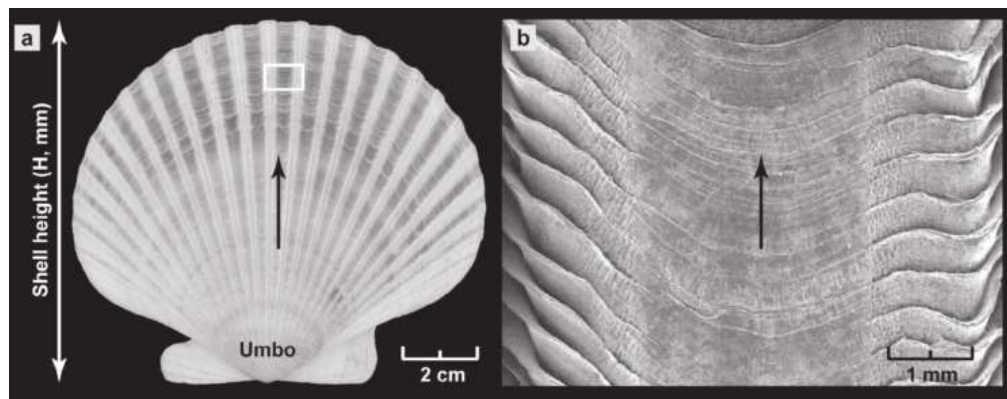


Figura 6. (a) Vista externa de la valva derecha de *Argopecten purpuratus*. El eje de crecimiento máximo está indicado por la flecha negra. (b) Imagen (microscopía electrónica de barrido) de las estrías diarias tomadas a lo largo del eje de crecimiento máximo. (Thébault, 2008).

Por lo general, la formación de estrías en el género *Argopecten* se da de manera diaria (Helm y Malouf, 1983) igual que en el género *Pecten* (Chauvaud et al., 1998 y Chauvaud, 2005) y para *A. purpuratus* según Thébault et al. (2008), las estrías de crecimiento de las valvas en la superficie, ofrecen un mecanismo para el monitoreo de alta frecuencia del crecimiento individual, donde se ha estimado que la tasa de formación de estrías es de 1 estría por día (Aguirre et al., 2015; Gosselin et al., 2013; Thébault et al., 2008) basado en las variaciones registradas de la temperatura del agua de mar para esta especie, aunque se desconoce si existen diferencias entre sub-poblaciones. Un estudio reciente llevado a cabo en el área marina protegida de La Rinconada en Chile, indica una deposición de una estría cada dos días en individuos adultos de *A. purpuratus* marcados con calceína y medidos durante 140 días (Thouzeau, 2015 comunicación personal con Aguirre). La formación de estrías de bivalvos marinos corresponde a una disminución de la tasa de crecimiento provocada por un metabolismo alterado (Chauvaud et al., 1998). Se sabe que los ciclos ambientales diurnos, de marea y estacionales impulsan los ritmos de crecimiento (Rosenberg y Jones, 1975).

La calceína es un marcador utilizado en estudios esclerocronológicos para explorar mortalidad, crecimiento y efectos dependientes de la talla (Morán 2000). La calceína, una

vez que se incorpora en la concha, emite una fluorescencia verde clara bajo luz azul, la cual es fácilmente distinguible de la ocurrencia de fluorescencia natural. La banda fluorescente de calceína es incorporada en el borde de crecimiento de las conchas, cual puede ser utilizada exitosamente como punto de referencia en mediciones del crecimiento. La fluorescencia se mantiene en las conchas por un mínimo de 9 meses, tanto en especímenes recién colectados como en especímenes secos y almacenados. Por tanto, la calceína tiene una gran utilidad como marcador en estudios de crecimiento de largo plazo y en función de la variabilidad temporal de los factores ambientales (Kachler & McQuaid, 1999).

2.3 Justificación del estudio

La concha de abanico es una de las principales especies comerciales, la cual ha presentado grandes fluctuaciones en su producción y los más altos desembarques en la costa peruana.

En el 2012, el cultivo de concha de abanico representó el 42% del total de exportaciones peruanas en el rubro acuícola, generaron divisas por más de US\$75 millones. Ante esto es necesario saber las condiciones oceanográficas con las cuales su crecimiento se ve afectado en las diferentes zonas donde se realiza el estudio, que presentan bancos naturales explotados de la concha de abanico tanto por la pesquería artesanal como industrial. Asimismo, esta información será útil para mejorar el cultivo de este recurso.

2.4 Objetivos

2.4.1 General

Comparar el crecimiento de la altura valvar de *Argopecten purpuratus* y sus variaciones en Constante, bahía de Sechura y en la isla San Lorenzo.

2.4.2 Específicos

- I. Estimar parámetros de crecimiento de la altura valvar y las condiciones reproductivas de *Argopecten purpuratus*, en zonas submareales de la bahía de Sechura y en la Isla San Lorenzo.
- II. Calcular y comparar las tasas de crecimiento de la altura valvar por clase de tamaño en *Argopecten purpuratus* en zonas submareales de la bahía de Sechura y en la Isla San Lorenzo.
- III. Describir el microcrecimiento de individuos seleccionados de *Argopecten purpuratus* en zonas submareales de la bahía de Sechura y en la Isla San Lorenzo.
- IV. Relacionar el crecimiento de *Argopecten purpuratus* con las condiciones oceanográficas y sus fluctuaciones.

2.5 Hipótesis

El crecimiento de la “concha de abanico” *Argopecten purpuratus* es mayor en fondos submareales de Bahía Sechura que de Isla San Lorenzo, debido a las mejores condiciones de oxigenación y temperatura del fondo.

3 METODOLOGÍA

3.1 Diseño de estudio

3.1.1 Tipo de estudio

El presente proyecto de investigación es de tipo cuantitativo, no experimental, causal explicativa, transversal - observacional.

3.1.2 Población en estudio

La población del estudio integra dos sub-poblaciones de *Argopecten purpuratus* ubicadas en el banco natural de “La Pampa” (isla San Lorenzo) y de la isla Lobos de afuera colocados en la zona de Constante, en Bahía de Sechura. El hábitat de ambas es entre 8 - 15 mts. de profundidad.

3.1.3 Operacionalización de las variables

Las variables empleadas en investigación, con sus respectivas unidades, son las siguientes: variables empleadas en investigación, con sus respectivas unidades, son las siguientes:

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
<ul style="list-style-type: none"> • Oxígeno disuelto (de fondo y de superficie)mL L⁻¹ • Temperatura (de fondo y de superficie) ...°C • Clorofila-a satelital...mg m⁻³ • Área geográfica 	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de recaptura y marcaje...mm • Peso total...gr. • Peso húmedo total...gr. • Peso de las gónadas...gr. • Tasa de crecimiento...mm mes⁻¹ • Número de estrías.....estría día⁻¹ • Micro – incremento...um estría⁻¹

3.1.4 Área de estudio

El estudio se realizará en dos áreas con condiciones bio-oceanográficas diferentes debido al gradiente latitudinal, una de ellas es frente a la Isla San Lorenzo, Callao (12° S) y la otra en la bahía de Sechura (5°S), los cuales poseen una profundidad de 13 m y 10 m respectivamente.

Tabla 1. Ubicación de las estaciones de muestreo.

Lugar	Latitud	Longitud
Constante, Bahía de Sechura - Piura	5° 40'33.9"	80°54'02.9"
Isla San Lorenzo, Callao – Lima	12° 04'16.5"	77°13'10.5"

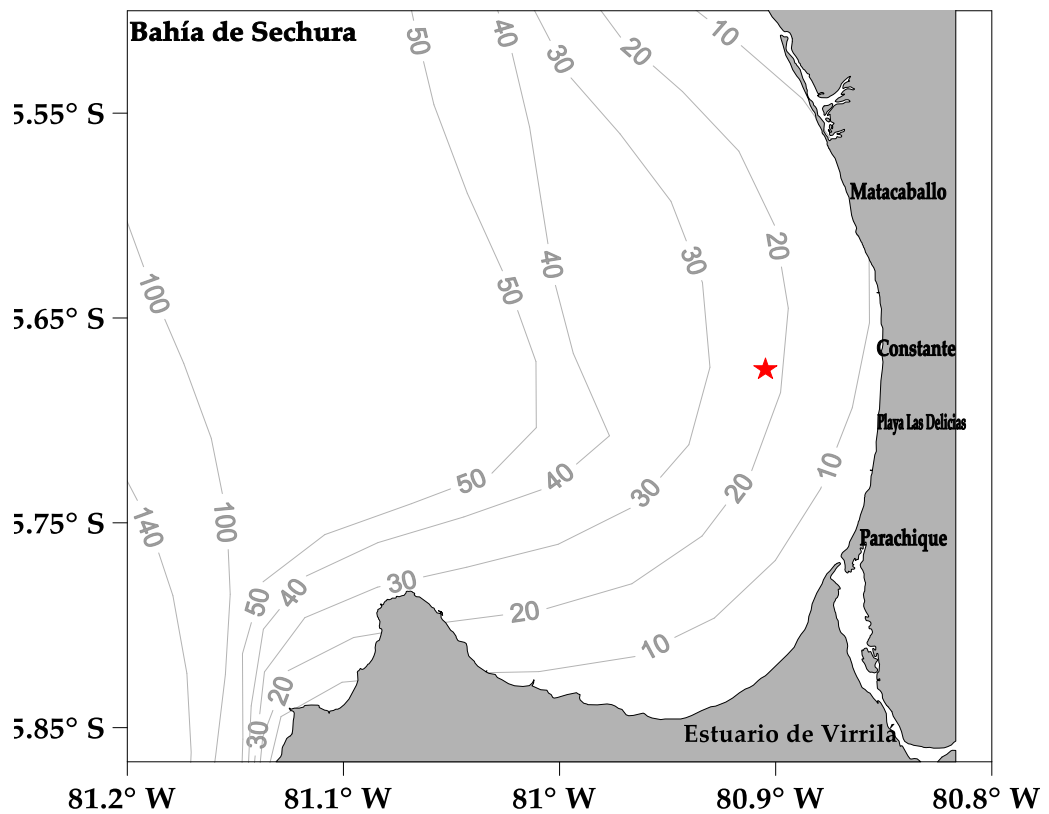
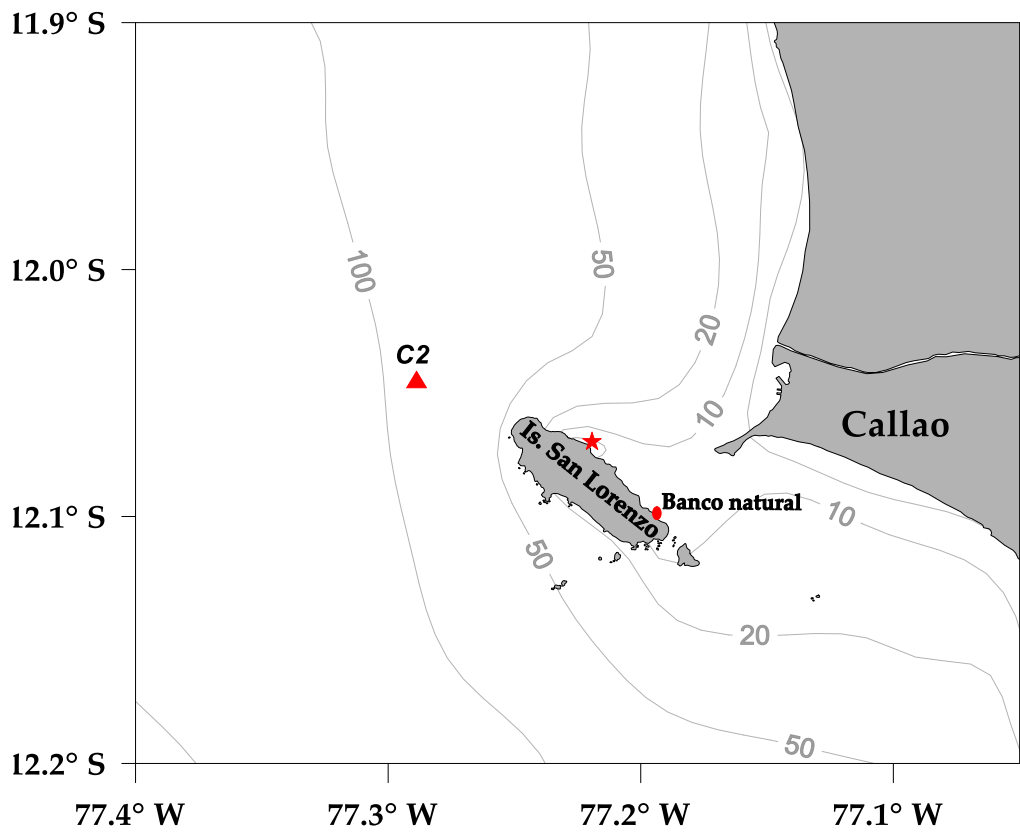


Figura 7. Localidades de estudio: Isla San Lorenzo - Callao (superior), y de Constante, bahía de Sechura – Piura (inferior). Los símbolos de estrella indican las zonas evaluación. El triángulo indica la Estación 2 Fija Callao (IMARPE).

a) Bahía de Sechura

La Bahía de Sechura se encuentra ubicada entre los 5° 18'46'' y 5°50'33''; está delimitada al norte por Punta Gobernador y Punta Aguja por el sur. Tiene una extensión de 89 km. Su borde costero se caracteriza por la presencia de humedales que están conformados por el Estuario Virrilá, los manglares de San Pedro y Palo Parado. Todo este ecosistema es impactado por las condiciones ambientales durante un evento Niño.

La temperatura en superficie se presenta en un rango de 21°C a 24.6 °C y para el fondo se registran valores en un rango de 17.9 °C a 23.1°C (Cisneros et. al. , 2008). Cerca de la costa entre caleta Constante y la playa San Pablo las temperaturas superficiales son mayores a 24°C, mientras que en el extremo sur se presentan temperaturas ligeramente más bajas, asociadas con el afloramiento costero. En el fondo se observa un fuerte ingreso de aguas frías con temperaturas menores de 20°C. Las concentraciones de oxígeno disuelto en la superficie del mar varían entre 2.4 y 9.7ml/L. Los valores de salinidad en la capa superficial varían entre 34.96 a 35.10 y de 34.97 a 35.12 en el fondo, valores que corresponden a Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), Aguas Subtropicales superficiales (ASS) y aguas de mezcla. Las aguas de mezcla son las que predominan la capa superficial como la del fondo (Cisneros et. al., 2008).

b) Isla San Lorenzo

Presenta dimensiones de ocho kilómetros de largo por 2 de ancho, y un área de 1648 ha, es la isla más grande del país. Según IMARPE (2012), la temperatura superficial del mar varía entre 14.5 °C y 21.8 °C, donde las menores temperaturas se registran en julio hasta octubre. La temperatura de fondo varía entre 14.2 °C y 21.2 °C, en promedio, mientras que la salinidad corresponde generalmente a las aguas del afloramiento costero

(aguas costeras frías, ACF). Por otro lado, el oxígeno disuelto superficial varía entre 2,1 y 7,8 mL/L con una media de 4,60 mL/L, mientras que en el fondo el oxígeno disuelto de fondo varía entre 0,4 y 7,7mL/L, con un promedio de 3,3 mL/L. Estos valores pueden variar con eventos tipo el Niño.

3.2 Procedimiento y técnicas

El diseño del estudio tuvo 3 componentes: (1) Marcaje y recaptura de individuos para seguir su crecimiento (marzo 2016 – julio 2016, San Lorenzo - Callao; y marzo – agosto 2016, Constante - Sechura), (2) marcaje con calceína de una sub - muestra de los individuos en Constante y en San Lorenzo, seguido de recaptura posterior, para determinar el ritmo de formación de las líneas de crecimiento a resolución diaria; y (3) Recolección de datos físicos, químicos y biológicos (temperatura, oxígeno disuelto y clorofila-a).

Los muestreos en el campo se realizaron aprovechando la plataforma de seguimiento del banco natural ‘La Pampa’ de Isla San Lorenzo, sostenida por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE); mientras que, en Constante, mediante el apoyo de la empresa IPrisco.

3.3 Recolección de datos

3.3.1 Marcaje y recaptura de individuos para seguir su crecimiento

La obtención de muestras biológicas y oceanográficas se realizó a bordo de una embarcación marisquera equipada con equipos de buceo y compresora. Las muestras biológicas se colectaron mediante buceo semiautónomo. Los individuos fueron medidos con calibrador vernier digital Mitutoyo® (modelo 500-196 20B) con una precisión de 0,01 mm, tomándose los datos de altura valvar.

a) Constante

Se construyó un corral de 49 m² a unos 10 metros de profundidad con un sustrato de arena fina y gruesa con conchuelas, donde se recolectaron alrededor de mil (1000) individuos provenientes del banco natural de la isla Lobos de Tierra, que contaron con una altura valvar dentro del rango de 40 - 60 mm. Los mismos individuos que fueron marcados inicialmente fueron recapturados en las fechas siguientes y no se incorporaron nuevos individuos marcados durante el experimento. Adicionalmente, se realizó un marcaje con calceína de alrededor de cien (100) individuos al azar, los cuales fueron recapturados en las mismas fechas que los demás individuos.

b) San Lorenzo

El marcaje – recaptura se realizó con individuos que fueron colectados en el banco natural “La Pampa” 12°04′16.5” S – 77°13′10.5” W, en el rango de tallas de 30 – 60 mm. En esta zona no se contó con un corral, debido a que es un área de acceso libre. Como posiblemente se iban a sufrir pérdidas de los individuos por la pesca artesanal de la zona, se realizó marcajes de nuevos individuos en las fechas de recaptura para alcanzar una mayor recapturabilidad. Además, los individuos marcados no fueron devueltos al banco natural sino colocados en un punto cercano a este, ubicado aproximadamente a 15 metros de profundidad y con sustrato arenoso (Tabla 1 y Figura 7), con el fin de limitar el riesgo que fuesen capturados por agentes externos al estudio.

3.3.2 Análisis biológico y marcaje químico con calceína

a) Análisis biológico

Para el análisis biológico, se tomaron aproximadamente 30 individuos en cada zona. En San Lorenzo, se escogieron al azar los individuos en el rango de tallas entre los 30 – 60 mm. Por otro lado, en Constante al no tener un recambio de individuos, se colectaron estos dentro de un mayor rango, alrededor de los 45 – 70 mm. De cada muestra se tomaron

datos como peso total, gónadas y musculo abductor, para tener una referencia sobre el estado reproductivo de la población, entre otros.

b) Marcaje químico con calceína

En la zona de Constante, se colectaron alrededor de 100 individuos al azar, los cuales fueron extraídos del corral en la primera fecha de marcaje (01 de abril del 2016) para colocarlos en tinas con 20 litros de agua de mar con 2gr de calceína, donde se les dejó reposar por 3 horas, para luego limpiarlas y dejarlas reposando cerca del corral en cazpachos alrededor de la caseta que se encontraba cerca del lugar de estudio. Luego se colocaron en el corral con el resto de la sub – muestra.

En la zona de Isla San Lorenzo, se tomaron alrededor de 100 individuos al azar, los cuales fueron extraídos en la primera fecha de marcaje (21 de marzo del 2016), para ser transportados al Laboratorio de Ecofisiología y Acuicultura del IMARPE. En este último, los individuos extraídos fueron colocados en dos bateas con 20L de agua de mar y 2 gr de calceína por unas 12 horas. Al día siguiente todos los individuos marcados fueron llevados al punto establecido cerca al banco natural.

3.3.3 Recolección de datos de temperatura, oxígeno disuelto y clorofila – a

Se utilizó la concentración de clorofila-a superficial como indicador de la cantidad de fitoplancton disponible en el mar, el cual se relaciona con el alimento disponible para la concha de abanico. La información provino del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, en inglés) a una resolución temporal de cada 5 días y espacial de 5 km, desde enero de 2015 hasta agosto de 2016.

Para el caso de Sechura, el área utilizada para la extracción de datos satelitales de clorofila-a superficial fue de aproximadamente 900 km², un área que más o menos cubre casi toda la bahía. Frente a Callao el área seleccionada midió aproximadamente 500 km².

Para la temperatura y oxígeno disuelto se aplicó una metodología diferente:

a) Constante

En esta zona se obtuvieron los datos del sensor modelo U20L de marca HOBO, que tomó datos de oxígeno disuelto y de temperatura de fondo cerca al corral donde se encontraban desde el 2015 hasta mayo del 2016. Luego estos datos fueron complementadoa con los datos tomados de la empresa Iprisco, usando un multiparámetro modelo HI 9829 marca HANNA, cada 3 a 7 días dependiendo de las jornadas de trabajo.

b) San Lorenzo

En esta zona se colocó un sensor marca HOBO modelo de U20L, el cual solo tomó datos desde diciembre del 2015 hasta febrero del 2016 de temperatura y salinidad; luego el sensor se volvió a colocar, pero en su siguiente recuperación para la obtención de datos no fue hallado. Ante ello, se utilizaron datos de la estación C2 del Imarpe (Figura 7), que es monitoreada con una frecuencia de alrededor de quince (15) días. Aquí los datos se obtienen mediante un CTD, de los cuales se utilizó los registros de temperatura y de oxígeno disuelto en el rango de 10 – 15 m de profundidad, que es la profundidad donde se encontraban los individuos.

3.4 Técnicas de procesamiento de datos

3.4.1 Determinación de tasas de crecimiento

El marcaje de concha de abanico se acondicionó a partir del modelo propuesto por Maunder (2001), aplicándose el marcaje y recaptura para conocer el crecimiento, mortandad y supervivencia desde el año 2005 por el IMARPE. Para este estudio, el procedimiento de marcaje – recaptura en la zona de San Lorenzo se realizó en las siguientes fechas: 21 de marzo, 28 de abril, 09 de junio y 25 de julio del 2016 y para la

zona Constante, se realizaron en las siguientes fechas: 01 de abril, 13 de mayo, 24 de junio y 07 de agosto del 2016.

El procedimiento consistió en los siguientes pasos:

- Captura de ejemplares mediante buceo semiautónomo.
- Inmersión de los ejemplares en una tina de plástico, de 50 L de capacidad, con agua de mar.
- Secado de los ejemplares con paño absorbente.
- Pegado con pegamento epóxico de marcas plásticas numeradas sobre una de las valvas.
- Medición de la altura valvar con un vernier, registro de la altura valvar y fecha de marcaje en una bitácora
- Secado del pegamento por un tiempo máximo de 5 minutos
- Colocación de los ejemplares marcados en tina con agua de mar
- Una vez terminado el proceso de marcado, los ejemplares se devuelven a su ambiente natural mediante buceo semiautónomo.

La recaptura de los ejemplares de concha de abanico se realizó también mediante buceo semiautónomo. Los ejemplares marcados y recapturados fueron nuevamente medidos con el mismo vernier. La altura valvar fue registrada en la bitácora, anotándose la fecha de recaptura. Las tasas de crecimiento ($\Delta L/\Delta t$) por intervalos de talla fueron expresadas como el incremento de la longitud por unidad de tiempo (mes).

$$TC = \frac{L_{t+\Delta t} - L_t}{\Delta t}$$

Donde:

ΔL (mm) = $L_r - L_m$ (L_r : Longitud de recaptura y L_m : Longitud de marcaje)

Δt (días) = $t_r - t_m$ (t_r : fecha de recaptura, t_m : fecha de marcaje)

3.4.2 Parámetros de crecimiento

a) Parámetros de crecimiento

Método de Gulland & Holt (1959)

Los parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (K , L_{∞}) fueron estimados usando el método de Gulland – Holt (1959), donde se utilizaron las tasas de crecimiento estimadas mediante los experimentos de captura, marcaje- recaptura.

La función que utiliza este método es:

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = a + bL'$$

Donde:

ΔL (mm) = $L_r - L_m$ (L_r : Longitud de recaptura y L_m : Longitud de marcaje)

Δt (días) = $t_r - t_m$ (t_r : fecha de recaptura, t_m : fecha de marcaje)

L' : $(L_r + L_m)/2$

Los parámetros de crecimiento fueron estimados usando las siguientes relaciones:

$$L_{\infty} = \frac{-a}{b}, \quad K = -b$$

Ajuste no lineal de la curva de crecimiento de Von Bertalanffy

Se utilizaron los parámetros obtenidos de las curvas de crecimiento conocidas de la zona de la Bahía de Sechura ($L_{\infty} = 93,7$, $k = 1,65$, $t_0 = -0,02$) obtenidos por Mendo et al. (2011)

y en la zona de Callao ($L_{\infty}= 100$, $k =0,93$, $t_0=-0,04$) obtenidos por Arguelles et al. (2012), como valores iniciales para realizar un ajuste no lineal de la curva de von Bertalanffy con las observaciones en ambas zonas de estudio. Con ellos, se realizó un ajuste para graficar la curva de crecimiento de estos valores conocidos, y detectar si los datos obtenidos en las recapturas tenían la misma tendencia. Luego se realizó un ajuste para minimizar la suma de diferencias de cuadrados, dando como resultado una nueva curva con la misma tendencia, pero variando los parámetros de crecimiento. El ajuste se realizó con la función “solver” de Microsoft Excel y también mediante la función nls del software R.

b) Determinación de los valores de t_0 y rendimiento de crecimiento

Para la determinación del valor de t_0 , que representa el tiempo en que el organismo tiene 0 mm de altura, se empleó la fórmula sugerida por Pauly (1980):

$$\log(-t_0) = -0,3922 - 0,2752 \log(L_{\infty}) - 1,038 \log(K)$$

Para calcular el rendimiento del crecimiento (Φ') (Pauly & Munro 1984), se utilizó la ecuación:

$$\Phi' = \log(K) + 2\log(L_{\infty})$$

3.4.3 Análisis biológico

El muestreo biológico se realizó con frecuencia bimestral con el fin de relacionar el crecimiento de la altura valvar con el peso total, peso de las gónadas, estado de madurez y peso del talo para ambos sitios. Se tomó el peso húmedo del talo (músculo abductor),

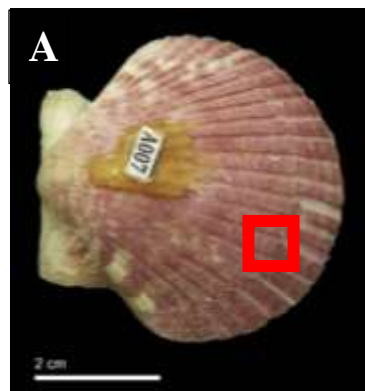
gónada, peso total y se tomaron 30 ejemplares entre los rangos de 30 – 60 mm para ambas zonas. Todos los pesos fueron realizados con una balanza de alta precisión.

3.4.4 Micro – incrementos, marca con calceína y conteo de estrías

Siguiendo el protocolo de trabajo de Mahé (2010), se usaron las valvas derechas, debido a que normalmente las estrías y los anillos de crecimiento no se encuentran desgastados por el contacto con el sustrato.

Las valvas se limpiaron y secaron en una estufa a 30 °C durante 48 h. Para el análisis de los micro-incrementos internos, las valvas se cortaron transversalmente a lo largo del eje de crecimiento (del umbo al margen ventral) usando una mini-sierra de diamante. Las secciones finas se montaron en lámina de vidrio con un pegamento epoxico y finalmente, se efectuó un pulido por ambos lados. Luego las placas fueron observadas con un microscopio de fluorescencia (Nikon), para lo cual la calceína se observó con ayuda de la fluorescencia de excitación 460-490 nm (luz azul) con un aumento de 4X, que permitió detectar la fecha del marcaje.

Con el fin de determinar el número de incrementos durante el experimento, se realizaron conteos de las estrías con fotos tomadas desde un estereoscopio con un aumento de 1x, lo cual se corroboró con el marcaje de calceína el inicio de estos micro-incrementos (desde el 21 marzo del 2016 en el caso de San Lorenzo y de 01 abril de 2016 en Constante).



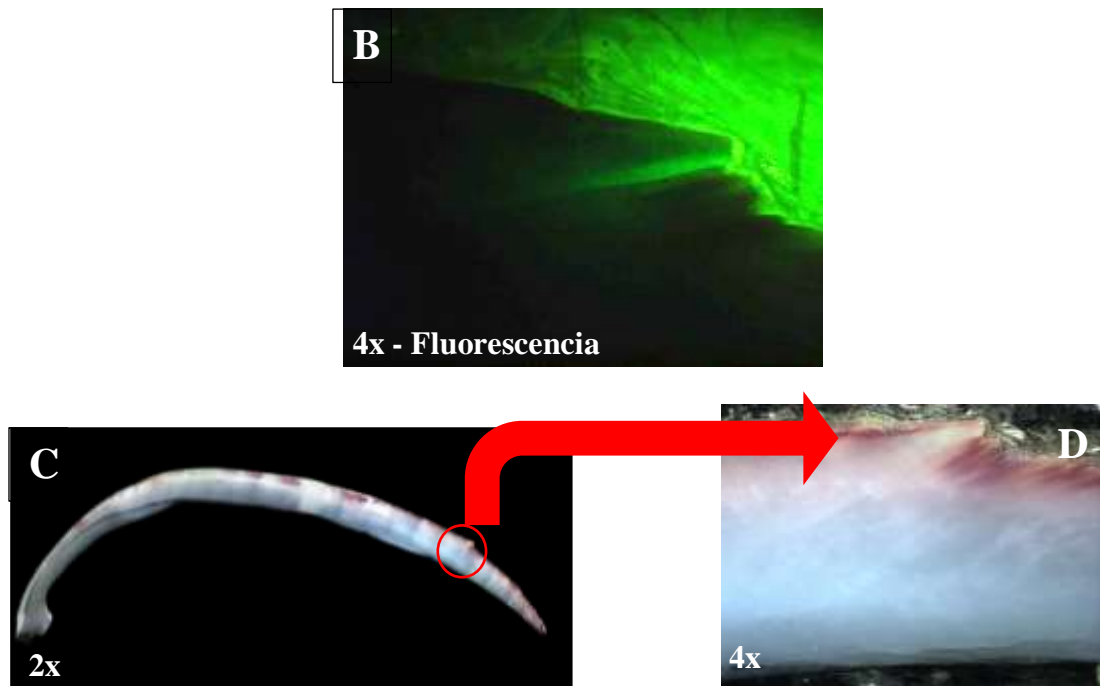


Figura 8. La concha de abanico. (A) Vista de la parte externa del caparazón. (B) Marca de calceína detectada con la fluorescencia. (C) Sección delgada vista bajo luz difusa, con el umbo hacia la izquierda y creciente borde a la derecha. (D) Detalle de la sección delgada que muestra los cambios por el sometimiento al estrés debido al marcaje con calceína.

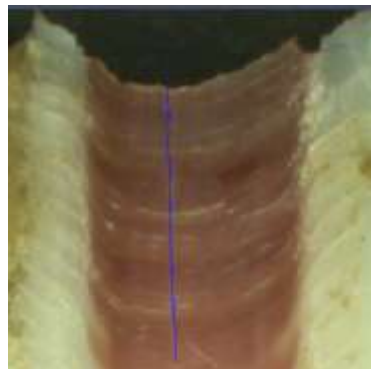


Figura 9. Micro - incrementos observados con el estereoscopio a un aumento de 1x (ZEN) calculados con el programa Zen Blue.

3.5 Análisis y procesamiento de datos

3.5.1 Condiciones Reproductivas

a) Índice Gonodosomático

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

$$\text{Índice gonado – somático} = \left(\frac{\text{Peso seco de tejido gónadal}}{\text{Peso seco tejidos parte blanda}} \right) \times 100\%$$

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 de manera bimensual 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).

b) Factor de condición de Fulton

El factor de condición de Fulton (FC), es utilizado para determinar el grado de bienestar o robustez de la especie en estudio, debido a que permite comparar individuos que presenten la misma longitud. Se estimó mediante la siguiente fórmula (1) Donde W es el peso corporal húmedo en gramos y L la longitud en milímetros. La interpretación del factor de condición de Fulton (FC) se basa en aspectos como la disponibilidad de alimento, estacionalidad y factores fisiológicos de la especie.

$$FC = 100 \left(\frac{W}{L^3} \right)$$

3.5.2 Comparación del crecimiento en *Argopecten purpuratus* entre Constante y San Lorenzo

a) Comparación de crecimiento con el método de marcaje y recaptura

Para el análisis de crecimiento se trabajó con rangos de 5 mm entre las tallas de la altura valvar de las conchas de abanico obtenidas durante las diferentes fechas de recaptura, con intervalos relativamente similares. Al dividir los individuos en los rangos de talla, se pudieron diferenciar tres casos: (1) En los rangos entre 30 y 45 mm solo se encontraron individuos en San Lorenzo, (2) En los rangos entre 45 y 60 mm se encontraron individuos en ambas zonas; y (3) en el rango 60 – 65 mm se encontraron individuos en la zona de Constante solamente. En primer lugar se realizó la prueba de normalidad para verificar la normalidad de los datos en caso no se dé esto se aplicó el método de Kruskal & Wallis y luego un comparación múltiple de Dunn(1964); si los datos son normales se realiza la verificación de diferencias significativas mediante el análisis de varianza (ANOVA) de una vía para los casos donde los rangos de talla se ubican en una sola zona y se aplicó de dos vías para realizar la comparación entre las tasas de crecimiento en de San Lorenzo y Constante, luego realizó una comparación múltiple con la prueba de posthoc de Tukey. También se utilizaron diagramas de caja para la comparación entre las tasas de crecimiento de ambas zonas y entre los rangos de talla de cada una de las zonas.

b) Comparación de los parámetros de crecimiento

Se utilizó los métodos de Gulland – Holt, para calcular los parámetros de crecimiento (L_{∞} y k) por períodos en cada zona. También se calcularon los parámetros de crecimiento durante todo el estudio por los métodos de Gulland – Holt y el ajuste no lineal de la curva de Von Bertalanffy con dos funciones de diferentes programas.

c) Comparación de crecimiento mediante los micro – incrementos

Se compararon las variables ambientales con los micro-incrementos, con la resolución respectiva de cada variable. También se comparó rangos y formación de estrías entre los individuos de ambas zonas.

3.5.3 Relación entre el crecimiento y variables ambientales

Condiciones físicas y químicas del agua de mar

Se hizo análisis de normalidad con la prueba Shapiro-Wilks (Zar, 1996). Para verificar la homocedasticidad se usó la prueba F de Fisher, si la normalidad no era verificada no se realiza ninguna transformación. Para establecer si existieron diferencias entre las medias entre las diferentes variables se aplicó la prueba t de Student al 95%.

Para la verificación de diferencias significativas se aplicó análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para realizar la comparación de las variables ambientales entre los períodos de estudio donde se consideraron 3 periodos similares (otoño_I, Otoño_{II} e invierno) tanto en San Lorenzo como en Constante.

Relación entre el crecimiento y las variables ambientales

Se realizaron diagramas de dispersión entre las variables ambientales (clorofila – a, oxígeno disuelto y temperatura) con las tasas de crecimiento.

El análisis de datos se realizó a través del programa libre R – Project, Surfer V.13, Microsoft Excel 2016 y otros programas.

4 RESULTADOS

4.1 Condiciones oceanográficas durante el estudio

4.1.1 Condiciones oceanográficas superficiales

a) Isla San Lorenzo – Callao

Los datos de temperatura superficial del mar mensual (TSM) en el 2015 y del 2016 se obtuvieron a partir de la estación fija 2 (Figura 7) donde se determinó que en el 2015, el valor mínimo de la TSM fue en el mes de setiembre con 16,5 °C y el valor máximo en junio, con 21,5°C, alcanzando un promedio anual de 18,3°C. La TSM mensual mínima en 2016 fue en el mes de octubre con 16,1 °C y la máxima fue en febrero, con 21,7 °C, con un promedio anual de 18,2°C.

El mínimo valor mensual de oxígeno disuelto superficial del mar (ODSM) en 2015 fue en julio con 3,8 ml L⁻¹ y el máximo se dio en marzo con 7,5 ml L⁻¹, teniendo un promedio anual de 5,5 ml L⁻¹. El mínimo valor mensual de ODSM en 2016 fue en setiembre con 3,9 ml L⁻¹ y el máximo se dio en febrero con 6,6 ml L⁻¹, con un promedio anual de 4,7 ml L⁻¹.

La clorofila – a satelital promedio mensual presentó en 2015 un valor mínimo en agosto con 0.35 mg m⁻³ y el máximo en diciembre con 11.02 mg m⁻³, teniendo un promedio anual de 3,88 mg m⁻³. En 2016 el mínimo se dio en el mes de agosto con 0,48 mg m⁻³ y el máximo se dio en abril con 9,77 mg m⁻³, con un promedio anual de 7,38 mg m⁻³.

También se tomaron datos en el momento tanto en el marcaje como en las recapturas, donde se presentó el valor más alto TSM en el mes de marzo con 19,6 °C y el valor más bajo fue en el mes de julio con 17°C. En el caso del oxígeno disuelto superficial del mar (ODSM) el valor más alto se presentó en el mes de abril con 6,08 ml L⁻¹ y el valor más bajo se presentó en el mes de marzo con 3.39 ml L⁻¹.

b) Constante, Bahía de Sechura – Piura

El mínimo valor de la TSM en el 2015 se dio en el mes de setiembre con 16,5 °C y el máximo se dio en junio con 21,5°C, teniendo un promedio anual de 18,3°C. En 2016 el mínimo se dio en el mes de octubre con 16,1 °C y el máximo se dio en febrero con 21,7 °C, con un promedio anual de 18,2°C.

El mínimo valor mensual de oxígeno disuelto superficial del mar (ODSM) en 2015 fue en julio con 3,8 ml L⁻¹ y el máximo se dio en marzo con 7,5 ml L⁻¹, teniendo un promedio anual de 5,5 ml L⁻¹. El mínimo valor mensual de ODSM en 2016 fue en setiembre con 3,9 ml L⁻¹ y el máximo se dio en febrero con 6,6 ml L⁻¹, con un promedio anual de 4,7 ml L⁻¹.

La clorofila – α satelital promedio mensual presentó en 2015 un valor mínimo en febrero con 0,91 mg m⁻³ y el máximo en setiembre con 9,52 mg m⁻³, teniendo un promedio anual de 4,30 mg m⁻³. En 2016 el mínimo se dio en el mes de julio con 2,52 mg/m³ y el máximo se dio en abril con 13,37 mg m⁻³, con un promedio anual de 7,39 mg/m³.

También se tomaron datos en el momento tanto en el marcaje como en las recapturas, donde se presentó el valor más alto TSM en el mes de marzo con 19,6 °C y el valor mas bajo fue en el mes de julio con 17°C. En el caso del oxígeno disuelto superficial del mar (ODSM) el valor más alto se presentó en el mes de abril con 6,08 ml L⁻¹ y el valor más bajo se presentó en el mes de marzo con 3.39 ml L⁻¹.

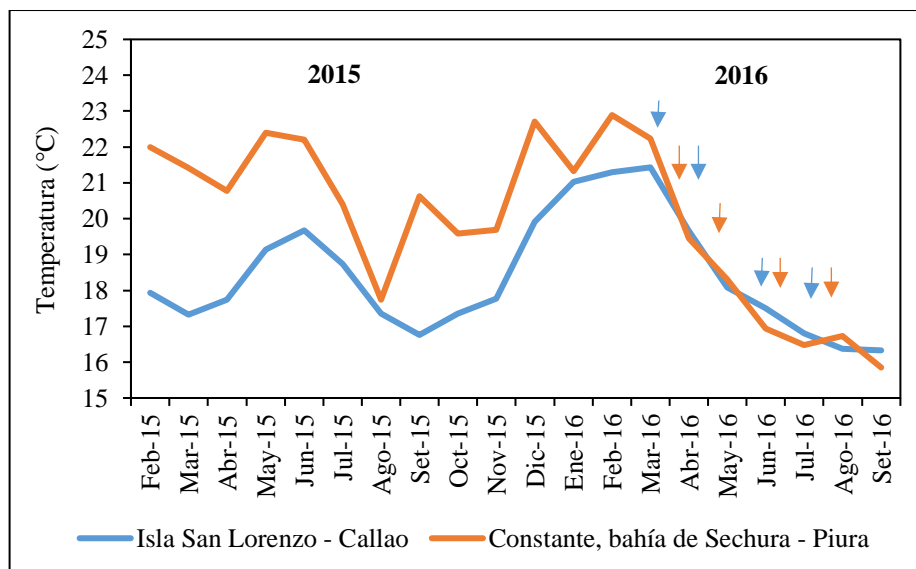


Figura 10. Promedio mensual de la temperatura superficial de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura (flechas verticales).

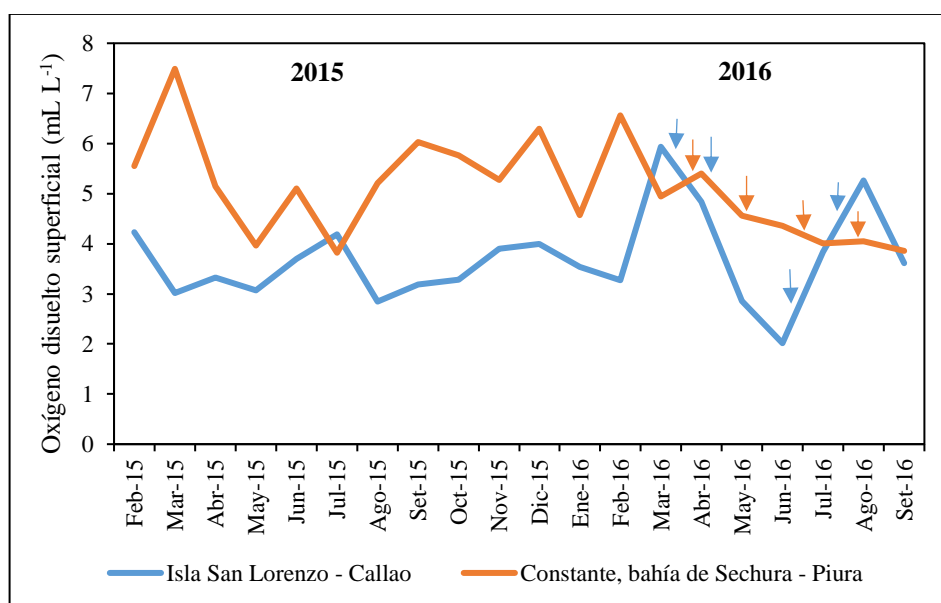


Figura 11. Promedio mensual del oxígeno disuelto superficial de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura. (flechas verticales)

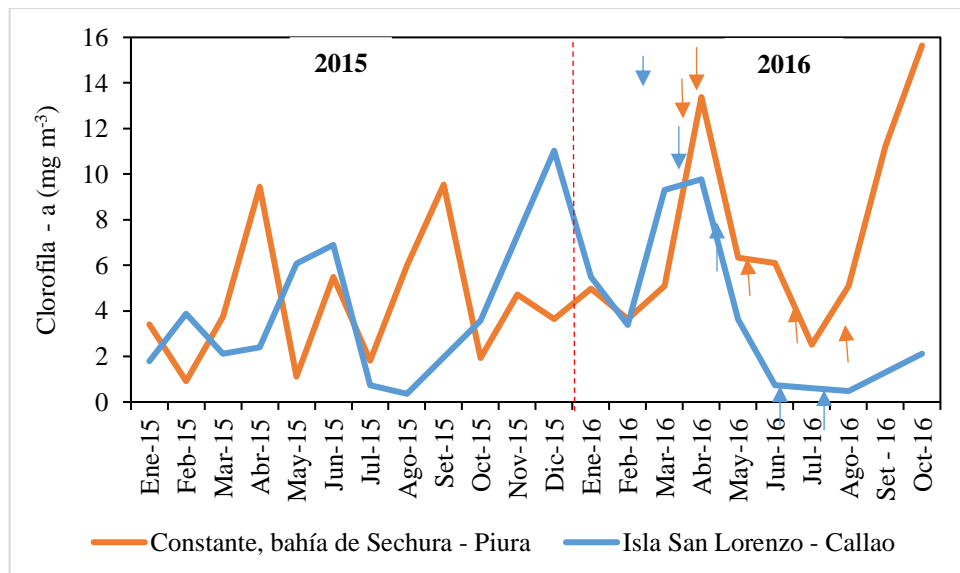


Figura 12. Promedio mensual de la clorofila a (mg m^{-3}) de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura (flechas verticales).

4.1.2 Condiciones oceanográficas subsuperficiales

a) Isla San Lorenzo - Callao

La figura 13 muestra la serie interpolada mensual de la temperatura a 15 m de profundidad en la estación fija 2. Para 2015, el mínimo valor se dio en enero con $15,8^{\circ}\text{C}$ y el máximo se dio en junio con $19,7^{\circ}\text{C}$ con un promedio de $17,5^{\circ}\text{C}$. Para 2016 el mínimo se dio en setiembre con $15,4^{\circ}\text{C}$ y el máximo se dio en febrero con $19,6^{\circ}\text{C}$, con un promedio anual de $17,2^{\circ}\text{C}$.

Asimismo, en el fondo el oxígeno disuelto para 2015 presentó un valor mínimo en febrero con $1,1 \text{ ml/L}$ y el máximo en diciembre con $4,8 \text{ ml/L}$, con un promedio anual de $2,9 \text{ ml/L}$. Para 2016 el mínimo se dio en julio con $2,3 \text{ ml/L}$ y el máximo se dio en mayo con $3,6 \text{ ml/L}$, con un promedio anual de $2,9 \text{ ml/L}$.

b) Constante, Bahía de Sechura – Piura

En el fondo, la temperatura promedio mensual en 2015 presentó un valor mínimo en diciembre con 22,2°C y un máximo en agosto con 17,5°C, con un promedio anual de 19,9°C. Para 2016 el mínimo se dio en setiembre con 15,6°C y el máximo se dio en febrero con 21,9°C, con promedio anual de 18,4°C.

Asimismo, en el fondo el oxígeno disuelto para 2015 presentó un valor mínimo en febrero con 1,1 ml/L y un máximo en diciembre con 4,8 ml/L, con un promedio anual de 2,9 ml/L. Para 2016 el mínimo se dio en julio con 2,3 ml/L y el máximo se dio en mayo con 3,6 ml/L, con un promedio anual de 2,9 ml/L.

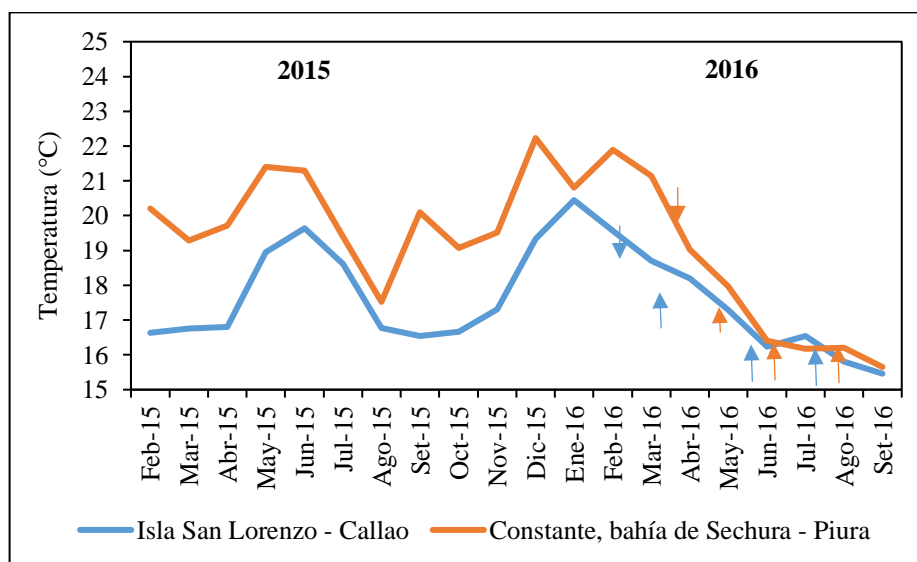


Figura 13. Promedio mensual de la temperatura de fondo de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura respectivamente.

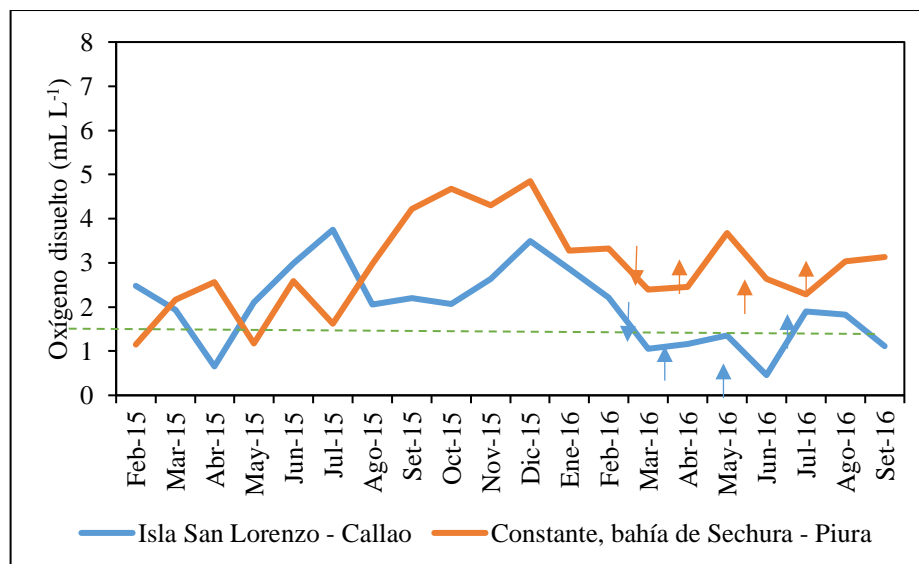


Figura 14. Promedio mensual del oxígeno disuelto de fondo de las zonas de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de febrero del 2015 hasta setiembre del 2016, señalando las fechas de marcaje y recaptura respectivamente y la línea verde punteada indica la hipoxia costera (1,43 mL L⁻¹).

4.1.3 Comparación de sitios

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro - Wilks, a las variables durante el tiempo del estudio, que se realizó durante marzo hasta agosto del 2016, el cual dio como resultados que todas las variables cuentan con normalidad en sus datos ($p > 0.05$). Al aplicar la prueba de t-student para la comparación entre los dos sitios, se halló diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas de San Lorenzo y Constante en la variable del oxígeno disuelto de fondo, pero con las variables de temperatura y clorofila-a satelital no se encontraron diferencias significativas entre las dos zonas (ver Tabla 2).

Tabla 2. Pruebas de normalidad de Shapiro - Wilks y t- student en las variables ambientales durante el periodo de estudio (Marzo – agosto 2016) en las dos zonas.

Ciudad/Prueba	Clorofila - a		Temperatura		Oxígeno disuelto	
	Normalidad	t.test (valor-p)	Normalidad	t.test (valor-p)	Normalidad	t.test (valor-p)
San Lorenzo	0.56	0.89	0.82	0.96	0.31	0.002
Constante	0.42		0.15		0.38	

Adicionalmente, se realizó un ANOVA de dos vías, para verificar si existían diferencias significativas en los valores de los factores abióticos entre las zonas y períodos de estudio, separados de acuerdo a las fechas de marcaje y recaptura (otoño I, otoño II e invierno). En el caso de la clorofila se observaron diferencias significativas entre los periodos. La temperatura tiene diferencias significativas entre las zonas y por periodos, por último, en el caso del oxígeno disuelto se encontraron diferencias significativas entre zonas (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza de doble vía entre el factor espacial y factor temporal, donde las corresponden a clorofila, oxígeno disuelto y temperatura, respectivamente. El factor espacial (Z = zona) tiene dos grupos (C: Constante, SL: San Lorenzo). El factor temporal (P = Períodos) tiene 6 grupos (SLO_I, SLO_{II}, SLI, CO_I, CO_{II}, CI). n.s.: no significativo.

Clorofila	g.l.	SC	CM	F	valor p
P	1	87,5	87,5	2,43	0,0004*
Z	2	700,6	350,3	9,73	n.s.
P: Z	1	1,2	1,2	0,035	n.s.
Residuos	37	1331,7	36,0		

Oxígeno	g.l.	SC	CM	F	valor p
P	1	2,88	2,89	4,40	n.s.
Z	1	0,15	0,15	0,23	0,04*
P: Z	1	0,06	0,6	0,09	n.s.
Residuos	40	26,23	0,66		

Temperatura	g.l.	SC	CM	F	valor p
P	1	3,72	3,72	4,03	0,04*
Z	1	42,97	42,97	46,47	0*
P: Z	1	0,47	0,47	0,51	n.s.
Residuos	88	81,38	0,92		

4.2 Cambios temporales en la estructura de la población

4.2.1 Estructura de tallas

a) Isla San Lorenzo – Callao

Durante la primera marcación de doscientos cuatros (204) individuos, de los cuales noventa y nueve (99) individuos fueron marcados con calceína, esto se llevó a cabo el 21 de marzo del 2016, donde se presentaron tallas desde los 25 a 70 mm. (Figura 15, letra a), donde la moda entre los individuos presentó tallas entre 35 – 40 mm. (24%), teniendo una media de 40,66 mm y un coeficiente de variación del 21,8%. (ver anexos, tabla A1)

Para la segunda fecha que fue el 28 de abril de 2016, se marcaron ciento treinta y tres (133) individuos nuevos, donde se obtuvieron tallas entre 25 – 65 mm. (Figura 15, letra b) y se tuvo una media de 39,5 mm. con un coeficiente de variación 15,3%. Por otro lado, se recuperaron veintiuno (21) individuos vivos de los cuales diecinueve (19) eran marcados con calceína y dos (2) sin este marcador químico, donde las tallas oscilaron entre 35 – 70 mm. (Figura 16, letra a), y se obtuvo una media de 46,3 mm. con un coeficiente de variabilidad de 16,3% (ver anexos, ver tablas A1 y A2).

En la tercera fecha, que se realizó el 09 de junio de 2016 se marcaron doscientos veinticuatro (224) individuos nuevos donde se obtuvieron tallas entre 25 – 65 mm. (Figura 15, letra c) y se tuvo una media de 41,9 mm. con un coeficiente de variación 6,2%. Por otro lado, se recuperaron cuarenta y nueve (49) individuos vivos, de los cuales seis (6) eran marcados con calceína y cuarenta y tres (43) sin este marcador químico, donde las tallas oscilaron entre 35 – 65 mm. (Figura 16, letra b), y se obtuvo una media de 43,9 mm. con un coeficiente de variabilidad de 10,8% (ver anexos, ver tablas A1 y A2).

Por último, en el marcaje realizado el 25 de julio del 2016 se marcaron doscientos nueve (209) individuos nuevos donde las tallas oscilaron entre 15 – 65 mm. (Figura 15, letra d) y se tuvo una media de 42,9 mm. con un coeficiente de variación 6,40 %. Por otro lado, se recuperaron treinta y cuatro (34) individuos vivos, de los cuales uno (1) era marcado con calceína y treinta y tres (33) sin este marcador químico, donde las tallas oscilaron entre 40 – 70 mm. (Figura 16, letra c), y se obtuvo una media de 50,2 mm con un coeficiente de variabilidad de 10,7% (ver anexos, ver tablas A1 y A2).

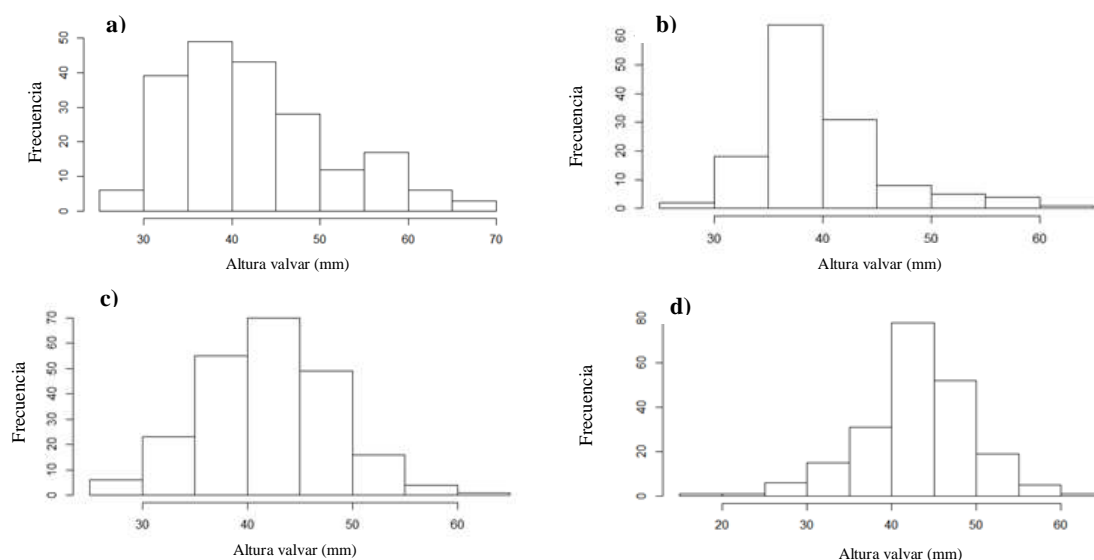


Figura 15. Histogramas de los individuos marcados en las cuatro fechas donde se realizó marcaje: a) 21/03/16, b) 28/04/16, c) 09/06/16, d) 25/07/16 en la zona de la isla San Lorenzo, Callao.

a)

b)

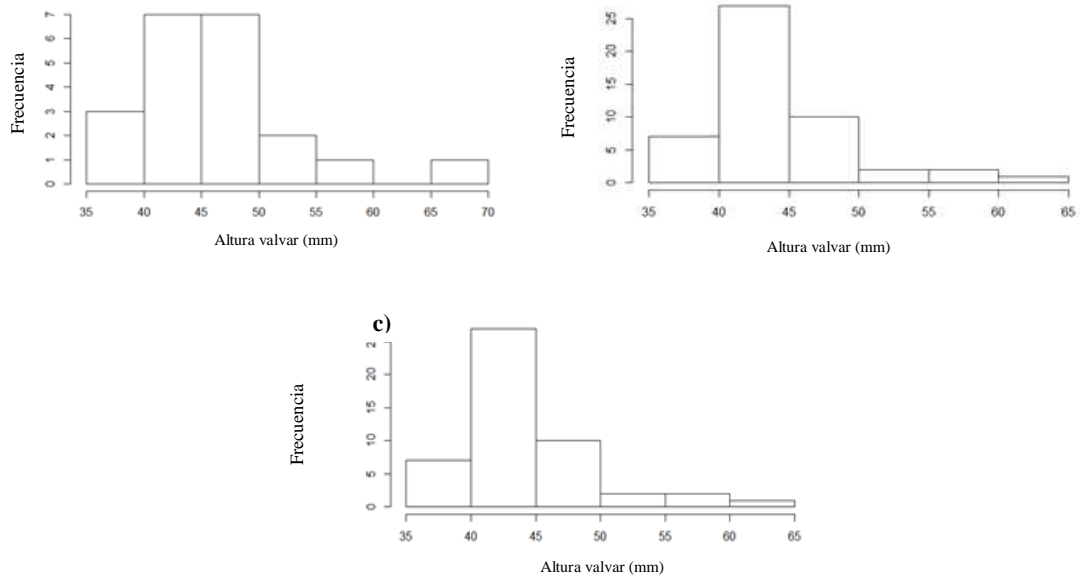


Figura 16. Histogramas de los individuos recapturados en las tres fechas donde se obtuvieron individuos recapturados: b) 28/04/16, c) 09/06/16, d) 25/07/16 en la zona de la isla San Lorenzo, Callao.

b) Constante, Bahía de Sechura – Piura

Las condiciones en este lugar fueron distintas debido a que se contó con el apoyo de una empresa que brindó un corral con semillas de la isla Lobos de Afuera, poniendo a disposición alrededor de novecientos ochenta y uno (981) individuos entre 40 – 60 mm., de los cuales ciento doce (112) individuos se marcaron químicamente con calceína y ochocientos sesenta y nueve (869) no tuvieron este marcador químico (Figura 17, letra a).

La primera y única fecha de marcaje se realizó el 01 de abril de 2016, aplicándose sobre individuos de 35 a 65 mm., con una media de 51,9 mm. y un coeficiente de variación 7,9 % (ver anexos, tabla A3).

En la segunda fecha, que vendría ser la primera recaptura, se obtuvo diecinueve (19) individuos debido a las malas condiciones en el mar como poco visibilidad y robo en la

propiedad. Los individuos recapturados estuvieron entre los 45 a 65 mm. (Figura 17, letra b), con una media de 55,8 mm. y un coeficiente de variación 5,6 % (ver anexos, tabla A3).

En la tercera fecha, que vendría ser la segunda recaptura, se obtuvo doscientos cincuenta y nueve (259) individuos, estos individuos estuvieron entre los 50 a 80 mm. (Figura 16 c), con una media de 67,02 mm. y un coeficiente de variación 5,51 % (ver anexos, tabla A3).

Por último, en la cuarta fecha que fue la tercera recaptura, se obtuvo doscientos (200) individuos, estos individuos estuvieron entre los 60 a 90 mm. (Figura 17 d), con una media de 75,60 mm. y un coeficiente de variación de 5,15 % (ver anexos, tabla A3).

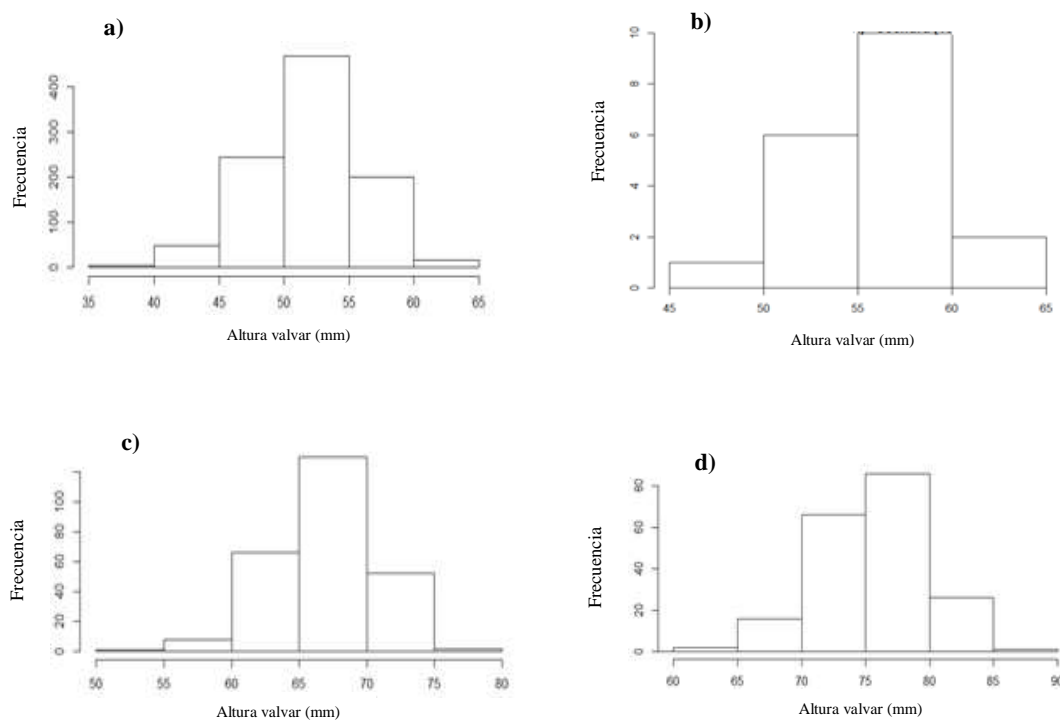


Figura 17. Histogramas de los individuos marcados el (a) 01/05/2016 y los recapturados en las tres fechas restantes donde se realizó la recaptura en las siguientes fechas: (b) 13/05/2016, (c) 24/06/2016 y (d) 07/08/2016 en la zona de Constante en la bahía de Sechura, Piura.

4.2.2 Relación longitud – peso

La relación de talla (longitud valvar en mm) y peso (peso total en g) se hizo para el total de los individuos evaluados en cada una de la fecha y por los dos lugares contemporáneas. Los resultados se muestran en las figuras 17 y 18.

Se midieron y pesaron alrededor de 269 conchas de abanico (154 en Callao y 117 en Sechura).

La relación talla – peso en la zona de la isla San Lorenzo entre la fecha de marcaje y las tres fechas de recaptura (marzo - julio 2016), se evidenció que no hay diferencias significativas entre las pendientes, pero si en el intercepto entre la fecha de marcaje y la primera fecha de recaptura (ver tabla 3, Figura 18).

Tabla 4. Análisis de varianza en las zonas de estudio (Zonas: SL: San Lorenzo y C: Constante), en el caso de SL se compararon con la fecha de marcaje y las 3 de recaptura y en Constante se compararon entre las fechas de recaptura. n.s.: no significativo.

Zonas	Comparación	Pendiente		Intercepto	
		F	P valor	F	P valor
SL	M – 1ra R	3,53	n.s.	8,69	<0,05
	M – 2da R	0,26	n.s.	0	n.s.
	M – 3ra R	2,15	n.s.	3,65	n.s.
C	1ra R – 2da R	0,15	n.s.	36,91	<0,05
	1ra R – 3ra R	0,0023	n.s.	4,00	<0,05
	2da R – 3ra R	0,20	n.s.	24,97	<0,05

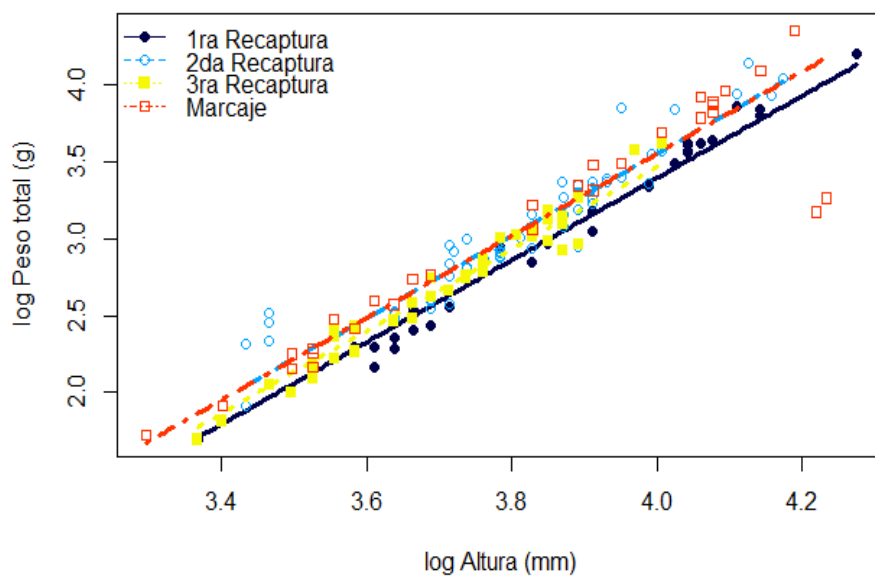
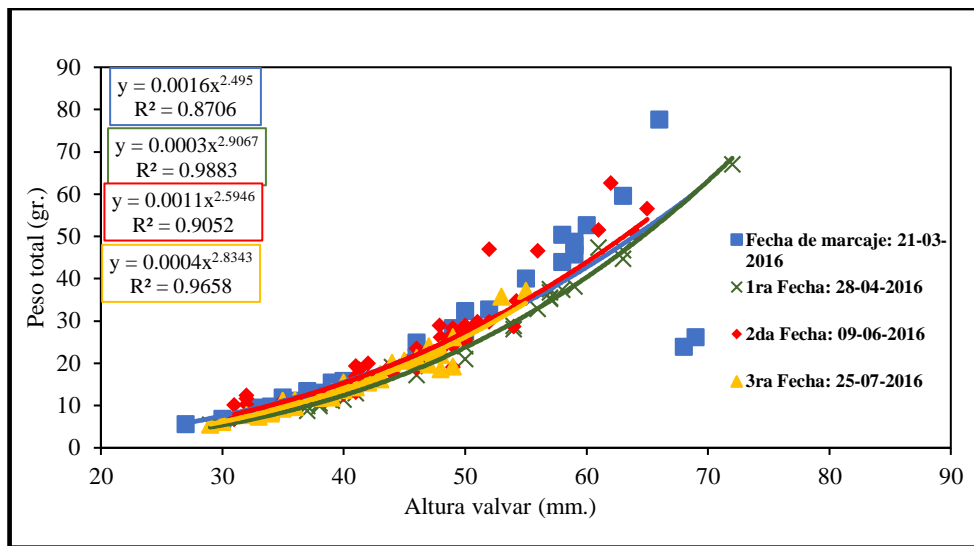


Figura 18. Arriba: Ecuación exponencial entre el peso total (gr) vs altura valvar (mm) en la zona de la isla San Lorenzo en la primera fecha de la marcación con las tres fechas de recaptura con sus respectivas ecuaciones alométricas. Abajo: Regresiones lineales con los valores logarítmicos del peso total (gr) vs altura valvar (mm).

Para la zona de Constante en la Bahía de Sechura, se evidenció que no hay diferencias significativas entre las pendientes, pero si en los interceptos entre las fechas de recapturas (ver tabla 3, Figura 19).

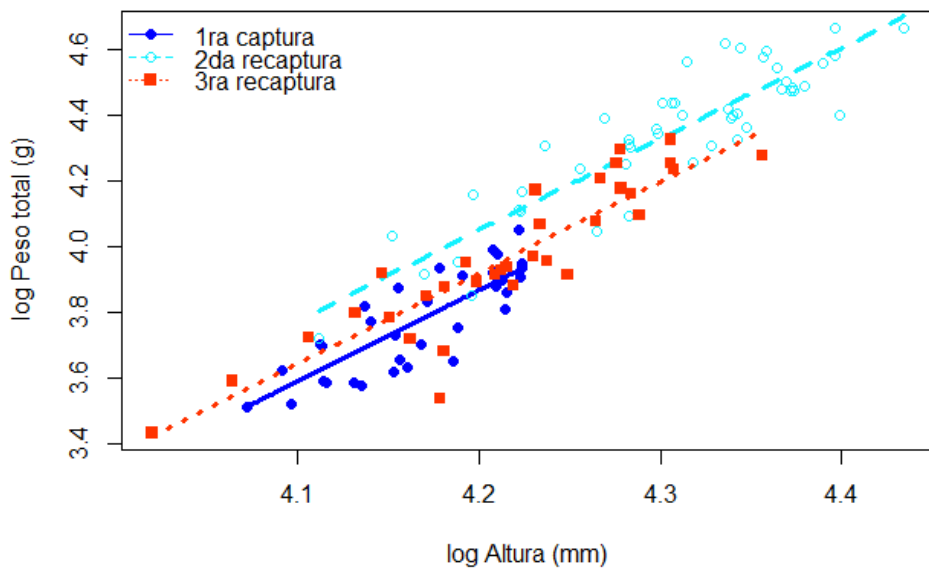
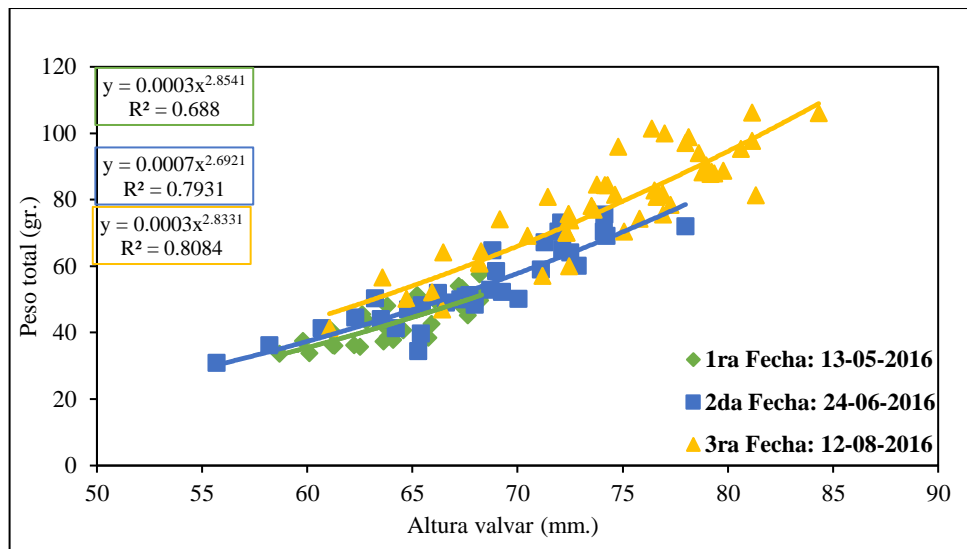


Figura 19. Arriba: Ecuación exponencial entre el peso total (gr) vs altura valvar (mm) en la zona de Constante con las tres fechas de recaptura con sus respectivas ecuaciones alométricas. Abajo: Regresiones lineales con los valores logarítmicos del peso total (gr) vs altura valvar (mm)

4.2.3 Madurez gonadal e índice gónado – somáticos

Se diseccionaron alrededor de 269 conchas de abanico (154 en Callao y 117 en Sechura), donde el análisis macroscópico de las gónadas mostró la predominancia de ejemplares madurantes, seguido de inmaduros, desovantes y desovados en la zona de Callao en las 4 fechas donde se tomaron muestras (ver anexos, tabla A6). Para el caso de Sechura se vio

un cambio en los estados, pasando de una dominancia de individuos en estado desovado (IV) a un estado de madurez (II) (ver anexos, tabla A7).

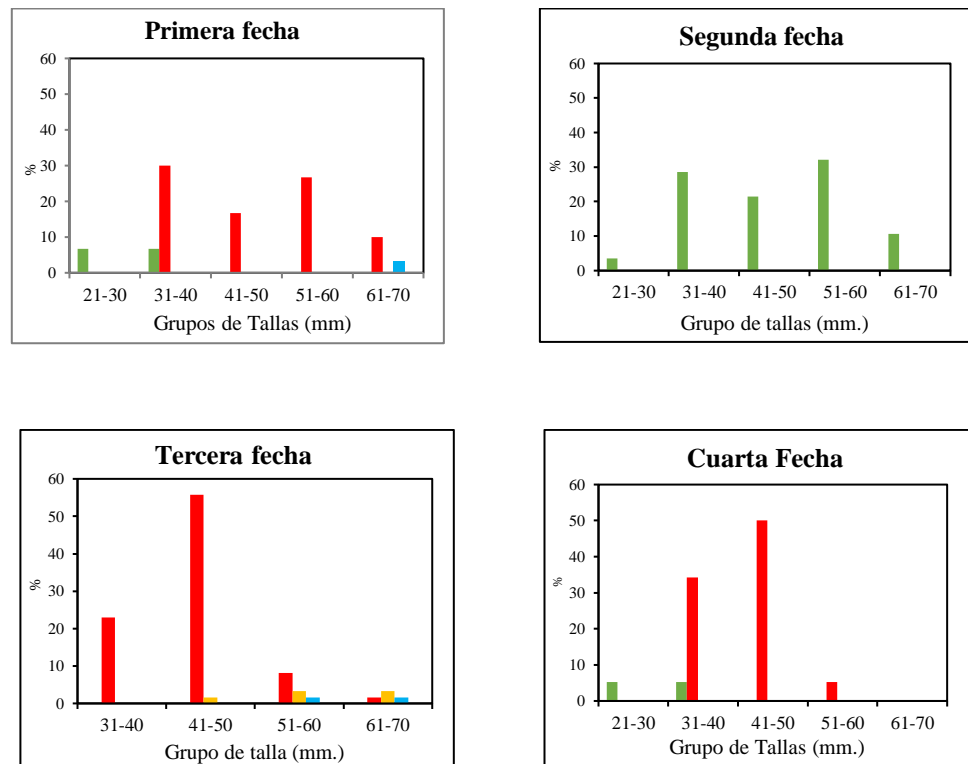


Figura 20. Madurez Gonadal en las 4 fechas de toma de muestra en la zona de la isla San Lorenzo – Callao.

El cálculo del índice gónada – somático se dio tomando en cuenta los estadios II, III, IV y V, donde en la zona de Callao se tuvo un valor de máximo de 27,4% reportado en la 3ra fecha (09-06-2016) en el grupo de talla 61 -70 mm. y un valor mínimo de 3,0 % en la primera fecha (21-03-2016) en el grupo de tallas 21 – 30 mm. Por otro lado, en la zona de Sechura se tuvo un valor máximo de 20,77%, reportado en la segunda fecha (13-05-2016) en el grupo de tal 51 – 60 mm. y un valor mínimo de 11,23% en el grupo de talla de 51 – 60 mm. en la tercera fecha (09-06-2016) (ver anexos, tablas A6 y A7).

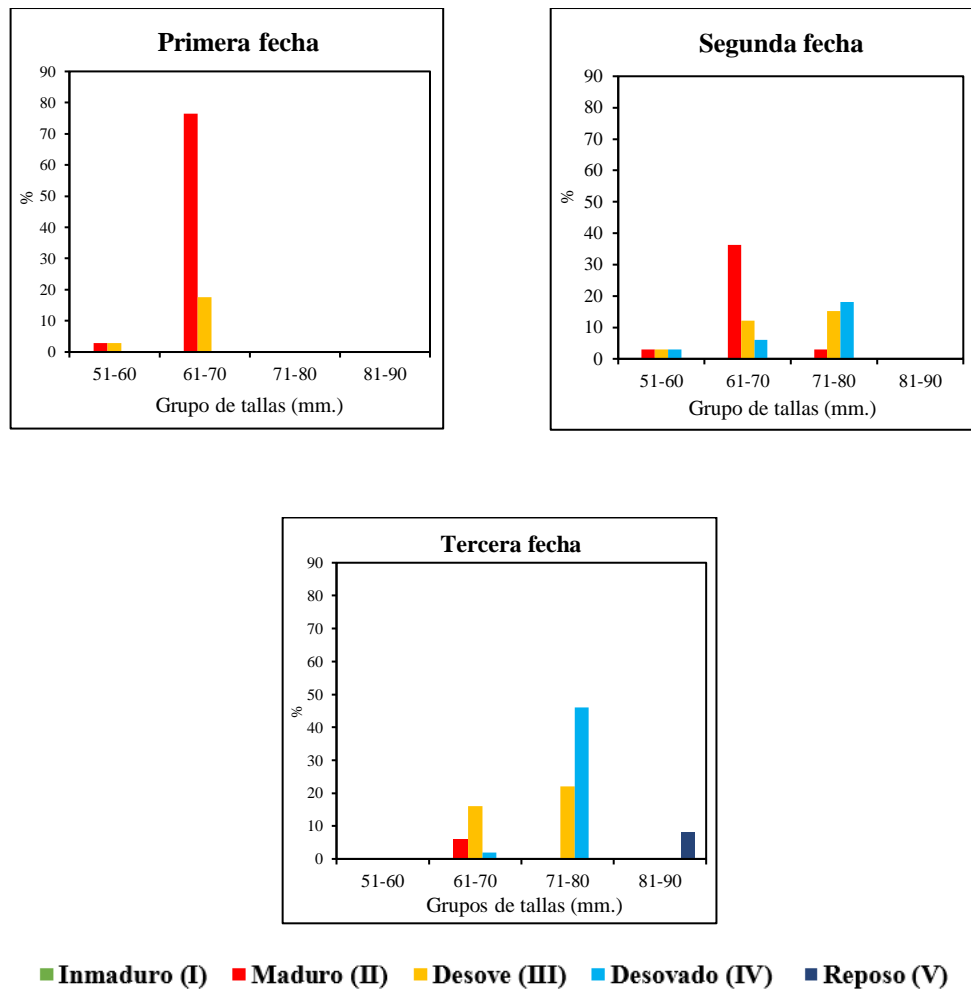


Figura 21. Madurez Gonadal en las 3 fechas de toma de muestra en la zona de Constante en la bahía de Sechura - Piura.

Las figuras 22 y 23 muestran los cambios del IGS por grupo de talla y por fecha en Isla San Lorenzo y en Constante, respectivamente. En San Lorenzo se observa que el IGS aumentó a medida que las tallas se incrementaban, alcanzando los valores mayores entre el grupo de talla de 41-50 y el de 61-70 mm, con el valor máximo en este último grupo. En Constante no se observó este patrón, determinándose el valor máximo del IGS en el primer muestreo y en el grupo de talla de 51 – 60 mm.

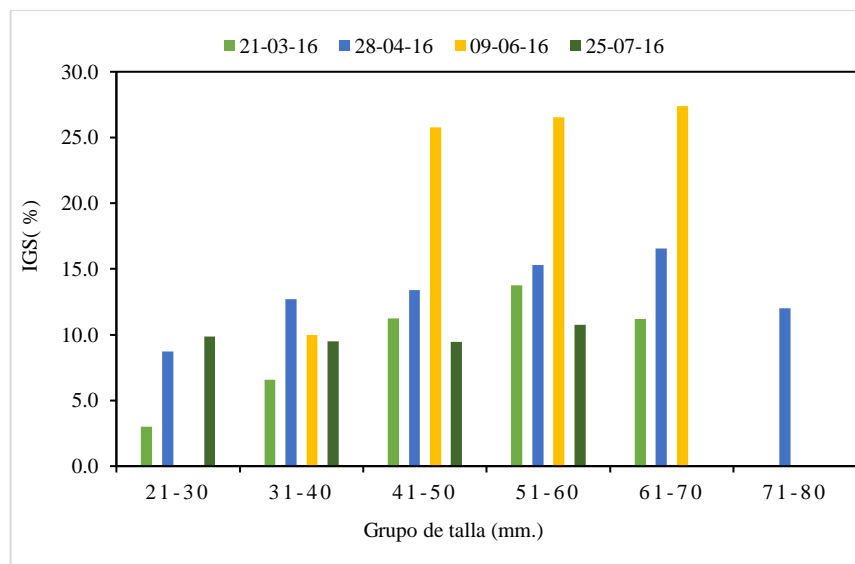


Figura 22. Promedio del IGS por grupos de talla de concha de abanico en la isla San Lorenzo - Callao: 21 de marzo, 28 de abril, 09 de junio y 25 de julio del 2016.

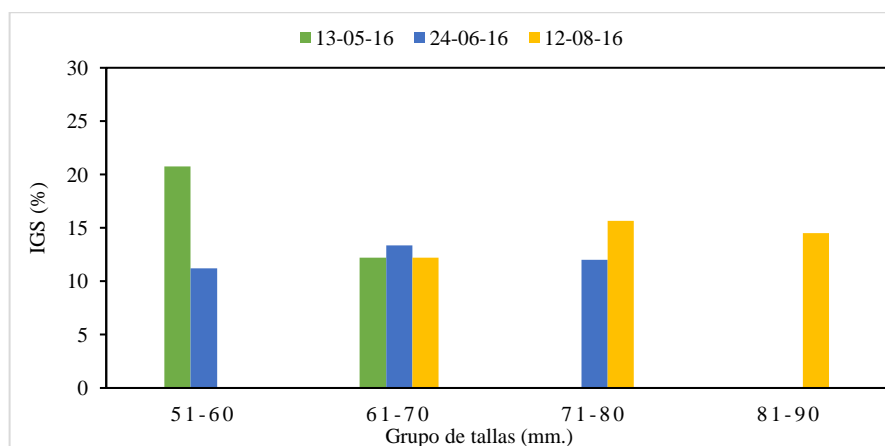


Figura 23. Promedio del IGS por grupos de talla de concha de abanico en Constante, Bahía de Sechura - Piura: 13 de mayo, 24 de junio y 12 de agosto del 2016.

4.2.4 Factor de condición

Durante la evaluación en la zona de la isla San Lorenzo, el factor de condición presentó un valor máximo de 9,22%, dado en la tercera fecha (09-06-16) y en el grupo de talla de 31 – 40 mm, mientras que el valor mínimo de 6,62% se determinó en la segunda fecha (28-04-16) en el grupo de talla 61 – 70 mm (Figura 24). Luego en la zona de Constante, se determinó el valor máximo de 7,62% en la cuarta fecha (12-08-2016) en el grupo de

tal 81 – 90 mm, mientras que el valor mínimo de 5,91% se determinó para el grupo de talla de 51 – 60 mm en la tercera fecha (24-06-2016) (Figura 25).

Los porcentajes altos indican una mayor proporción de individuos madurantes, pero en el caso de Isla San Lorenzo se verifica que no llegaron a la talla mínima requerida para su consumo (65 mm).

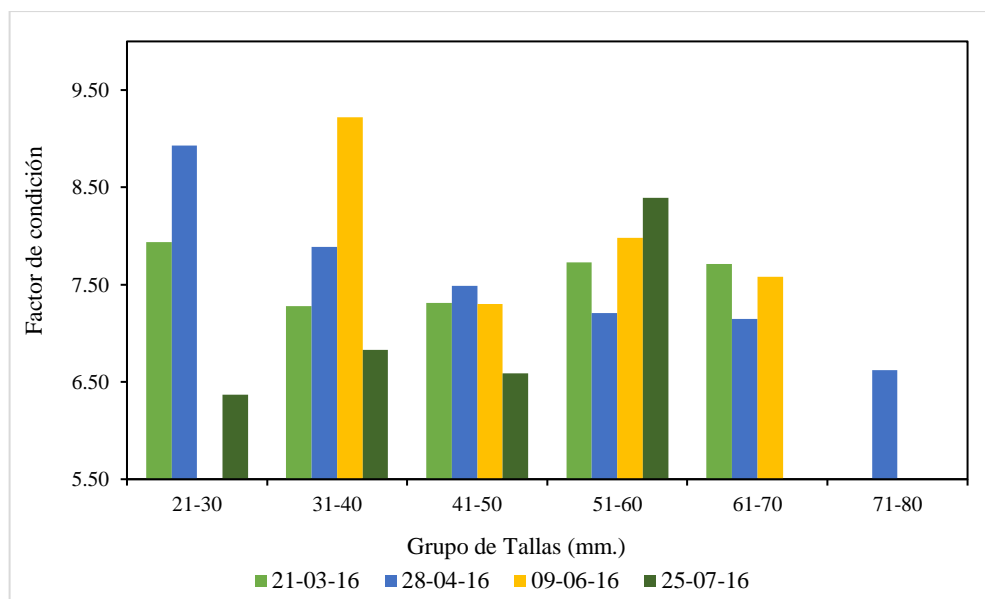


Figura 24. Promedio del factor de condición por rangos de talla de altura valvar en la isla San Lorenzo - Callao: 21 de marzo, 28 de abril, 09 de junio y 25 de julio del 2016.

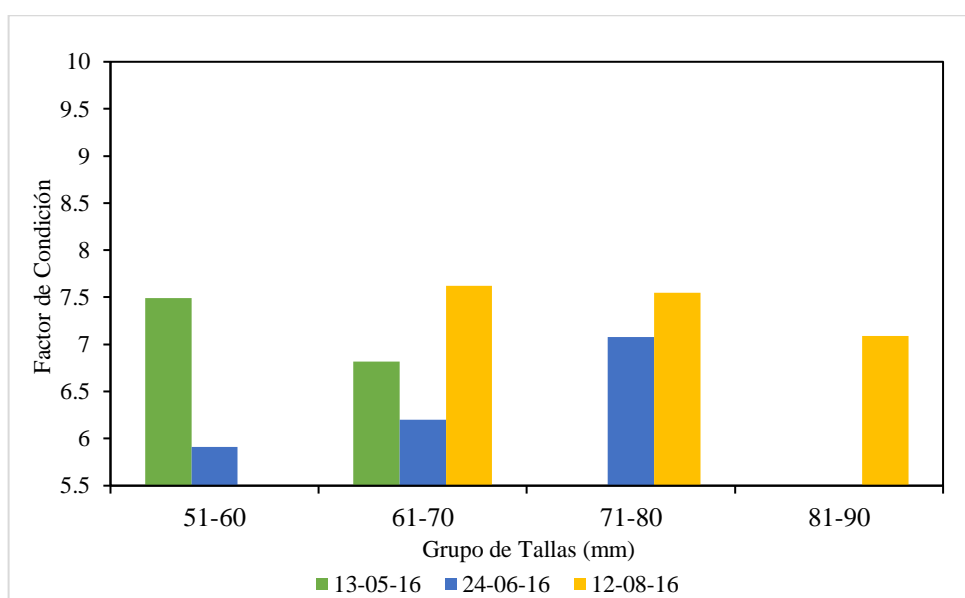


Figura 25. Promedio del factor de condición por rangos de talla de altura valvar en Constante, Bahía de Sechura - Piura: 13 de mayo, 24 de junio y 12 de agosto del 2016.

Se realizó un ANOVA de dos vías para verificar si existían diferencias significativas entre las fechas de recaptura, por las dos zonas de estudios o la interacción de ambos factores, observándose que en el caso de del índice gonadosomático hay diferencias significativas en las zonas (Tabla 4, a). Por otro lado, el factor de condición no presento diferencias significativas en ninguno de los factores, ni tampoco en la interacción de estos (Tabla 4, b).

Tabla 5. Análisis de varianza de doble vía entre el factor espacial y factor temporal, donde la tabla **a** es por el índice gónada – somático (IGS) y la tabla **b** es por el factor de condición (FC). El factor espacial (Z = zona) tiene dos grupos (P: Piura, C: Callao). El factor temporal (F = Fecha) tiene 3 grupos (I: primera recaptura, II: segunda recaptura y III: tercera recaptura). n.s.: no significativo.

a)

	g.l.	SC	CM	F	valor p
F	2	2004	1002.1	24.71	n.s.
Z	1	172	171.8	4.24	0.04*
F: Z	2	2250	1125	27.73	n.s.
Residuos	238	9654	40.6		

b)

	g.l.	SC	CM	F	valor p
F	2	1332	666	40.65	n.s.
Z	1	12939	12939	789.681	n.s.
F: Z	2	263	131	8.025	n.s.
Residuos	238	3900	16		

4.3 Crecimiento de la altura valvar y sus variaciones durante el estudio

4.3.1 Estimación de parámetros de crecimiento en los períodos de recaptura

Se obtuvieron los parámetros de crecimiento por los métodos de Gulland & Holt (1959) y un ajuste no lineal por mínimos cuadrados aplicados en dos programas distintos,

obteniéndose que por períodos la zona de San Lorenzo en la época de otoño_I (28-04-16 al 09-06-16) presento el valor de K más elevado y el L_{∞} más alto se obtuvo en la época de invierno (09-06-16 al 25-07-16). Por otro, lado en la zona de Constante se obtuvo el valor más alto de K en la época de otoño_I (01-04-16 al 13-05-16) y el L_{∞} en invierno (24-06-16 al 07-08-16) (ver Figura 26).

Tabla 6. Estimaciones de los parámetros de Von Bertalanffy (L_{∞} y K) por el método de Gulland & Holt (1959), separados por las zonas de estudio (San Lorenzo-SL y Constante-C) y períodos (otoño I-O_I, otoño II-O_{II} e invierno-I) y, donde SLO_I: 21-03-16 al 28-04-16; SLO_{II}: 28-04-16 al 09-06-16; SLI: 09-06-16 al 25 -07-16; CO_I: 01-04-16 al 13-05-16; y CI: 24-06-16 al 07-08-16. Los valores entre corchetes son los intervalos de confianza del valor de k.

	N	Gulland – Holt (1959)		
		L_{∞}	K	r^2
SLO _I	20	79,58	1,16 [-0.02;2.35]	0,18
SLO _{II}	31	124,95	0,41 [-1,57;2,40]	0,006
SLI	53	104,58	0,93 [-0.72;2.00]	0,024
CO _I	18	98,11	1,75 [0,30;2,34]	0,25
CI	179	110,39	1,49 [0,50;1,65]	0,32

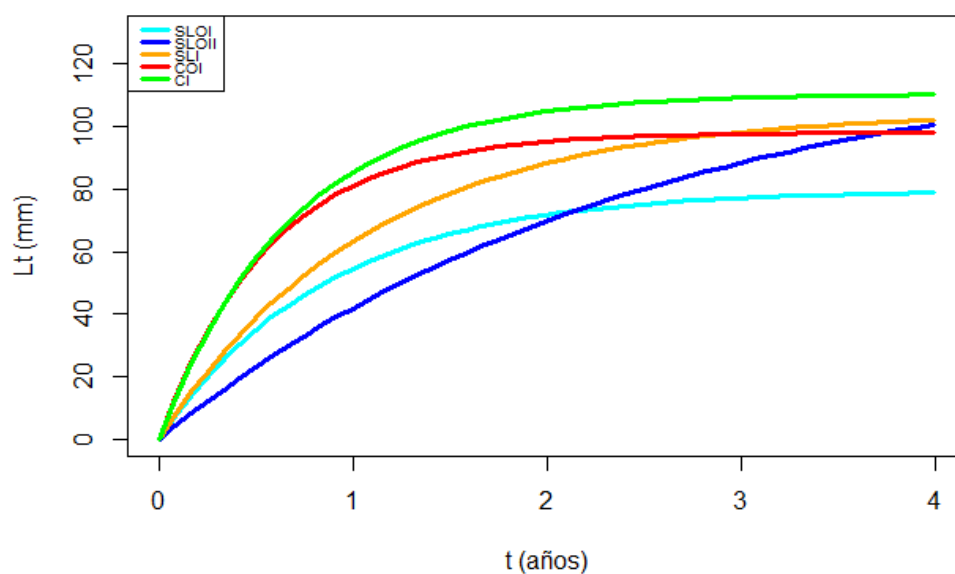
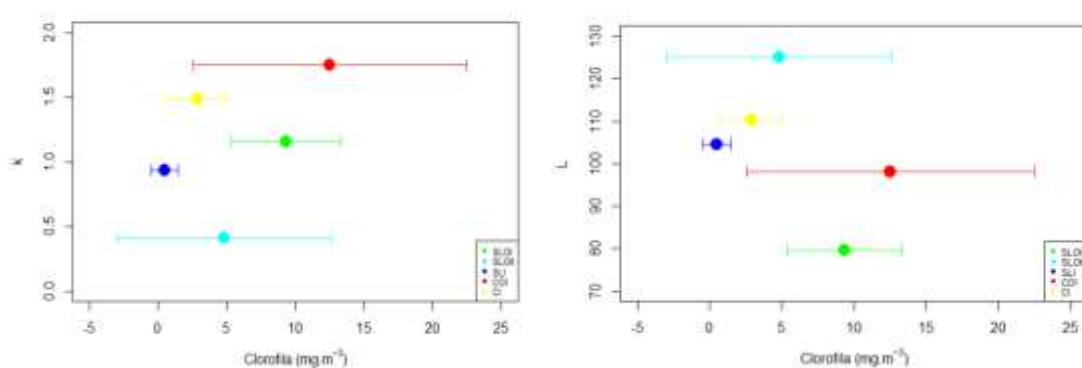


Figura 26. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy con el método de Gulland & Holt (1959), por los períodos de estudios en las dos zonas.

4.3.2 Relación de las variables ambientales con los parámetros de crecimiento

La figura 26 muestra la relación entre los parámetros de crecimiento de L_{∞} y K obtenidos por el método de Gulland & Holt (1959) con la clorofila-a superficial, TFM y ODFM registrados en los tres períodos considerados entre marcajes y recapturas de cada zona. Para el valor de k se observó que el valor máximo estuvo asociado con la TFM, pero el valor mínimo también se verificó que está presente en condiciones de hipoxia costera ($<1,43 \text{ mL L}^{-1}$) hasta hipoxia severa ($<0,50 \text{ mL L}^{-1}$). Para el parámetro de L_{∞} valor máximo estuvo asociado en condiciones de hipoxia costera ($<1,43 \text{ mL L}^{-1}$) hasta hipoxia severa ($<0,50 \text{ mL L}^{-1}$) y el valor mínimo está asociado con la TFM. (ver Figura 27)



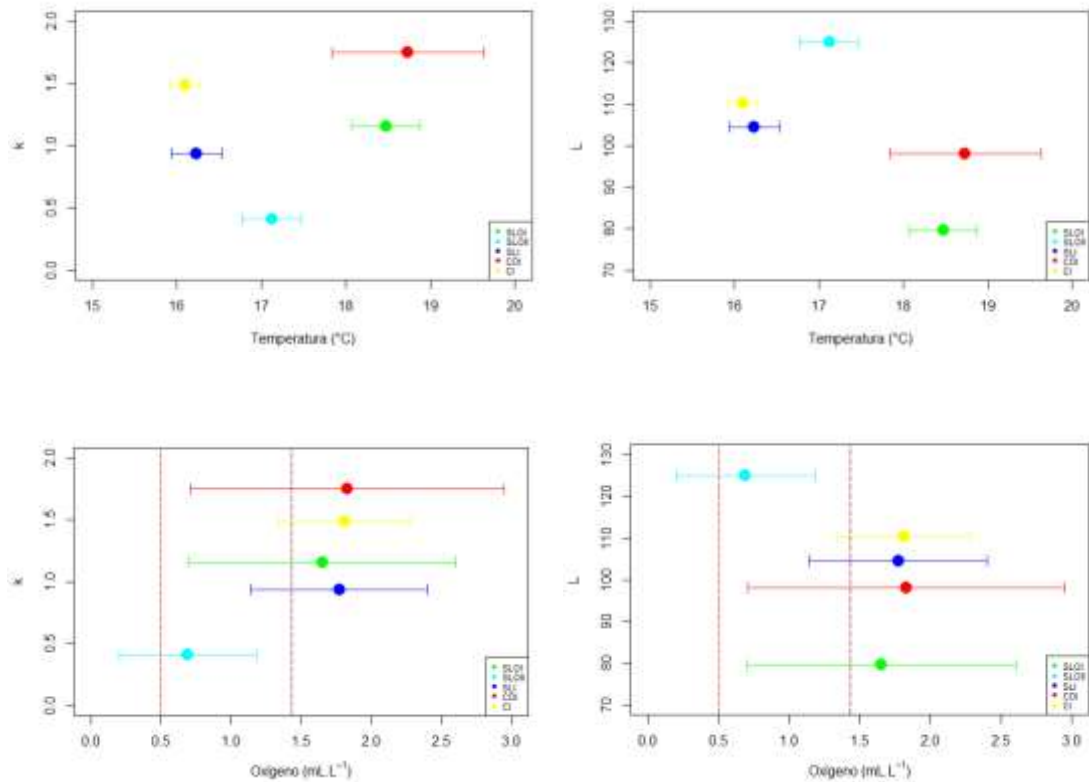


Figura 27. Relación de las variables ambientales con los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy (L_{inf} y k), donde la línea punteada roja es la condición de hipoxia severa ($<0,5 \text{ mL L}^{-1}$) y la línea punteada vino es hipoxia costera ($<1,43 \text{ mL L}^{-1}$).

4.3.3 Comparación de la estimación de parámetros de crecimiento

Utilizando los tres métodos mencionados se pudo verificar que el mejor método de estimación fue el ajuste no lineal mediante la función nls del software R, ya que este se acercó a los valores de estudios anteriores como en Callao donde el $L_{\infty}=100\text{mm}$ y $K=0,93$ (Arguelles et al, 2012) y en el caso de la bahía de Sechura donde el $L_{\infty}=93,7 \text{ mm}$ y $K=1,65$ (Mendo et al., 2011)(ver Figura 28)

Tabla 7. Estimación de los parámetros de crecimiento mediante los métodos propuestos en las dos zonas de estudio.

	N	Gulland - Holt		Ajuste no lineal de VBGC (nls)		Ajuste no lineal de VBGC (solver)	
		L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K
San Lorenzo	100	107,21	0,84	98.57	0.878	100,64	0,86
Error std.		-	-	1,23	1,69	-	-

Constante	197	80,35	3,29	80.03	2,07	79.92	3.20
Error std.		-	-	0.57	0,12	-	-

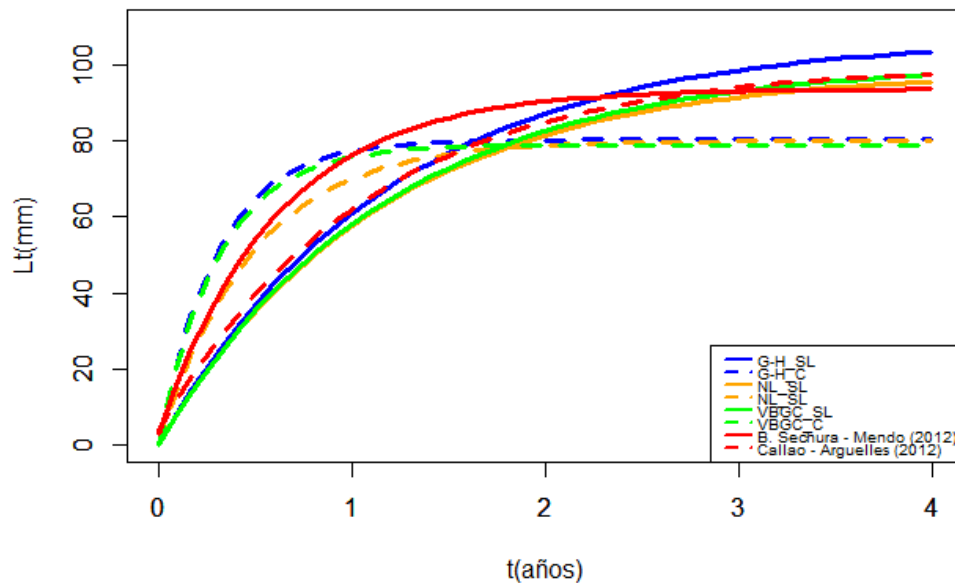


Figura 28. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy con los tres métodos aplicados a toda la data: Gulland & Holt (1959), en las dos zonas y con los dos valores conocidos de las zonas de estudio.

4.3.4 Estimación de los valores de índice de crecimiento (Φ) y t_0

Los valores de los parámetros de crecimiento de Von Bertalanffy, fueron los que se hallaron con el método de modelo no lineal, donde se estimaron los siguientes valores.

El valor de t_0 se calculó con la ecuación empírica propuesta por Pauly (1980); en la zona de San Lorenzo se obtuvo un valor de -0,031 años y en la zona de Constante se obtuvo un valor de -0,004 años. Asimismo, el índice de rendimiento del crecimiento fue mayor en la zona de Constante con 4,12 y en la zona de San Lorenzo con un valor de 3,93 (Tabla 7).

Tabla 8. Determinación del índice de crecimiento y valor de t_0 por el método de Pauly (1980).

Zona	Φ	t_0
San Lorenzo	3,93	-0,03

Constante	4,12	-0,004
------------------	------	--------

4.3.5 Tasas de crecimiento de individuos mediante marcaje y recaptura (M/R)

a) Isla San Lorenzo – Callao

En la primera recaptura (28 – 04 – 16), que correspondió a un lapso de tiempo de 38 días desde la fecha de marcaje (21 – 03 – 16), se recapturaron 20 individuos en el rango de tallas de 30 a 70 mm. En el rango de 35 – 40 mm con 6 individuos, se determinó la tasa de crecimiento más alta con $4,77 \pm 1,81 \text{ mm mes}^{-1}$, mientras que la tasa de crecimiento mas pequeña se determinó para el rango de 45 -50 mm, con $2,88 \pm 1,26 \text{ mm mes}^{-1}$ (ver anexo A4). En la segunda recaptura (09 – 06 – 16) se contabilizaron 40 individuos recapturados de la fecha anterior (28 – 04 – 16) en el rango de 30 a 60 mm. La tasa de crecimiento más alta se determinó en el rango de 35 – 40 mm con $2,96 \pm 1,81 \text{ mm mes}^{-1}$ y la tasa de crecimiento mas baja se estimó en el rango de 55 – 60 mm, con $1,02 \pm 0,75 \text{ mm mes}^{-1}$ (ver anexo A4). Por último, en la tercera recaptura (25 – 07 – 16) se contabilizaron 32 individuos en el rango de 35 – 65 mm, determinándose la tasa de crecimiento más alta ($6,21 \pm 0,29 \text{ mm mes}^{-1}$) en el rango de 50 – 55 mm y la tasa de crecimiento mas baja ($5,38 \pm 1,41 \text{ mm mes}^{-1}$) en el rango de 35 – 40 mm.

En síntesis, se observó que las tasas de crecimiento más altas correspondieron a la tercera recaptura, mientras que las tasas de crecimiento más bajas correspondieron a la segunda fecha de recaptura. (Figura 29).

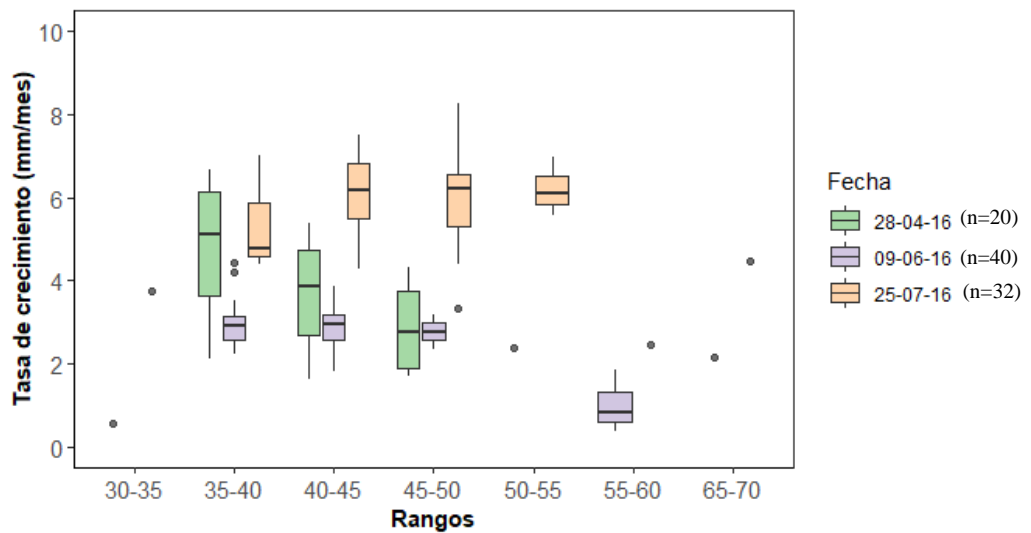


Figura 29. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de la altura valvar en los diferentes rangos encontrados con sus respectivas fechas de recaptura en San Lorenzo.

Se realizaron comparaciones entre las tres recapturas ya que correspondieron a períodos similares (38, 42 y 46 días respectivamente). En el rango de 35 – 40 mm se aplicó una prueba de Kruskal & Wallis debido a que no todos los periodos presentaron normalidad en los datos, donde se encontraron diferencias significativas ($X^2=9,68$, $p<0,05$) en las tasas de crecimiento entre los períodos, luego se realizó una prueba de Dunn (1964) para múltiples comparaciones donde se observó diferencias significativas entre el periodo de invierno y otoño II y entre el periodo de otoño I con otoño II ($p_{SLI-SLOI} < 0,05$, $p_{SLOII-SLOI} < 0,05$), siendo mayores las tasas de crecimiento en el período invierno (Figura 30).

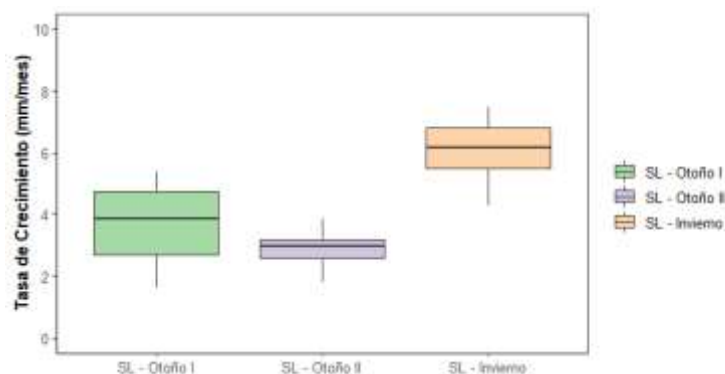


Figura 30. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares en el rango 35 – 40 mm entre los tres períodos en San Lorenzo.

Para el rango de 40 – 45 se observó diferencias significativas (ANOVA, $F = 39,51$; $p < 0,05$), luego se realizaron una prueba post – hoc de Tukey para múltiples comparaciones donde se encontró que la tasa de crecimiento en otoño II fue significativamente inferior a la de otoño I e invierno (Figura 31) ($p_{SLI-SLOI} < 0,05$).

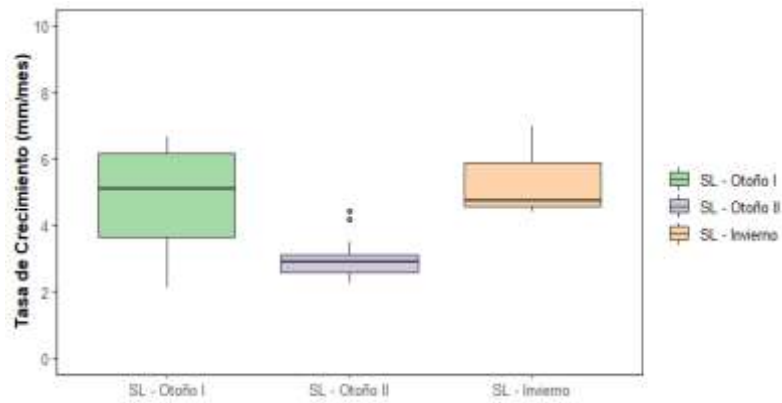


Figura 31. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares promedio entre 40 – 45 mm entre los tres períodos en San Lorenzo.

b) Constante, Bahía de Sechura

En la primera recaptura (13 – 05 – 16), 42 días después del marcaje (01 – 04 – 16), se recapturaron 18 individuos en el rango de tallas de 45 a 65 mm. En el rango de 55 – 60 mm con 8 individuos, se estimó una tasa de crecimiento promedio de $4,64 \pm 2,38$ mm mes^{-1} . Sin embargo la tasa de crecimiento más alta se estimó para el rango de 60 – 65 mm con $5,38 \pm 1,44$ mm mes^{-1} y la tasa de crecimiento más pequeña ($4,29 \pm 2,69$ mm mes^{-1}) se estimó para el rango de 50 -55 mm (ver anexo A5). Entre la segunda recaptura (24 – 06 – 16) y la tercera recaptura (07 – 08 – 16) se contabilizaron 175 individuos recapturados en el rango de 55 a 80 mm. Se determinó la tasa de crecimiento promedio más alta en el rango de 75 – 80 mm ($6,21 \pm 1,06$ mm mes^{-1}) y la tasa de crecimiento más baja en el rango de 55 – 60 mm ($4,97 \pm 1,44$ mm mes^{-1}) (ver anexo A5). En síntesis, las tasas de crecimiento más altas fueron determinadas para el lapso entre la segunda y tercera recaptura en comparación con la primera recaptura (Figura 32).

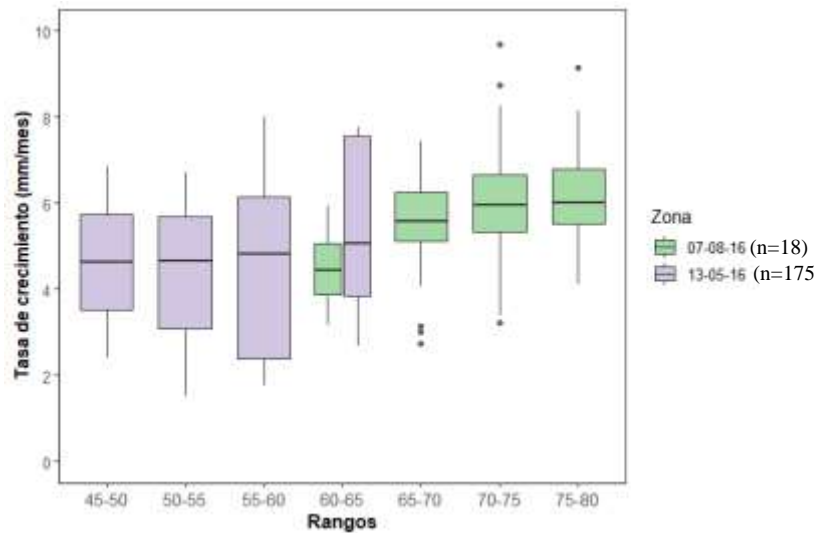


Figura 32. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de la altura valvar en los diferentes rangos encontrados con sus respectivas fechas de recaptura en Constante.

Se realizó una comparación de las tasas de crecimiento promedio para el rango de 60 – 65 mm entre el período de otoño e invierno (42 y 44 días respectivamente), sin encontrarse diferencias significativas (ANOVA, $F=0,122$, $p_{\text{COI-CI}} > 0,05$) (Figura 33).

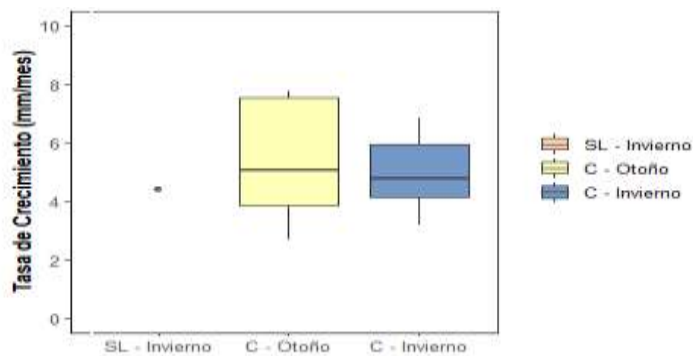


Figura 33. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares en el rango de 60 – 65 mm para la zona de Constante.

c) Comparación de sitios por rangos de talla

La comparación se realizó entre rangos de tallas iguales considerando los períodos similares de duración entre las fechas de marcaje y las recapturas. Para esto se compararon los rangos de talla desde 45- 50 mm hasta 55-60 mm, en los cuales se recapturaron suficientes individuos en ambas zonas de estudio.

Para el rango de 45 – 50 mm, con los periodos de San Lorenzo en las estaciones de otoño I, otoño II e invierno y la zona de Constante en la estación de otoño, se encontraron diferencias significativas (ANOVA, $F=5,71$; $p<0.05$) y las mayores tasas se observaron en San Lorenzo en el periodo de invierno. Para el período de otoño, la tasa de crecimiento promedio en Constante fue significativamente mayor a las de San Lorenzo en otoño I y otoño II (Figura 34).

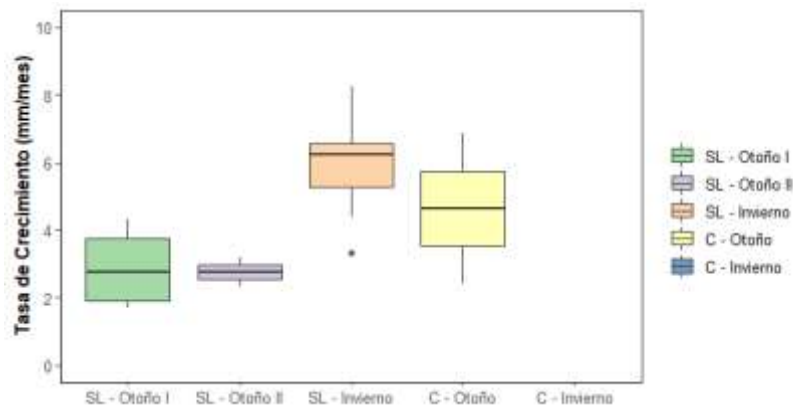


Figura 34. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de individuos con alturas valvares de 45 – 50 mm de San Lorenzo (SL) y Constante (C).

Para el rango de 50 - 55 mm, solo se encontraron individuos suficientes en invierno la zona de San Lorenzo y en otoño con la zona de Constante, sin diferencias significativas entre sí (ANOVA, $F=1,50$; $p>0.05$) (Figura 35).

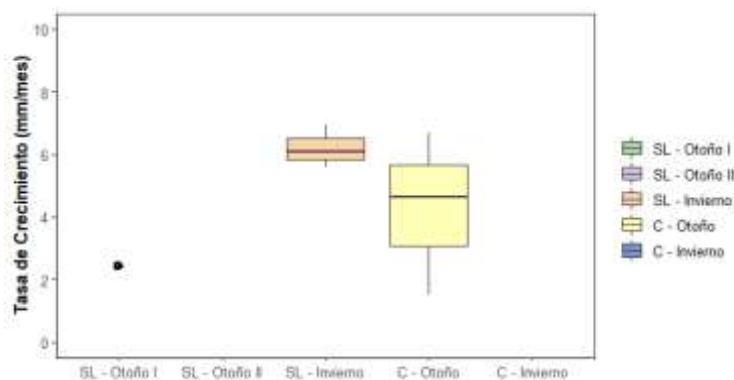


Figura 35. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento entre individuos con alturas valvares promedio de 50 – 55 mm de San Lorenzo y Constante (C).

Para el rango de 55 - 60 mm hubo individuos suficientes en la zona de San Lorenzo en otoño II y en la zona de Constante en otoño, encontrándose que la tasa de crecimiento en Constante fue significativamente superior (ANOVA, $F = 6,31$; $p < 0.05$) (Figura 36).

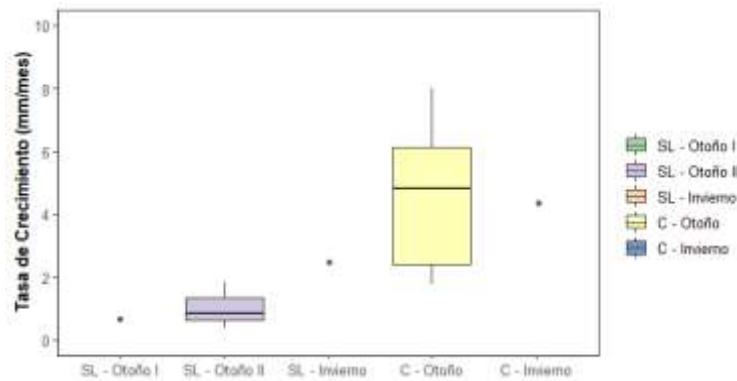


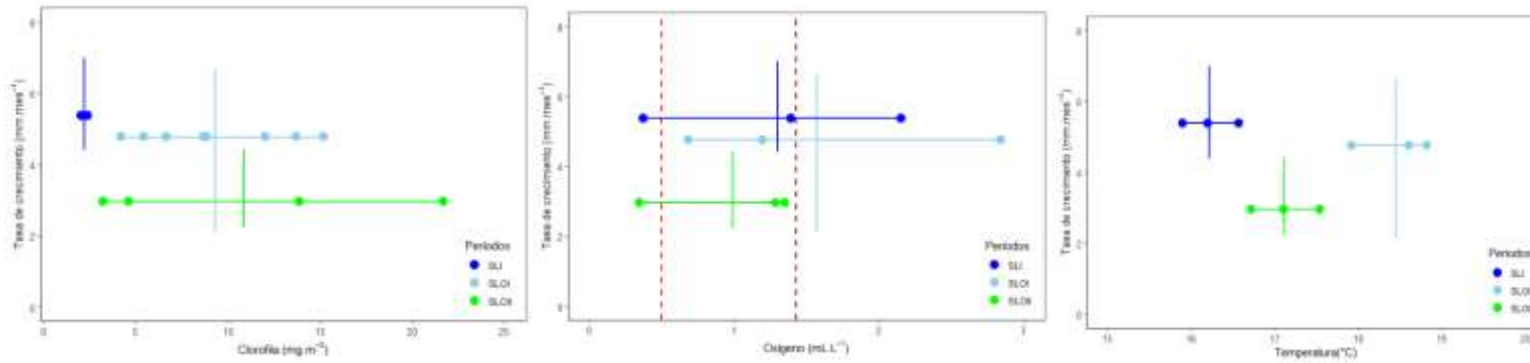
Figura 36. Diagrama de cajas de las tasas de crecimiento de individuos con alturas valvares promedio de 55 – 60 mm de San Lorenzo (SL) y Constante (C).

4.3.2 Relación entre las tasas de crecimiento (M/R) y las variables ambientales

a) San Lorenzo

En la zona de San Lorenzo en el rango de 35 – 40 mm dentro de los tres periodos, se comparó la tasa de crecimiento con la temperatura, el oxígeno disuelto y la clorofila-a. Se encontró que la tasa de crecimiento promedio más baja tendió a corresponder al período en el cual predominaron las condiciones de hipoxia costera e hipoxia severa, mientras que no se evidenció un patrón relacionado a la temperatura o a la clorofila-a (superior, Figura 37). Una tendencia similar se obtuvo al comparar en el rango de 40 – 45 mm: la tasa de crecimiento promedio más baja tendió a presentarse en condiciones de hipoxia costera e hipoxia severa (inferior, Figura 37)

35 - 40



40 - 45

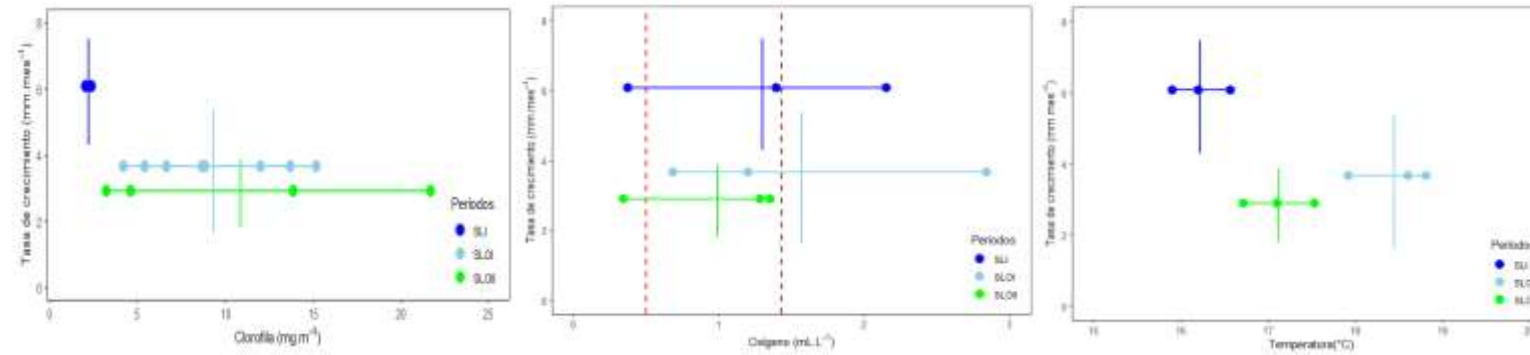


Figura 37. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con la cantidad de datos en puntos (horizontal) en la zona de San Lorenzo para el rango de tallas de 35 – 40 mm y 40 – 45 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).

b) Constante

En el rango de 60 – 65 mm se comparó la tasa de crecimiento promedio con la temperatura, oxígeno disuelto y clorofila para los dos períodos en los que se pudo determinar que entre las tasas de crecimiento no se encontraron diferencias importantes en función de los factores abióticos (Figura 38).

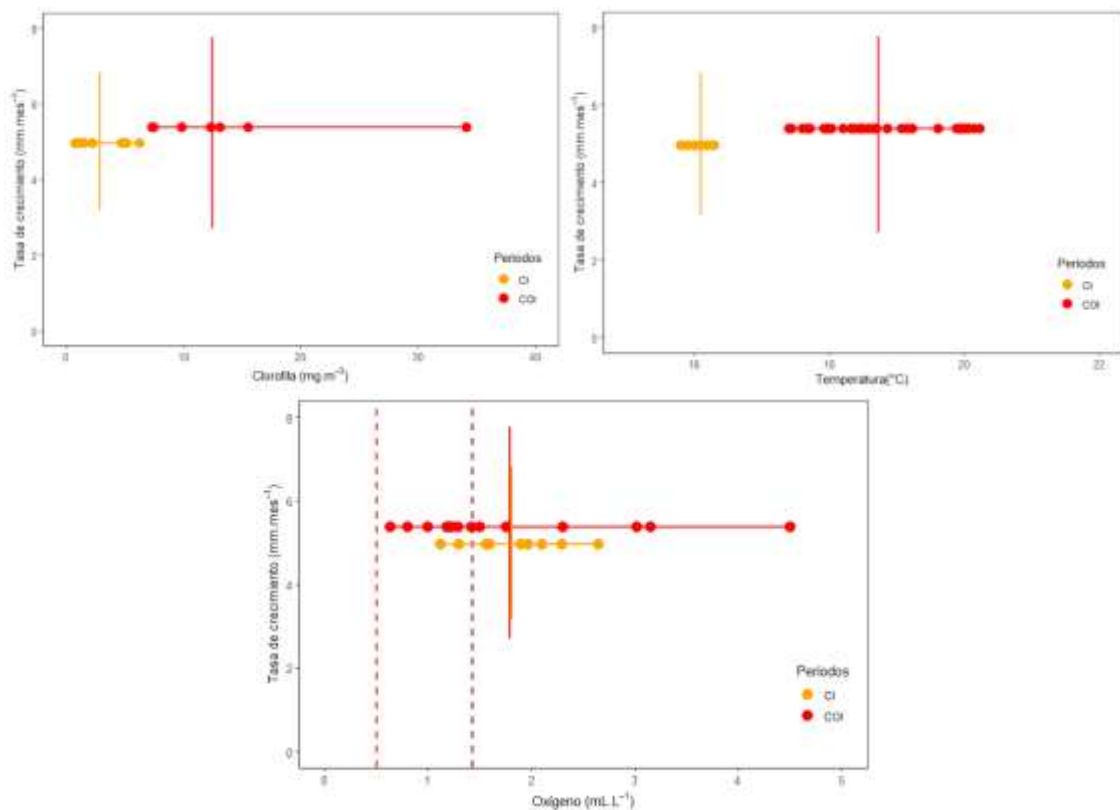


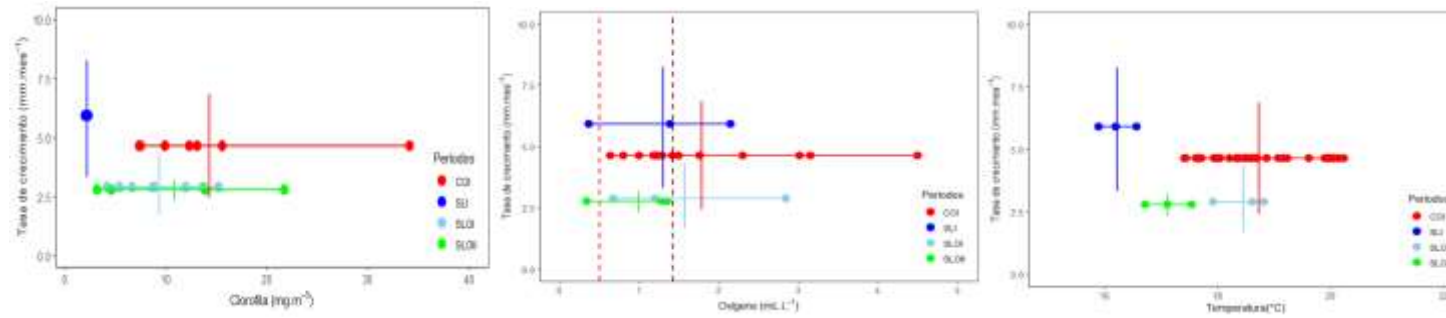
Figura 38. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con la cantidad de datos en puntos (horizontal) en la zona de Constante para el rango de tallas de 60 – 65 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).

c) San Lorenzo – Constante

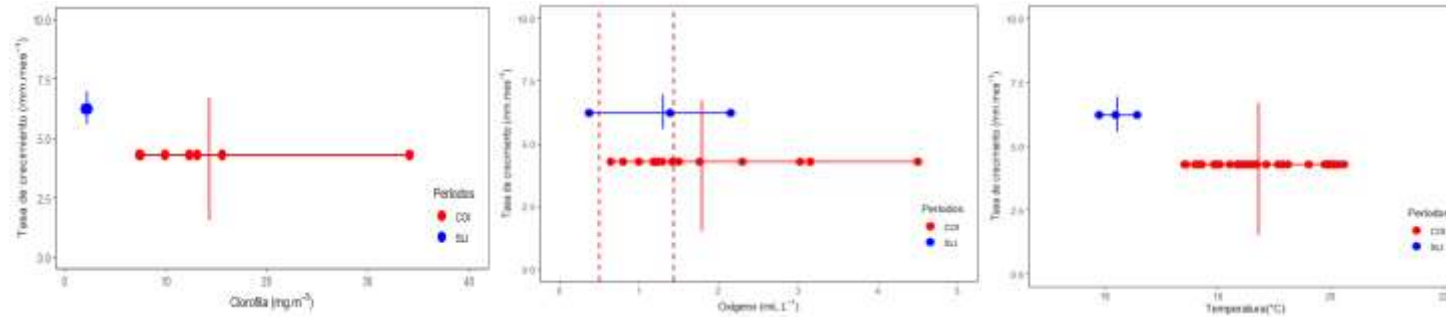
Al comparar conjuntamente las tasas de crecimiento promedio en San Lorenzo y Constante de los rangos de talla compartidos con los factores abióticos (Figura 39), se ratifican los patrones descritos más arriba. Así, en el rango de talla de 45-50 mm, se sigue el patrón de que la tasa de crecimiento es más pequeña cuando los valores de oxígeno se encuentran en condiciones de hipoxia tanto costera como severa, mientras que con la temperatura y la clorofila-a no se ve

alguna relación alguna. En tanto, en los rangos de talla de 50-55 mm y 55-60 mm, las tasas promedio más bajas correspondieron a las condiciones de hipoxia costera registradas en la zona de San Lorenzo.

45-50



50-55



55-60

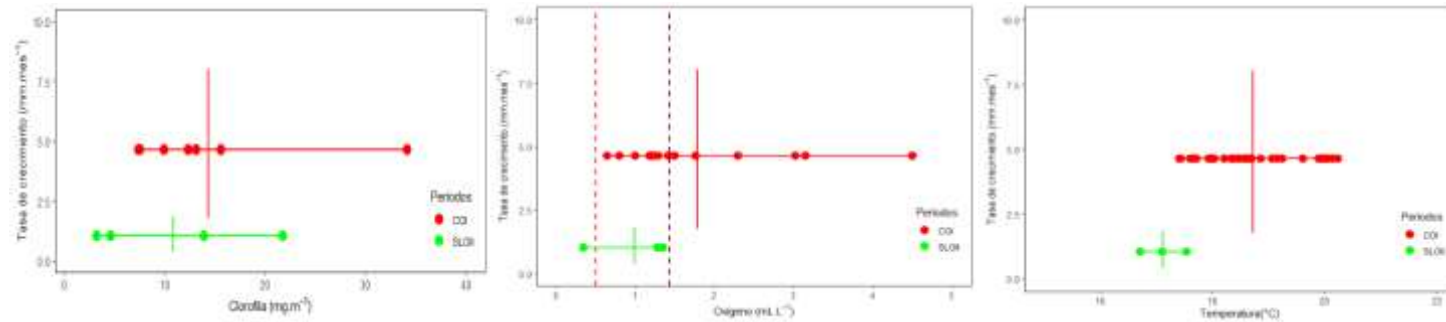


Figura 39. Comparación de la tasa de crecimiento con la clorofila-a, temperatura y oxígeno disuelto con sus respectivos rangos y en el caso de los factores abióticos con los datos observados en puntos (horizontal) en la zona de San Lorenzo y Constante para los rangos de tallas de 45 -50 mm, 50 – 55 mm y 55 - 60 mm. Para el caso del oxígeno disuelto, la línea roja indica condición de hipoxia severa (Hoffman et al., 2011) y la línea vino indica condición de hipoxia costera (Rabalais et al., 2010).

4.4 Micro - crecimiento de la concha de *Argopecten purpuratus* y su relación con los factores ambientales

4.4.1 Crecimiento diario de las estrías y tasa de micro – incrementos

a) San Lorenzo

Se obtuvo cuatro individuos que fueron marcados inicialmente con calceína en la primera fecha (21 de marzo del 2016), los cuales fueron recapturados en dos diferentes fechas (09-06-16 y 25-07-16), e identificados con los códigos de B080, A656, B036 y A007 (ver Tabla 9). Estos individuos se encontraron en el rango de 30 – 40 mm cuando se marcaron y se recuperaron en un rango de 40 – 55 mm.

El número de estrías formadas por día menor que se obtuvo fue de 0,80 para el individuo B080 y el mayor valor fue de 1,68 estrías por día para el individuo A656. Solo en 3 individuos se pudo corroborar la medida final debido al marcaje con calceína se realizó al comienzo del experimento (ver Anexo F4), en el otro individuo no se pudo realizar la verificación debido a que la muestra estaba maltratada.

Tabla 9. Datos de micro - crecimiento de los individuos marcados con calceína de la isla San Lorenzo – Callao. Se indican alturas valvares iniciales y finales, números de estría por día, máximo y mínimo incremento.

	Fecha de marcaje	Altura inicial (mm)	Altura final (mm)	Fecha de recaptura	Estrías	Nro. de días	Nro. de estría/día	Máx. incremento (um)	Mín. incremento (um)
B080	21-03-16	33,84	40,29	09-06-16	70	80	0,80	195,47	20,56
A656	21-03-16	37,15	43,82	09-06-16	64	80	0,78	236,18	29,50
A007	21-03-16	40,81	47,88	09-06-16	79	80	0,98	297,08	22,59
B036	21-03-16	35,71	54,82	25-07-16	185	126	1,46	351,15	20,55

Tabla 10. Resumen de los individuos en la isla San Lorenzo – Callao, con sus respectivas alturas iniciales y finales, nro. de estría por día, máximo y mínimo incremento.

	Fecha de marcaje	Altura inicial (mm.)	Altura final (mm.)	Fecha de recaptura	Estrías	Nro. de días	Nro. de estría/día	Máximo incremento (um)	Mínimo incremento (um)
A882	01-04-16	58,11	78,42	24-06-16	90	84	1,07	430,23	83,39
A844	01-04-16	53,84	76,87	07-08-16	119	128	0,92	374,10	37,78

Tabla 11. Comparación entre el número de estrías formadas por día, máximo y mínimo incremento en donde las zonas son SL: San Lorenzo y C: Constante, Prom: promedio, DE: desviación estándar y I.C.: intervalos de confianza.

Zona	Estría por día			Máximo incremento (um)			Mínimo incremento (um)		
	Prom	DE	I.C.	Prom	DE	I.C.	Prom	DE	I.C.
SL	1.01	0.32	[0,69;1,32]	269.97	68.35	[68,35;269,97]	23.30	4.24	[19,14;27,46]
C	1.00	0.11	[0,85;1,14]	402.17	39.69	[39,69;402,17]	60.59	32.25	[32,25;60,58]

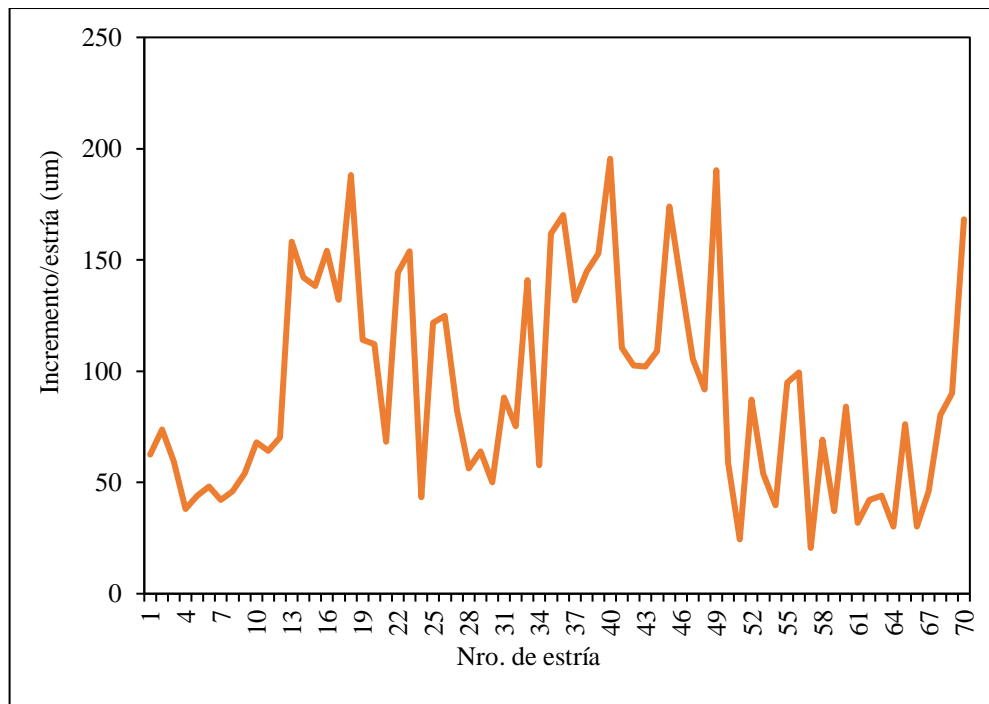


Figura 40. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo B080, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.

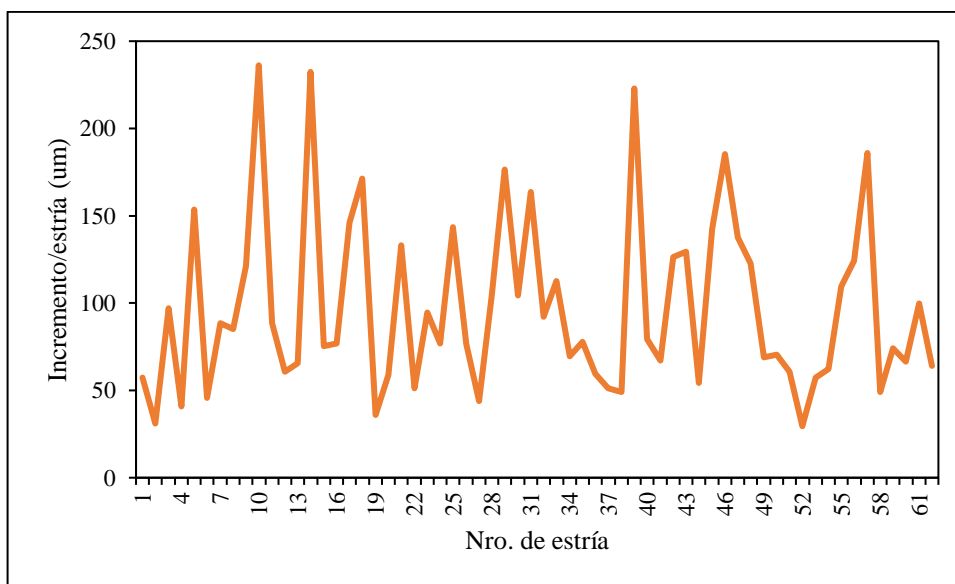


Figura 41. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo A656, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.

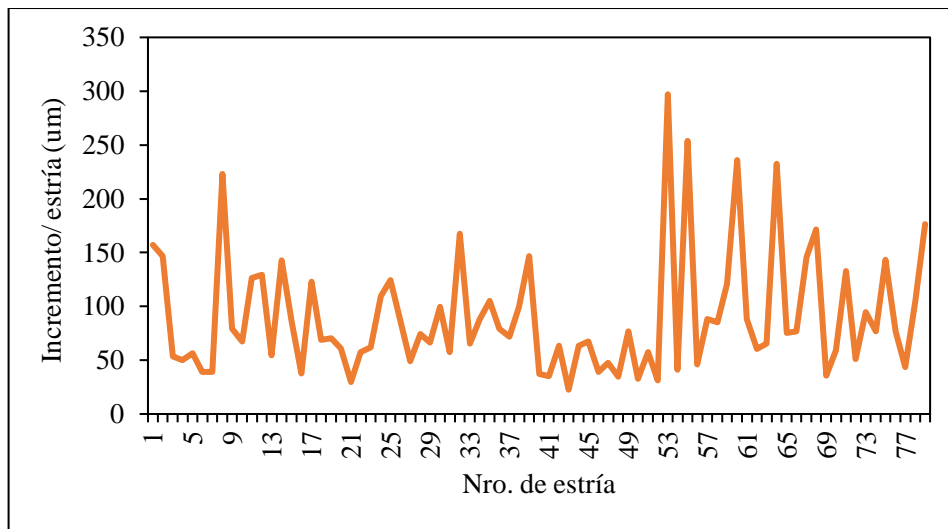


Figura 42. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo A007, obtenidos desde 01 de abril hasta el 09 de junio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.

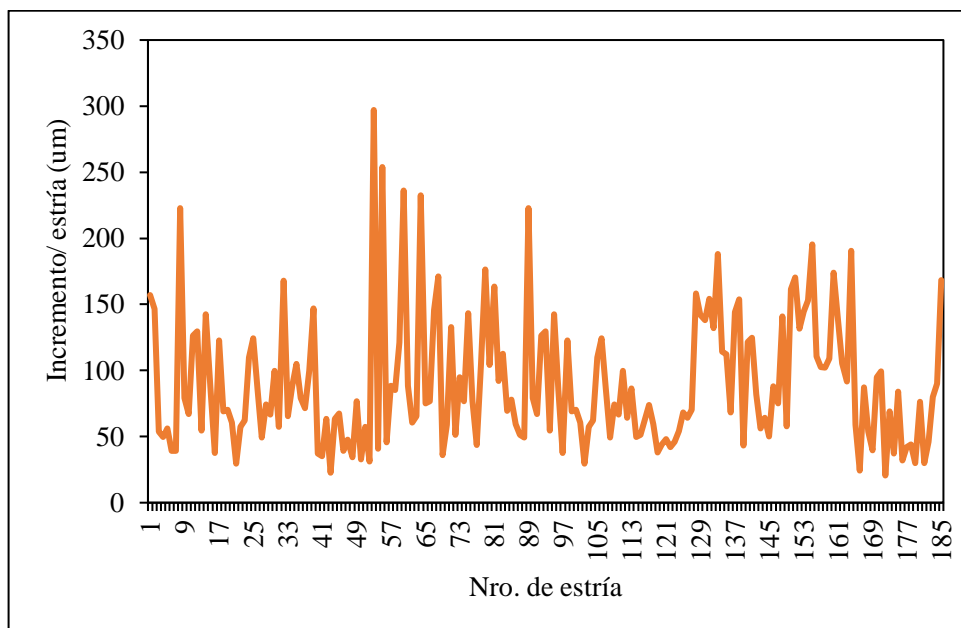


Figura 43. Micro – incrementos con el número de estrías del individuo B036, obtenidos desde 01 de abril hasta el 25 de julio del 2016 en la isla San Lorenzo - Callao.

Se tomaron en cuenta la marca de calceína para realizar un conteo de estrías y verificar que los individuos en condiciones de estrés generan estos anillos. En el caso de San Lorenzo se tomaron fotografías a 3 individuos (A007, B036, A656).

b) Constante - Bahía de Sechura, Piura

Se obtuvo dos individuos, identificados con los códigos de A882 y A844 en las fechas 24-06-16 y 12-08-16, respectivamente, con unas alturas iniciales de 58,11 y 53,84 mm.

El número de estrías formadas por día que se obtuvo fue de 1,07 para el individuo A882 y de 0,79 estrías por día para el individuo A844(ver tabla 10). Solo el individuo A882 presenta valores reportados en estudios anteriores (Aguirre et al., 2016, Thébault et al., 2008) que indican la formación de 1 estría por día. Solo en el individuo A882 se pudo corroborar la medida final debido al marcaje con calceína se realizó al comienzo del experimento (ver anexo F 5), en el otro individuo no se pudo realizar la verificación debido a que se realizó un mal pulido y estaba un poco maltratada la muestra.

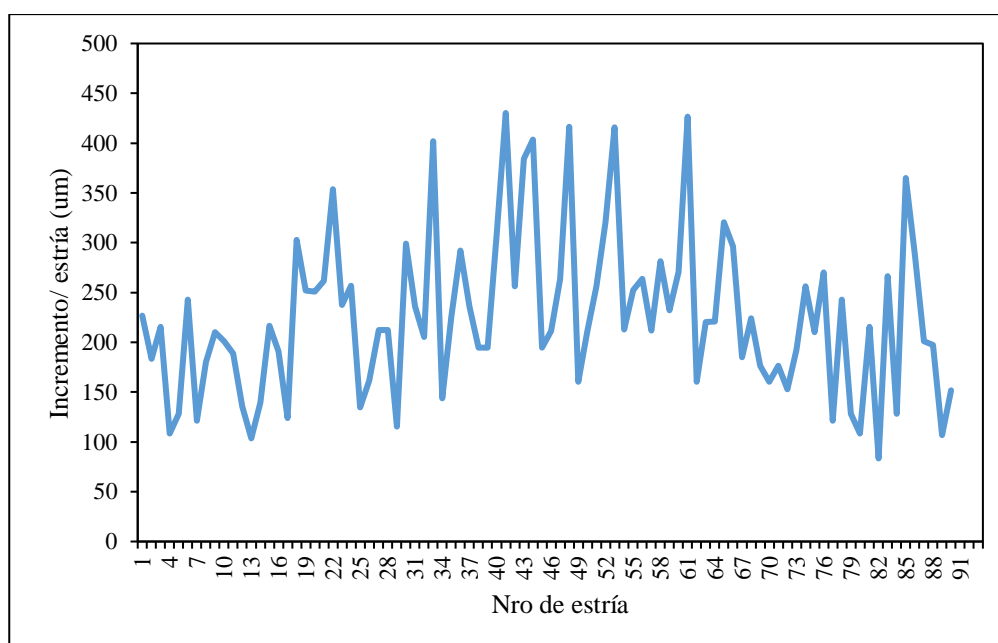


Figura 44. Micro – incremento con el número de estrías del individuo A882, obtenido desde el primero de 01 hasta el 24 de junio del 2016 en Constante.

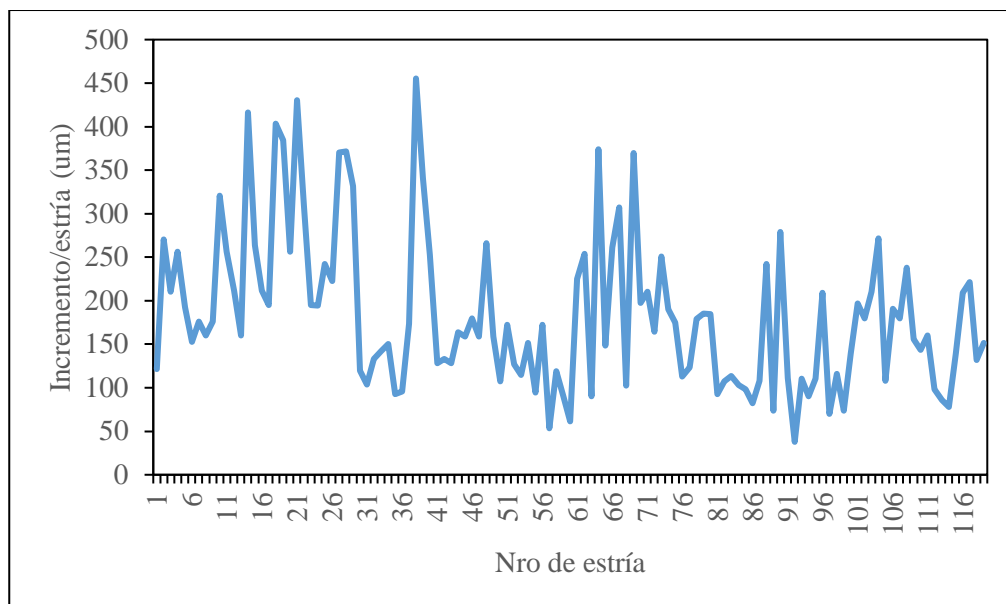


Figura 45. Micro – incremento con el número de estrías del individuo A844, obtenido desde el primero de 01 hasta el 07 de agosto del 2016 en Constante.

c) Comparación de la formación de estrías por día, máximo y mínimo incremento entre sitios

Se realizó la comparación entre la formación de estrías donde se pudo verificar que no hay diferencias significativas entre ambas zonas, y que forman alrededor de una estría por día. Por otro lado, los valores de máximo no tienen diferencias significativas y el mínimo incremento si son diferentes significativamente (ver tabla 11).

Adicionalmente se utilizó regresión lineal, para obtener un valor aproximado de la formación de estrías por días transcurridos, esto dio como resultado alrededor de 1,65 estrías por día transcurrido, con una explicación alrededor del 75%. (Figura 47).

Tabla 12. Relación entre el número de estrías y los días transcurridos de ambas zonas.

Zona	Nro. De estrías	Días transcurridos
SL	70	80
	64	80
	79	80
	185	126
C	90	84
	119	128

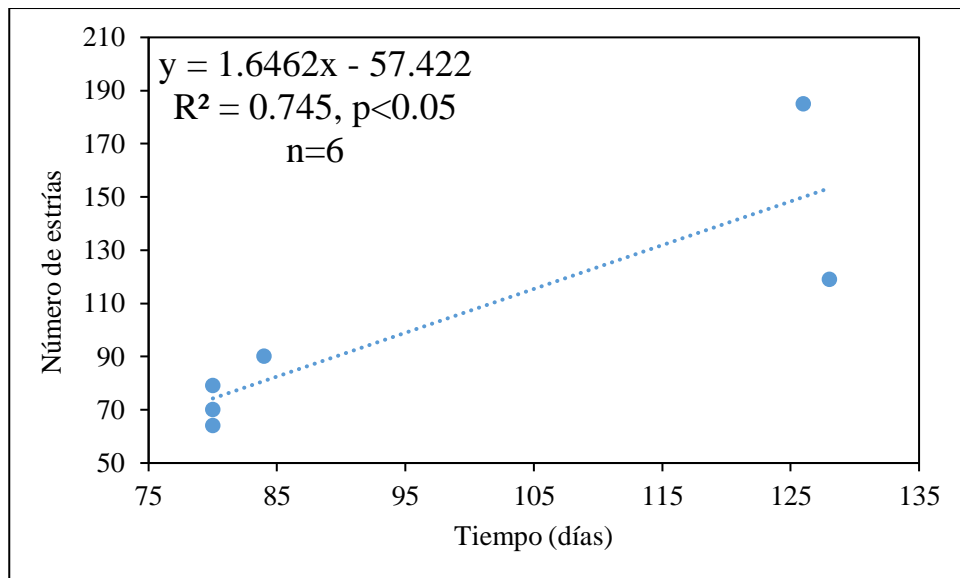


Figura 46. Relación lineal entre el número de formación de estrías con los días transcurridos en ambas zonas.

4.5 Relación con los parámetros ambientales

4.5.1 Relación entre los micro – incrementos con las variables oceanográficas

a) Isla San Lorenzo

Solo se realizó el grafico a resolución con el individuo que contaba con una formación diaria de una estría, es el individuo A007 el cual se graficó con los valores ambientales.

Al no contar con una misma resolución en las variables abióticas no se llegó a realizar una correlación con los micro - incrementos,

Mediante la figura 48 se puede identificar que el oxígeno disuelto presentó 3 periodos de acuerdo a su concentración, donde el primero sería desde 20 de marzo hasta la 15 de abril, el segundo sería desde el 15 de abril hasta el 29 de abril y luego en el tercero del 29 de abril hasta el 24 de mayo, detectándose que en el primer y tercer periodo predominaron condiciones de hipoxia costera ($>1,43 \text{ mL L}^{-1}$). No obstante, no se detectó una relación clara entre las condiciones promedio de oxigenación con la variabilidad de alta frecuencia

de los micro – incrementos Tampoco se evidenciaron relaciones entre la variabilidad del micro - crecimiento y la variación de baja frecuencia de temperatura y de clorofila-a.

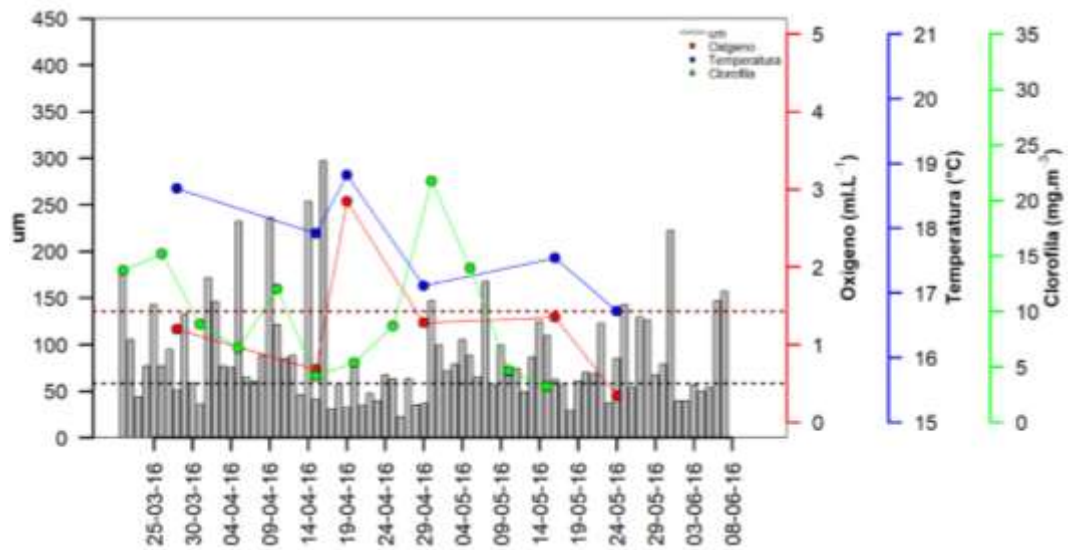


Figura 47. Micro – incremento por día del individuo A882 con las variables ambientales en su resolución correspondiente, donde las líneas punteadas indican condiciones de hipoxia costera (rojo) e hipoxia severa (negra).

b) Constante. Bahía de Sechura -Piura

Solo se realizó el gráfico a resolución con el individuo que contaba con una formación diaria de una estría aproximadamente, es el individuo A882 el cual se graficó con los valores ambientales. Al no contar con una misma resolución en las variables abióticas no se llegó a realizar una correlación con los micro – incrementos.

Mediante la figura 49, no se puede identificar una relación clara entre las condiciones promedio de oxigenación con la variabilidad de alta frecuencia de los micro – incrementos Tampoco se evidenciaron relaciones entre la variabilidad del micro - crecimiento y la variación de baja frecuencia de temperatura y de clorofila-a.

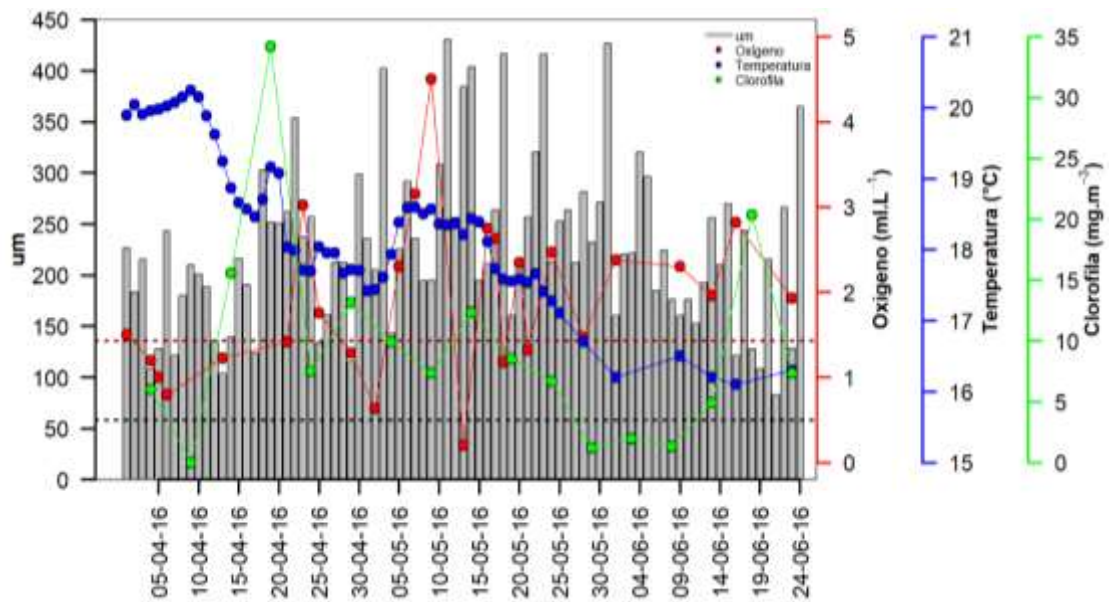


Figura 48. Micro – incremento por día del individuo A882 con las variables ambientales en su resolución correspondiente, donde las líneas punteadas indican condiciones de hipoxia costera (rojo) e hipoxia severa (negra).

5 DISCUSIÓN

5.1 Análisis crítico de la utilización de diferentes metodologías

El método de marcaje y recaptura es utilizado en diferentes estudios para estimar el tamaño de una población de peces, bivalvos, etc. Esto consiste en liberar un número conocido de individuos marcados y registrar recapturas en una muestra posterior. Se supone que la fracción de la población marcada recuperada en la muestra es igual a la fracción de la población total muestreada (Thorpe, 1997).

Aunque los métodos de marcaje y recaptura se aplican ampliamente, a menudo se presta poca atención al diseño de muestreo, es por eso que la planificación de la intensidad y la duración adecuadas del muestreo para obtener un nivel específico de precisión es un tema desafiante y puede sesgar o afectar las estimaciones si no hay datos suficientes (Kordjazi et al., 2016). Ya que las condiciones de las poblaciones muestreadas en las zonas de San Lorenzo y Constante fueron diferentes, estas pudieron afectar el experimento tal como se discute más adelante.

Se ha señalado que la precisión de las probabilidades de supervivencia estimadas aumenta con el tamaño de la muestra y la duración del muestreo (Pollock et al., 1990; Robson & Regier, 1964). La capturabilidad podría haber sido mayor en San Lorenzo, si se hubiesen colocado a los individuos marcados hubiesen sido colocados en un corral para reducir la extracción causada por la pesca artesanal y tendrían mayor probabilidad de supervivencia. Por otro lado, la intensidad y la efectividad del muestreo pueden verse limitadas por factores ambientales y biológicos, así como por las limitaciones pragmáticas de la financiación y el tiempo de la investigación. Los estudios de marcado a menudo se basan en datos recopilados por captura y en estos estudios la eficiencia del muestreo se ve afectada por la capturabilidad de los animales, que a su vez se ve afectada por factores ambientales y fisiológicos (Ziegler et al., 2003).

Asimismo, una representación limitada del rango de tallas puede afectar las estimaciones de parámetros, con metodologías que no son aplicables a crecimiento acumulativo (referencia). Por ejemplo, en el caso de Constante, se necesitó garantizar el muestreo de individuos de rangos de tallas menores como los de la zona de San Lorenzo.

Quizás lo más importante es que los fondos de investigación y el tiempo a menudo colocan la mayor limitación en los estudios de marcaje y recaptura porque esto restringe el tamaño de la muestra y la duración del muestreo debido al costo de la mano de obra y materiales. Otras restricciones de recursos incluyen los costos operacionales del equipo de marcado, por ejemplo, el costo de alquiler de botes, tripulación y científicos (Kordjazi et al., 2016). Se supone que el método de marcaje y recaptura es robusto a las restricciones en el esfuerzo de muestreo siempre que el esfuerzo permanezca constante dentro del estudio. Sin embargo, varios estudios han demostrado que esta suposición puede ser no válida (Robson & Regier, 1964). Por ejemplo, se ha demostrado que el tamaño de muestra y la duración de la muestra influyen en las estimaciones de la tasa de crecimiento (Fiske et al., 2008), la probabilidad de supervivencia (Conner et al., 2015), así como la precisión de los parámetros estimados (Lindberg et al., 2007) tanto a nivel de la matriz de datos de marcaje y recaptura como en la modelización. En tal sentido algunas restricciones logísticas durante el estudio que afectaron el esfuerzo y la duración de los intervalos de marcaje y recaptura pudieron afectar la estimación de los parámetros.

La recapturabilidad en la zona de San Lorenzo fue de alrededor de 20% en las tres campañas de recaptura; esto posiblemente reflejó la fuerte explotación del recurso en la zona (Allison & Brand, 1995). Por otro lado, en la zona de Constante se realizó una metodología de marcaje y recaptura condicionada por los criaderos que se utilizan en la acuicultura, ya que se realizó en un corral donde se mantuvieron a los individuos en una cantidad constante. Sin embargo, al no tener recambios en la muestra se afectó la estimación de los parámetros de crecimiento o de mortalidad (Pauly, 1970).

La estimación de parámetros siempre ha estado presente al momento de evaluar un recurso hidrobiológico de importancia comercial debido a que con esto se tiene la idea en qué tiempo podrían crecer los individuos. El método de Gulland & Holt (1959) es de utilidad siempre y cuando sea aplicable a intervalos de tiempos cortos y se cuente con una variabilidad dentro de la muestra. En tal sentido su aplicación a la zona de San Lorenzo tuvo limitaciones debido a que se tuvo periodos cortos muy similares con una pequeña cantidad de datos, mientras que en Constante no se contaba con una variabilidad representativa de los rangos de talla. Esto último hizo que entre las distancias entre el marcaje y las recapturas, brinden distancias entre tallas muy similares

Sin embargo, una alta variabilidad intrapoblacional o las distribuciones de talla estrechas, hace que en los modelos de regresión lineal como el de Gulland & Holt (1959) ocasionalmente no converjan, como fue el caso de ambas zonas donde se realizó el cálculo por períodos obteniendo resultados similares a los estudios anteriores. Smith (1997) recomienda que, para estos casos, se puede usar el método de Ford-Walford modificado (Ford, 1933; Walford, 1946), pero debido a la transformada logarítmica y correlación entre las estimaciones de los parámetros, no es posible obtener intervalos de confianza precisos. Estos métodos de estimación pueden generar sesgos, con K siendo sobre y subestimado dependiendo de la variabilidad tanto en K como en L_{∞} (Kordjazi et al., 2016). Por lo tanto, los investigadores deben tener precaución al interpretar los resultados de la estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy de datos que provienen de marcaje-recaptura.

5.2 Contexto ambiental del estudio de las tasas de crecimiento

Este estudio utilizó un conjunto de datos de información de longitud de las valvas de las conchas de abanico obtenidos de las campañas de marcaje y recaptura en conjunto con

los datos para variables ambientales del área que lamentablemente no se pudieron adquirir con la misma resolución en ambas zonas.

En general, el crecimiento de los organismos bajo condiciones naturales es el resultado de la interacción de factores ambientales (corrientes, oxígeno disuelto, temperatura) y biológicos (alimento, variables fisiológicas y reproducción del organismo), sin embargo, en la mayoría de estudios ecofisiológicos en bivalvos han evaluado individualmente las variables. Por ejemplo, Uribe (1994), comparó la tolerancia a diferentes temperaturas altas en 10 especies de bivalvos de Perú y Chile para ver si tenían relación con los eventos El Niño (Urban, 1994), donde concluye que los eventos débiles y fuertes, con incrementos alrededor de los 5 °C, solo generan efectos subletales y después estas especies se adaptan a las temperaturas. Los autores indican que un ascenso de la temperatura incrementa la mayoría de los procesos fisiológicos de bivalvos, tales como la tasa de filtración e ingestión, ya que, en un ambiente natural, la concha de abanico incrementa su crecimiento y reproducción ante un evento El Niño, debido al ingreso de aguas cálidas. Debe tomarse en cuenta que el costo metabólico a estas condiciones requiere una fuente de alimento; tanto en variedad, cantidad y calidad para sostener el crecimiento y desarrollo de su población (Mendo & Wolff 2003). Aquí se tomaría en cuenta que tasas de filtración (Nieves et al. 2013) e ingestión (Mona et al. 2011) están relacionadas con la temperatura en bivalvos marinos.

En el caso de ambas zonas de estudio, se verifica una caída en la temperatura de alrededor de 3 °C al igual que la concentración de clorofila-a de ambos lugares, aunque se debe considerar que la nubosidad puede haber interferido en la recolección de los datos desde marzo hasta agosto del 2016, especialmente frente a Callao. Por otro lado, en la zona de Callao se presentaron condiciones de hipoxia costera ($OD < 1,43 \text{ mL L}^{-1}$; Rabalais et al. 2010) durante la mayor parte del estudio. Al respecto Aguirre (2016) indica que el oxígeno es un factor limitante sobre el metabolismo de la concha de abanico; sobre un nivel umbral

la deficiencia de oxígeno afecta su metabolismo, generándose desequilibrios entre las tasas de ingestión y filtración para poder mantener el poco oxígeno disponible, sin embargo esta especie según la literatura vive en niveles de oxígeno de 0.2 a 8 ml/l (Bermúdez et al., 2004) y también según Aguirre (2016) en la bahía de Paracas está expuesta a periodos cortos de hipoxia costera hasta niveles de hipoxia severa ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) debido a la dinámica de la bahía. En la zona de la isla de San Lorenzo se observó episodios de hipoxia severa ($<0,5 \text{ mL L}^{-1}$) entre la primera y la segunda fecha de recaptura, mientras que en Constante predominaron valores de oxígeno mayores a 2 mL L^{-1} . En San Lorenzo, en la última parte del período de estudio la concentración de OD se elevó a cerca de 2 mL L^{-1} , mientras que la tasa de crecimiento casi se duplicó respecto al período anterior. En el caso de Sechura, en la primera fecha la estimación de la baja tasa de crecimiento pudo ser afectada por la baja cantidad de individuos evaluados debido a los problemas de visibilidad en ese momento, ya que, en la fecha posterior se estimaron tasas de crecimiento entre $4 - 5,5 \text{ mm mes}^{-1}$. Estos altos valores de las tasas de crecimiento estarían relacionados con los niveles oxígeno disuelto ($> 2 \text{ mL L}^{-1}$), por encima del umbral de hipoxia costera, condición que sí se presentó en la zona de la isla San Lorenzo.

En resumen, ni la temperatura ni la clorofila-a en ambas zonas de estudio evidenciaron una relación con la variabilidad de la tasa de crecimiento. En cambio, tanto las diferencias entre Constante y San Lorenzo en las tasas de crecimiento, como el aumento de la tasa de crecimiento en San Lorenzo en el último período del estudio, se asocian con la concentración de oxígeno, por lo que es posible considerar a éste como el principal factor que controla la tasa de crecimiento para ambas zonas de estudio.

5.3 Parámetros poblacionales y su relación con los cambios en el ambiente

La concha de abanico es una especie de corto tiempo de vida que puede alcanzar una altura máxima de la concha de 136 mm (ver la Tabla 10). Los tamaños máximos varían sustancialmente con la ubicación y el período, por lo que es probable que la longevidad también se vea afectada (Mendo et al., 2016). Asimismo, el crecimiento de la concha de abanico varía con la latitud, la profundidad, la densidad y las condiciones ambientales. Se ha reportado que solo la temperatura puede explicar hasta 90% de la variabilidad en el índice de rendimiento del crecimiento (Pauly y Munro, 1984) (Figura 50).

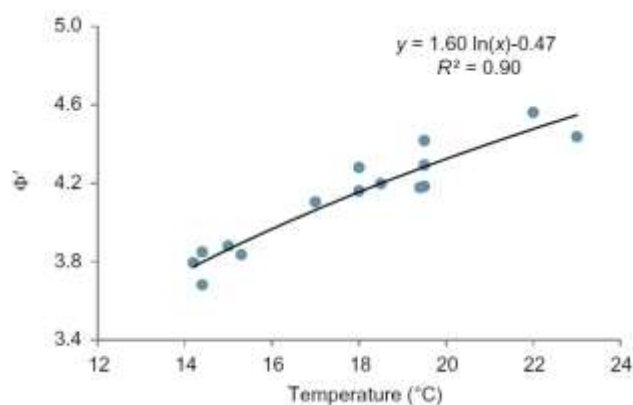


Figura 49. Relación entre el índice de rendimiento del crecimiento (Φ') y temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) de *Argopecten purpuratus* (Mendo et al., 2016).

Durante fuertes eventos de calentamiento como El Niño, como los que ocurrieron entre 1982-1983 y 1997-1998 en Pisco, el crecimiento de las conchas tiende a ser aproximadamente tres veces más rápido que durante los años normales (Tarazona et al., 2007). Usando los parámetros de crecimiento de Tarazona et al. (2007), un individuo de la Bahía Independencia pudo alcanzar un tamaño de 80 mm durante condiciones de El Niño en 0,9 años, mientras que en condiciones frías dicho tamaño se alcanzó en aproximadamente 2,4 años. Esto es consistente con los hallazgos de Waller (1969), quien

menciona que *Argopecten purpuratus* es proveniente de una fauna subtropical que alguna vez existió en Chile y Perú.

En el estudio se obtuvieron valores en la zona de San Lorenzo muy similares al estudio que realiza Arguelles et al. (2012) (ver tabla 10) en la misma zona mediante el método de Faben's (1940), mientras que en el presente estudio se aplicaron tres diferentes modelos, el método de Gulland & Holt (1959), el modelo no lineal y el ajuste de la curva de Von Bertalanffy (VBGC), donde se verifica que el modelo no lineal es el que más se aproxima a los valores expuestos en la tabla 12, es el del método no lineal el cual puede alcanzar un tamaño de 98,57 mm en 0,87 años⁻¹, en el cual los individuos provenían de condiciones de calentamiento con un evento El Niño moderado (2015 – 2016). Esto también demuestra que este método es el mejor al realizar la estimación ya que se tiene un mayor espectro de rangos de tallas de la zona de estudio, donde permite una mejor visualización de esta. Por otro lado, en la zona de Constante se presentaron valores que no cuadran con los obtenidos por Mendo et al. (2011) y por IMARPE (2012) (ver tabla 10), ya que se obtuvo un valor de 80,07 mm en 2,07 años, cuando se puede observar que las condiciones ambientales son mejores que en la zona de San Lorenzo, sin embargo es lógico obtener el valor de K tan elevado debido a que se tiene rangos de tallas muy grandes con lo cual genera un sesgo al momento de realizar las estimaciones.

También debemos tomar en cuenta que la influencia de la disponibilidad y la calidad del seston en el crecimiento, la condición reproductiva y la composición química en *Argopecten purpuratus* se estudió en Bahía Paracas, Pisco (Aguirre, 2007). Allí las conchas de abanico fueron colocadas en redes de linterna suspendidas (5 m de profundidad) y crecieron más rápido y tenían un índice gónada - somático mayor que las conchas colocadas en el sustrato (7 m de profundidad). Esto es importante ya que tanto en San Lorenzo como en Constante los individuos del experimento se encontraban en el sustrato alrededor de los 8 – 15 m. En el estudio de Aguirre (2007) también las corrientes

y la concentración de sestón en la columna de agua se identificaron como factores importantes que afectan las tasas de crecimiento de las conchas de abanico y el crecimiento del tejido somático.

Tabla 13. Parámetros de crecimiento de *Argopecten purpuratus* en las diferentes localidades de Perú (Mendo et al., 2016) incluyendo las de este estudio (Utilizando el método de modelo no lineal)

Periodo	L_{∞} (mm)	K(año ⁻¹)	Φ'	T(°C)	Localización	Referencia
1981	136	0,410	3,88	15,0	Bahía Independencia	Wolff (1981)
Setiembre 1987 - Marzo 1988	110,0	0,565	3,83	15,3	Tunga (Bahía de Paracas)	Mendo y Jurado (1993)
Mayo 1984 - Octubre 1985	106,3	0,425	3,68	14,4	La Pampa (Bahía de Paracas)	Yamashiro y Mendo (1988)
Mayo 1985 - Abril 1986	109,1	0,523	3,79	14,2	Tunga (Bahía de Paracas)	Yamashiro y Mendo (1988)
Marzo 1999 - Marzo 2000	118,7	0,500	3,85	14,4	La Pampa (Bahía de Paracas)	Tarazona et al. (2007)
Junio 2000 – Noviembre 2001	81	3,17	4,32		Bahía Independencia	Cisneros et al. (2008)
Junio 2000 – Noviembre 2001	82	3,43	4,36		IMARPE	Cisneros et al. (2008)
Junio 2000 – Diciembre 2001	72	4,08	4,33		Samanco	Cisneros et al. (2008)
Junio 2000 – Diciembre 2001	78	3,53	4,33		Lagunillas	Cisneros et al. (2008)
Enero – Diciembre 2002	110,0	1,05	4,10	17,0	Bahía de Tortugas	Mendo et al. (no publicado)
2011	100	0,891			Callao	Arguelles et al. (2012)
2012	100	0,931			Callao	Arguelles et al. (2012)
Diciembre 2010 – Febrero 2011	93,7	1,65	4,16	18,0	Bahía de Sechura	Mendo et al. (2011)
Febrero – Setiembre 2011	133,0	0,89	4,20	18,5	Bahía de Sechura	Imarpe (2012)
Marzo – Julio 2016	98,57	0,88	3,93		Isla San Lorenzo	Este estudio*
Abril – Agosto 2016	80,07	2,07	4,12		Bahía de Sechura	Este estudio*

Donde L_{∞} : Altura infinita, K: Constante de crecimiento, Φ' : phi prima, T: Temperatura del agua.

5.4 Esclerocronología, ritmos de crecimiento y variabilidad de factores ambientales

En general, se supone que las actividades rítmicas están controladas por factores endógenos sincronizados por señales ambientales que actúan como “zeitgebers” (es decir, como un reloj biológico interno) (Aschoff et al., 1982). La formación de estrías de bivalvos marinos corresponde a una disminución de la tasa de crecimiento provocada por un metabolismo alterado (Chauvaud et al., 1998). Por otro lado, se sabe que los ciclos ambientales diarios, de marea y estacionales impulsan los ritmos de crecimiento (Rosenberg & Jones, 1975).

Aguirre et al. (2015) investigó la respuesta de crecimiento a la variabilidad ambiental de la producción de *Argopecten purpuratus* de la Bahía de Paracas (Pisco) correlacionando la formación diaria de micro - estrías en la concha, donde se demostró que la respuesta al crecimiento no siempre es instantánea, lo que puede explicarse por el hecho de que los procesos metabólicos necesitan tiempo para realizarse (como la digestión, uso / movimientos de reservas, crecimiento y reproducción).

La relación entre el número de estrías y el número de días en el cual estuvieron vivos los individuos en Constante, confirma los estudios de Thébault et al. (2008), Gosselin et al. (2013) y Aguirre et al. (2015) donde el ritmo de formación de estrías es de una estría por día. Este ritmo diario de formación de estrías confirma los resultados obtenidos para la mayoría de las otras especies de *Argopecten*. Tal ritmo ha sido sugerido para *Argopecten irradians* (Wheeler et al., 1975; Helm y Malouf, 1983), *Argopecten gibbus* y *Argopecten circularis* (Clark, 1975).

Según Clark (2005) en los bivalvos en general, el fotoperiodo causaría una periodicidad diaria en la formación de estrías. Por otro lado, un estudio realizado en la zona de la Rinconada en Chile indica la formación de una estría cada dos días en individuos adultos de *A. purpuratus* marcados con calceína y medidos durante 140 días (Thouzeau, 1991).

Los informes de ritmos biológicos de 2 días de duración en la naturaleza son inusuales. Hay una especie como *Comptopallium radula* (Thébault et al., 2005) mostraron una periodicidad de 2 días de la formación de microestrópicas.

Los cambios diarios en la saturación de oxígeno parecen ser un impulsor mucho más probable de la periodicidad en el crecimiento, según Aguirre (2015). La disponibilidad de oxígeno es un regulador clave de los procesos metabólicos de los invertebrados marinos. Los organismos acuáticos pueden responder a la hipoxia al (1) intentar tomar el oxígeno en el ambiente, (2) reducir el gasto de energía y (3) mejorar la eficiencia energética y derivar energía de fuentes anaeróbicas (Wu, 2002). Los bivalvos pueden reducir su tasa metabólica en respuesta a la hipoxia (Storey y Storey, 2004). Este estrés reducido de oxígeno podría detener el crecimiento de la concha durante la noche, pero el crecimiento podría aumentar durante el día cuando las concentraciones de oxígeno son más favorables, creando así un ritmo circadiano como una estrategia energética para hacer frente a las altas variaciones en la disponibilidad de oxígeno (Thouzeau, 2008).

Thébault et al. (2008) reconoció que la temperatura produce un efecto positivo significativo en el crecimiento de *A. purpuratus* en la Reserva Marina La Rinconada, Chile. Aguirre (2015) reportó una relación negativa significativa en su estudio, lo cual estaría relacionado a los límites de la tolerancia térmica de esta especie (por ejemplo, durante un evento de El Niño; Urban, 1994). Sin embargo, nuestros resultados no evidencian una relación negativa con la temperatura. También debe tomarse en cuenta que aunque *A. purpuratus* metaboliza bien a la temperatura (10 ° C-18 ° C, González et al., 2002), el inicio rápido de períodos cálidos podría afectar negativamente el crecimiento (hasta 4°C), al causar estrés metabólico (Peck et al., 2009).

El estrés generado por el transporte y movimientos, causó una marca visible en las valvas de *A. purpuratus*. Esta marca permitió demostrar el ritmo diario de formación de estrías, ya que se pudo ver pequeñas protuberancias en las valvas asociadas a un detenimiento del crecimiento (ver anexo F 4)

6 CONCLUSIONES

- Las tasas de crecimiento calculadas mediante el método de marcaje y recaptura tendieron a ser menos variables entre otoño e invierno en la zona de Constante que en la de Isla San Lorenzo en distintos rangos de tallas. En San Lorenzo las tasas de crecimiento más bajas se encontraron en el otoño tardío, asociadas a condiciones de hipoxia costera e hipoxia severa.
- Los individuos seleccionados de la zona de Constante mostraron un crecimiento diario de 0,9 y 1,1 estría/día, mientras que los de la zona de San Lorenzo exhibieron un rango entre 0,8 a 1,6 estría/día, los cuales no son estadísticamente diferentes entre sí ni con la tasa de formación de estrías ya reportada por otros autores en la especie (1 estría por día).
- De los tres factores abióticos evaluados (temperatura de fondo, clorofila-a superficial y oxígeno a la profundidad del experimento), solamente se encontraron diferencias significativas entre ambas zonas de estudio en el oxígeno disuelto, siendo menor en la zona de la Isla San Lorenzo, en donde se presentó en promedio, en valores asociados a la hipoxia costera e hipoxia severa
- La hipótesis no se pudo comprobar en su totalidad, debido a que solo se contó con información comparable en el período de otoño en los rangos de tallas de 45-50 mm y 55 – 60 mm, para las cuales el crecimiento en la zona de Constante fue significativamente mayor que en la zona de la isla San Lorenzo. Si bien el crecimiento no exhibió relación significativa con la temperatura, las bajas tasas de crecimiento determinadas para la zona de la isla San Lorenzo son consistentes con un efecto negativo de las condiciones de hipoxia e hipoxia severa, así como de su variabilidad observados durante el estudio.

7 RECOMENDACIONES

- Utilizar metodologías iguales en los diferentes lugares de estudio para no tener complicaciones de comparación al momento de analizar los datos.
- Se necesita contar con individuos de cultivo (hatchery), para tener un mejor control sobre la edad inicial de los individuos y así poder estimar mejor los parámetros de crecimiento.
- Para el estudio del crecimiento diario en la zona de la Isla San Lorenzo y en la zona de Constante en la bahía de Sechura, es conveniente contar un mayor marcaje de individuos de los diferentes rangos de tallas para mejorar la recapturabilidad y tener una mayor representación de la población.
- Mejorar el diseño experimental a nivel de ontogenia, ya que es un factor que interviene en la velocidad del crecimiento, es decir realizar el monitoreo por rangos de altura de valva.
- Usar monitores digitales (loggers) que tomen temperatura, oxígeno disuelto y salinidad, para un monitoreo más fino de las zonas de estudio, ya que esto permite conocer exactamente el impacto en el micro incremento.
- Son necesarios estudios complementarios de las comunidades fitoplanctónicas y velocidad de corriente, composición del sestón, materia orgánica particulada y carbono orgánico particulado, pH y sulfuros, ya que son factores que algunos autores indican como importantes para relacionarlo con el crecimiento.
- Se necesitan marcar un número mayor de individuos con calceína para su procesamiento a nivel de rangos y edades, para tener una mejor caracterización del microcrecimiento.

- Es necesario profundizar el conocimiento de los factores que afectan el crecimiento somático y su interacción con el crecimiento valvar.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, A. 2007. Influencia de la calidad nutricional del sestón sobre el crecimiento, condición reproductiva y composición química de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*). Tesis para optar el grado de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional Agraria La Molina: 1-97.
- Aguirre, A., Flye-Sainte-Marie, J., Mendo, J., & Jean, F. (2015). Sclerochronological records and daily microgrowth of the Peruvian scallop (*Argopecten purpuratus*, Lamarck, 1819) related to environmental conditions in Paracas Bay, Pisco, Peru. *Journal of Sea Research*, 99, 1–8.
- Aguirre-Velarde, A., Jean, F., 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., & Mendo, J. (2008). Crecimiento y supervivencia de juveniles de *Argopecten purpuratus* en sistemas de fondo y suspendido en la zona de Casma, Per. *Ecol Apl*, 7, 71–80.
- Allen, D.M. and Costello, T.J., 1972. The calico scallop, *Argopecten gibbus*. NOAA Technical Report NMFS SSRF-656. 19 p.
- Allen, J.A., 1953. Observations on the epifauna of the deep-water muds of the Clyde Sea area, with special reference to *Chlamys septentradiata*. *Journal of Animal Ecology* 22:240-260.
- Allison, E. H., & Brand, A. R. (1995). A Mark-Recapture Experiment on Queen Scallops, *Aequipecten opercularis*, on a North Irish Sea Fishing Ground. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 75(2), 323–335.
- Arntz, W. y Tarazona, J. 1990. Effects of El Niño on benthos, fish and fisheries off the South American Pacific coast. En: P.W. Glynn (Ed.). Global ecological consequences of the 1982- 83 El Niño southern oscillation. *Oceanography Series* 52, Elsevier Amsterdam. pp. 323-360.
- Aschoff, J., Daan, S., Honma, K., 1982. Zeitgeber, entrainment, and masking: some unsettled questions. In: Aschoff, J., Daan, S., Gross, G. (Eds.), *Vertebrate circadian system (structure and physiology)*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 13–24
- Benites C. 1988. El desarrollo de la maricultura en el Perú con énfasis en la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) y langostinos (*Penaeus vannamei*). En: H. Salzwedel y A. Landa (eds.). *Recursos y Dinámica del Ecosistema del Afloramiento Peruano*. Bol. IMARPE. Vol Extraord, p: 196-201.
- Berkeley S.A., Hixon M.A., Larson R.J. and Love M.S., 2004. Fisheries sustainability via protection of age structure and spatial distribution of fish populations. *Fisheries*, 29, 23–32.
- Blanck, A. & Lamouroux, N. (2007) Large-scale intraspecific variation in life-history traits of European freshwater fish. *Journal of Biogeography*, 34, 862–875.

- Bourne, N., 1964. Scallops and the offshore fishery of the Maritimes. Bull. Fish. Res. Board Can.145: ix + 60p.
- Brandt S.B., Mason D.M. and Patrick E.V., 1992. Spatially explicit models of fish growth rate. Fisheries, 17, 23–35.
- Britton J.R., Davies G.D. and Pegg J., 2013. Spatial variation in the somatic growth rates of European barbel *Barbus*: a UK perspective. Ecol. Freshw. Fish, 22, 21–29.
- Calvo-Iglesias, J., Pérez-Estévez, D., Lorenzo-Abalde, S., Sánchez-Correa, B., Quiroga, M. I., Fuentes, J. M., & González-Fernández, Á. (2016). Characterization of a monoclonal antibody directed against *Mytilus* spp larvae reveals an antigen involved in shell biomineralization. *PLoS ONE*, 11(3).
- Carmona-Catot G., Benito J. and García-Berthou E., 2011. Comparing latitudinal and upstreamdown stream gradients: life history traits of invasive mosquitofish. Divers. Distrib., 17, 214–224.
- Carré, M. 2002. Estimation of potential productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. Deep-Sea Research II. Vol. 49: 59 – 80.
- Chauvaud, L., Thouzeau, G., Paulet, Y.-M., (1998). Effects of environmental factors on the daily growth rate of *Pecten maximus* juveniles in the Bay of Brest (France). J. Exp. Mar.
- Chauvaud, L., Donval, A., Thouzeau, G., Paulet, Y.M., Nézan, E., 2001. Variations in food intake of *Pectenmaximus* (L.) from the Bay of Brest (France): influence of environmental factors and phytoplankton species composition. C. R. Acad. Sci. Paris 324 (8), 743–755.
- Chauvaud, L., 2005. Shell of the Great Scallop *Pecten maximus* as a high-frequency archive of paleoenvironmental changes. Geochem. Geophys. Geosyst. 6 (8), 1–15.
- Cisneros, R; J. Bautista & J. Argüelles. (2008). Crecimiento comparativo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en sistemas suspendidos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú, Ecología Aplicada, vol. 7 (12), 81-87 pp.
- Calvo-Iglesias, J., Pérez-Estévez, D., Lorenzo-Abalde, S., Sánchez-Correa, B., Quiroga, M. I., Fuentes, J. M., & González-Fernández, Á. (2016). Characterization of a monoclonal antibody directed against *Mytilus* spp larvae reveals an antigen involved in shell biomineralization. *PLoS ONE*, 11(3).
- Conner MM, Bennett SN, Saunders WC, Bouwes N. Comparison of Tributary Survival Estimates of Steelhead using Cormack-Jolly-Seber and Barker Models: Implications for Sampling Efforts and Designs. Transactions of the American Fisheries Society. 2015; 144(1):34–47.
- Cordova, K. (2016) Evidencias del efecto negativo de la disminución del pH sobre el crecimiento y calcificación de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). Tesis para optar el grado de maestro en Ciencias del Mar. Universidad Peruana Cayetano Heredia: 1-97.

- Dionicio J. & Flores, T. (2015). Efecto de la temperatura en respuestas fisiológicas de la concha de abanico, 22(Diciembre), 329–334.
- Estudio nutricional en concha de abanico: Premio a la mejor tesis en pesquería (Agosto/Setiembre, 2009). Boletín informativo de noticias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, (145). Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/gaceta/boletin/Boletin145/Notas/nota2.htm>
- Fabens, A. J. (1965). Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth*, 29:265- 289.
- Fiske IJ, Bruna EM, Bolker BM. Effects of sample size on estimates of population growth rates calculated with matrix models. *PLoS one*. 2008; 3(8):e3080. doi: 10.1371/journal.pone.0003080 PMID: 18769483 14.
- Glazier D., (1999). Trade-offs between reproductive and somatic (storage) investments in animals: a comparative test of the Van Noordwijk and De Jong model. *Evol. Ecol.*, 13,539–555.
- González, M. L., D. A. Lopez, M. C, Perez y J. M. Castro. (2002). Effect of temperature on the scope for growth in juvenile scallops *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture International*. 10: 339-349.
- González, R. (2010). Auge y crisis: la pesquería de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la región Pisco-Paracas, costa sur del Perú. *Espacio y Desarrollo* N° 22, 2010, pp. 25-51.
- Gosling, E. (2003). *Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture*.
- Gosselin, M., Lazareth, C.E., Ortlieb, L., 2013. Sclerochronological studies in the Humboldt current system, a highly variable ecosystem. *J. Shellfish Res.* 32 (3), 867–882.
- Gulland, J.A. y Holt, S.J. 1959. Estimation of growth parameters for data of unequal time intervals. *J. Cons. CIEM* 25(1): 47 p.
- Gulland, J.A., Holt, S.J., 1959. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 25, 47–49.
- Gutiérrez D., Arones K., Chang F., Quipuzcoa L. y Villanueva P. 2005. Impacto de la variación oceanográfica estacional e interanual sobre los ensambles de microfitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. *Bol Inst Mar Perú-Callao*. Vol. 22. ISSN: 0378-7699.
- Helm, N. and Malouf, R., 1983. Rate of production of the external ridges in the bay scallop, *Argopecten irradians*. *Am. Zool.* 23, 835.
- Hofmann AF, Peltzer ET, Walz PM, Brewer PG. Hypoxia by degrees: Establishing definitions for a changing ocean. *Deep-Sea Research I*. Elsevier. 2011. 58:1212–26.
- Illanes, J.E., Akaboshi, S. and Uribe, E., 1985. Efectos de la temperatura en la reproducción del Ostión del Norte *Chlamys (Argopecten) purpuratus* en la Bahía de Tongoy durante el fenómeno El Niño 1982-83. *Investigaciones Pesqueras (Chile)* 32:167-173.

- Instituto del Mar del Perú (IMARPE) (2007). Estudio de línea base de la Bahía de Sechura (pdf). p. 116.
- Josse, E., Le Guen, J.C., Kearney, R. Lewis, A., Smith, A., Marec, L. and Tomlinson, P.K. 1979. Growth of skipjack. South Pacific Commission, Occasional Paper, 11: 83p.
- Joseph, J. and Calkins, T.P. 1969. Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of the eastern Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission, Bulletin, 13 (1): 1-273.
- Kachler & C.C. McQuaid. 1999. Use the fluorochrome calcein as an in-situ growth marker in the brown mussel *Perna*. Marine Biology 133: 455-460.
- Kordjazi, Z., Frusher, S., Buxton, C., Gardner, C., & Bird, T. (2016). The influence of mark-recapture sampling effort on estimates of rock lobster survival. *PLoS ONE*, 11(3), 1–10.
- Lagos, N. A., Benítez, S., Duarte, C., Lardies, M. A., Broitman, B. R., Tapia, C., Vargas, C. A. (2016). Effects of temperature and ocean acidification on shell characteristics of *Argopecten purpuratus*: Implications for scallop aquaculture in an upwelling-influenced area. *Aquaculture Environment Interactions*, 8(Ipcc 2014), 357–370.
- Lappalainen J., Tarkan A.S. and Harrod C., 2008. A meta-analysis of latitudinal variations in life-history traits of roach, *Rutilus*, over its geographical range: linear or non-linear relationships? *Freshwater Biol.*, 53, 1491–1501.
- Lindberg MS, Walker J. Satellite telemetry in avian research and management: sample size considerations. *The Journal of Wildlife Management*. 2007; 71(3):1002–9. doi: 10.2193/2005-696 13.
- Maeda-Martínez, A.N. 2001. (Editor) Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Editorial Limusa, México 501p.
- MacDonald, B.A. and 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.* 93:37-48.
- Mahe, K., Bellamy, E., Lartaud, F., & de Rafelis, M. (2010). Calcein and manganese experiments for marking the shell of the common cockle (*Cerastoderma edule*): tidal rhythm validation of increments formation. *Aquatic Living Resources*, 23(2010), 239–245.
- Maunder, Mark. 2001. Crecimiento del atún barrilete (*Katsuwonus pelamis*) en el Océano Pacífico oriental, estimado a partir de datos de marcado.
- Mendo, J., Wolff, M., Carbajal, W., Gonzáles, 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. Farias 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. 1011114.
- Mendo, Jaime y Wolff, Matthias (2003). «El impacto de El Niño sobre la producción de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en Bahía Independencia, Pisco, Perú». *Ecología Aplicada (Lima)* 2 (1): 51-57.
- Mendo, J. y M. Wolff. 2003. El impacto de El Niño sobre la producción de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en bahía Independencia, Pisco, Perú. *Ecología Aplicada*, 2(1): 51-57.
- Mendo, J. y M. Wolff. 2002. Pesquería y manejo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la bahía Independencia. En J. Mendo y M. Wolff (Eds.), *Memorias I Jornada Científica Reserva Nacional de Paracas*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, pp. 188-194.
- Miller, G.C., Allen, D.M. and Costello, T.J., 1981. Spawning of the calico scallop *Argopecten gibbus* in relation to season and temperature. *J. Shellfish Res.* I (1):17-21.
- Morán, L. 2000. Calcein as a marker in experimental studies newly-hatched gastropods *Marine Biology* 137: 893-898
- Morón, L. 1988. «Parámetros oceanográficos en Bahía Independencia, Perú, entre mayo de 1985 y julio de 1987». *Boletín del Instituto del Mar del Perú (Callao)*: 25-34.
- Navarro, J. 2002. Fisiología energética de pectínidos iberoamericanos. *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*. Cap. 3: 61-76. 92.
- Navarro, J., G. Leiva, G. Martínez y C. Aguilera. 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 247: 67-83.
- Navarro, R., Sturla, L., Cordero, O., Avendaño M. 1991. Chile. pp 1001-1015.
- Pague, L. 1996. Crecimiento y supervivencia del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819)
- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *ICES Journal of Marine Science* 39(2): 175-192.
- Pauly, D., 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. *ICLARM Conf. Proc.*, (13): 7-34.
- Pauly D & JL Munro. 1984. Once more on growth comparison in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2: 21.
- Pilditch, C.A. and Grant, J., 1999. Effect of variations in flow velocity and phytoplankton concentration on sea scallop (*Plaeopecten magellanicus*) grazing rates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 240:111-136.
- Pollock KH, Nichols JD, Brownie C, Hines JE. *Statistical-inference for capture-recapture experiments*. *Wildlife Monograph*. 1990;(107):1–97.

- Quispe, Graco, Correa, Tam, Gutiérrez, Morón, Flores y Yamashiro (2010). Variabilidad espacio-temporal de condiciones hidrofísicas en Bahía Independencia, Pisco – Perú». *Ecología Aplicada (Lima)* 9 (1): 9-18.
- Robson DS, Regier HA. Sample size in Petersen mark-recapture experiments. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1964; 93(3):215–26.
- Roff D.A., 1983. An allocation model of growth and reproduction in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 1395–1404.
- Roff D.A., 2000. Trade-offs between growth and reproduction: an analysis of the quantitative genetic evidence. *J. Evol. Biol.*, 13, 434–445.
- Schaefer, M.B. 1961. Report on the investigations of the Inter-American Tropical Tuna Commission for the year 1960. IATTC Annual Report, 1960: 40-183.
- Shumway, S.E. and G.J. Parsons (editors) 2003. *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier. 2nd Edition.
- Smith, E. B., Williams, F. M., & Fisher, C. R. (1997). Effects of intrapopulation variability on von Bertalanffy growth parameter estimates from equal mark-recapture intervals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 2025–2032.
- Stokesbury, K.D.E. and Himmelman, J.H., 1995b. Examination of orientation of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in natural habitats. *Canadian Journal of Zoology* 73:1945-1950.
- Stotz, W., 2000. When aquaculture restores and replaces an overfished stock: is the conservation of the species assured? The case of the scallop *Argopecten purpuratus* in Northern Chile. *Aquaculture International* 8:237-247.
- Tarazona, J; Gutierrez, D; Paredes, C. Y Indacochea, A. 2003. Overview and challenges of Marine Biodiversity Research in Peru. *Gayana (Concepc.)*. Vol. 67(2): 206-231.
- 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.
- Thébault, J., Thouzeau, G., Chauvaud, L., Cantilláñez, M., & Avendaño, M. 2008. (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in Northern Chile: sclerochronological record and environmental controls. *Aquatic Living Resources*, 21(1), 45–55.
- Thébault J., Chauvaud L., Clavier J., Fichez R., Morize E., 2006, Evidence of a 2-day periodicity of striae formation in the tropical scallop *Comptopallium radula* using calcein marking. *Mar. Biol.* 149, 257–267
- Uribe, E., Blanco, J.L. and Yamashiro, C. 2003. Effect of salinity on the distribution of *Argopecten purpuratus* on the SW Pacific coast. Book of Abstracts, 14th International Pectinid Workshop, St. Petersburg, Florida, USA, 23-29 April, 2003. pp. 125-126.

- Valdivieso, V. (1990). Cultivo de moluscos en el Perú. En: Hernández R. (ed.). Cultivo de Moluscos en América Latina - Memorias de la 2° Reunión del Grupo de Trabajo Técnico en Ancud-Chiloe-Chile. Ed. Guadalupe. Bogotá-Colombia, pp. 329-343.
- Wallace, J.C. and 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.
- Waller, T. (1969). The evolution of the *Argopecten gibbus* stock (Mollusca: Bivalvia), with emphasis on the tertiary and quaternary species of eastern North America. *Journal of Paleontology*, 43: 1-125.
- Wolff M. & Wolff R. (1983). Observations on the utilization and growth of the pectinid *Argopecten purpuratus* in the fishing area of Pisco, Perú. *Bol. Inst. Mar Perú*. 7(6): 197-235.
- Wolff M. (1985). Abundancia masiva y crecimiento de pre-adultos de la concha de abanico peruana (*Argopecten purpuratus*) en la zona de Pisco bajo condiciones de "El Niño" 1983. pp. 87-90. En: Arntz, W., A. Landa y J. Tarazona (eds.). "El Niño" y su impacto en la fauna marina. *Bol. Inst. Mar Perú-Callao*, Vol. extr.
- Wolff M. (1987). Population Dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Niño Phenomenon of 1983. *Can. J. Fish. Aquat. SCI*. 44: 1684-1691.
- Wolff M. 1988. Spawning and recruitment in the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42: 213-217.
- Wolff, M. and Mendo, J., 2000. Management of the Peruvian bay scallop (*Argopecten purpuratus*) metapopulation with regard to environmental change. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 10:117-126.
- Yamamoto, G., 1956. On the behaviour of the scallop under some environmental conditions with special reference to effects of suspended silt, lack of soluble oxygen and others on ciliary movement of gill pieces. *Japanese Journal of Ecology* 5:172-175.
- Yamamoto, G., (1960). Mortalities of the scallop during its life cycle. *Bulletin of the Marine Biological Station of Asamushi, Tdhoku University* 10:149-152.
- Yupanqui, W., Quipúzcoa, L., Marquina, R., Velazco, F., Enríquez, E., Gutiérrez, D. (2007). «Composición y distribución del macrobentos en la Ensenada de Sechura, Piura, Perú». *Revista Peruana de Biología* 14 (1): 75–85.
- Ziegler PE, Frusher SD, Johnson CR. Space–time variation in catchability of southern rock lobster *Jasus edwardsii* in Tasmania explained by environmental, physiological and density-dependent processes. *Fisheries Research*. 2003; 61(1–3):107–23.

9 ANEXOS

TABLAS

Tabla A 1. Estructura de tallas de los individuos nuevos de la isla San Lorenzo – Callao en el periodo de marzo a julio de 2016

Rango	1ra Fecha	2da Fecha	3ra Fecha	4ta Fecha
15 - 20	-	-	-	1
20 - 25	-	-	-	1
25 - 30	6	2	6	6
30 - 35	39	18	23	15
35 - 40	49	64	55	31
40 - 45	43	31	70	78
45 - 50	28	8	49	52
50 - 55	12	5	16	19
55 - 60	17	4	4	5
60 - 65	6	1	1	1
65 - 70	3	-	-	-
Total	203	133	224	209
Media	40.66	39.54	41.90	42.99
Desviación estándar	8.85	6.03	6.16	6.40
CV %	21.77	15.25	14.70	14.89

Tabla A 2. Estructura de tallas de los individuos recapturados de la isla San Lorenzo – Callao en el periodo de abril a julio de 2016

Rango	1ra Recaptura	2da Recaptura	3ra Recaptura
35 - 40	3	7	-
40 - 45	7	27	5
45 - 50	7	10	14
50 - 55	2	2	10
55 - 60	1	2	4
60 - 65	-	1	-
65 - 70	1	-	1
Total	21	49	34
Media	46.35	43.96	50.17
Desviación estándar	7.58	4.77	5.37
CV %	16.35	10.85	10.70

	Fecha de marcaje	Nro de individuos	Fecha de recaptura	Nro de individuos
San Lorenzo	21-03-16	203	28-04-16	21
	28-04-16	133	09-06-16	49
	09-06-16	124	25-07-16	34
	25-07-16	209		
Constante	01-04-16	981	13-05-16	19
			24-06-16	259
			12-08-16	200

Tabla A 3. Estructura de tallas de los individuos marcados y recapturados de Constante, Bahía de Sechura – Piura en el periodo de abril a agosto de 2016.

Rango	1ra Fecha	2da Fecha	3ra Fecha	4ta Fecha
30 - 35	-	-	-	-
35 - 40	4	-	-	-
40 - 45	49	-	-	-
45 - 50	244	1	-	-
50 - 55	468	6	1	-
55 - 60	199	10	8	-
60 - 65	17	2	66	1
65 - 70	-	-	130	17
70 - 75	-	-	52	68
75 -80	-	-	2	87
80 - 85	-	-	-	26
85 - 90	-	-	-	1
Total	981	19	259	200
Media	51.96	55.89	67.02	75.6
Desviación estándar	4.11	3.15	3.69	3.89
CV %	7.91	5.64	5.51	5.15

Tabla A 4. Tasas de crecimiento por estructura de tallas promedios de los individuos recapturados de la isla San Lorenzo – Callao, durante las tres fechas de recaptura durante el periodo de estudio desde marzo a julio del 2016.

San Lorenzo – Otoño I (21 – 03 – 16 al 28 – 04 – 16)				
Rangos de tallas (mm)	N° datos	TC		
		Media	SD	CV
30 - 35	1	-	-	-
35 - 40	6	4,77	1,81	37,95
40 - 45	7	3,67	1,43	38,96
45 - 50	4	2,88	1,26	43,75
50 - 55	-	-	-	-
55 - 60	-	-	-	-
60 - 65	-	-	-	-
65 - 70	1	2,13	-	-
Total	20	-	-	-

San Lorenzo – Otoño II (28 – 04 – 16 al 09 – 06 – 16)				
Rangos de tallas (mm)	N° datos	TC		
		Media	SD	CV
30 - 35	-	-	-	-
35 - 40	19	2,96	1,81	61,15
40 - 45	15	2,91	1,43	49,14
45 - 50	2	2,77	1,26	45,49
50 - 55	3	1,02	0,75	73,53
55 - 60	-	-	-	-
60 - 65	-	-	-	-
65 - 70	-	-	-	-
Total	40	-	-	-

San Lorenzo – Invierno (09 – 06 – 16 al 25 – 07 -16)				
Rangos de tallas (mm)	N° datos	TC		
		Media	SD	CV
30 - 35	-	-	-	-
35 - 40	3	5,38	1,41	26,21
40 - 45	13	6,09	1,03	16,91
45 - 50	11	5,91	1,31	22,17
50 - 55	3	6,21	0,69	11,11
55 - 60	1	2,30	-	-
60 - 65	1	4,43	-	-
65 - 70	-	-	-	-
Total	31	-	-	-

Tabla A 5. Tasas de crecimiento por estructura de tallas promedios de los individuos recapturados de Constante, bahía de Sechura - Piura, durante las dos fechas de recaptura durante el periodo de estudio desde abril a agosto del 2016.

Constante – Otoño (01 – 04 – 16 al 13 – 05 -16)				
Rangos de tallas (mm)	N° datos	TC		
		Media	SD	CV
30 - 35	-	-	-	-
35 - 40	2	4,64	3,15	67,88
40 - 45	3	4,29	2,61	62,70
45 - 50	8	4,64	2,38	51,29
50 - 55	5	5,38	1,44	26,77
55 - 60	-	-	-	-
60 - 65	-	-	-	-
65 - 70	-	-	-	-
Total	18	-	-	-

Constante – Invierno (24 – 06 – 16) al (07 – 08 – 16)				
Rangos de tallas (mm)	N° datos	TC		
		Media	SD	CV
55 – 60	-	-	-	-
60 – 65	5	4,95	1,44	29,09
65 – 70				
70 – 75				
75 – 80				
80 – 85				

Tabla A 6. Distribución porcentual de estadios de madurez sexual por fechas en la isla San Lorenzo - Callao.

Madurez gonadal/Fechas	21-03-16	%	28-04-16	%	09-06-16	%	25-07-16	%
Inmaduro (I)	4	13.33	-	-	-	-	4	10.53
Maduro(II)	25	83.33	28	100	53	86.89	34	89.47
Desove(III)	1	3.33	-	-	6	9.84	-	-
Desovado (IV)	-	-	-	-	2	3.28	-	-
Reposo(V)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	30	100	28	100	61	100	38	100

Tabla A 7. Distribución porcentual de estadios de madurez sexual por fechas en la Constante, Bahía de Sechura – Piura.

Madurez gonadal/Fechas	01-04-16	%	13-05-16	%	24-06-16	%	12-08-16	%
-------------------------------	-----------------	----------	-----------------	----------	-----------------	----------	-----------------	----------

Inmaduro (I)	-	-	-	-	-	-	-	-
Maduro(II)	-	-	6	17.65	1	3.03	20	40
Desove(III)	-	-	8	23.53	15	45.45	24	48
Desovado (IV)	-	-	19	55.88	10	30.30	5	10
Reposo(V)	-	-	1	2.94	7	21.21	1	2
Total	-	-	34	100	33	100	50	100

Tabla A 8. Índice gonado – somático (IGS) y factor de condición (FC) por rango de tallas para *Argopecten purpuratus* en cada fecha para la zona de la isla de San Lorenzo – Callao.

	Rango de tallas	Nro de datos	IGS	FC
I	21-30	1	-	-
	31-40	8	12.71 ± 2.73	19.41 ± 1.53
	41-50	6	13.41 ± 3.38	18.90 ± 1.92
	51-60	9	15.31 ± 2.95	18.98 ± 0.75
	61-70	3	16.54 ± 3.13	19.13 ± 1.53
	71-80	1	-	-

	Rango de tallas	Nro de datos	IGS	FC
II	31-40	16	9.99 ± 2.68	28.66 ± 10.46
	41-50	34	25.76 ± 11.73	22.34 ± 6.06
	51-60	7	26.54 ± 2.76	23.49 ± 2.76
	61-70	4	27.4 ± 2.30	19.88 ± 5.09

	Rango de tallas	Nro de datos	IGS	FC
III	21-30	2	9.87 ± 2.68	22.52 ± 0.31
	31-40	15	9.51 ± 1.63	22.37 ± 1.51
	41-50	19	9.44 ± 1.00	20.96 ± 1.89
	51-60	2	10.77 ± 1.46	23.16 ± 1.17

Tabla A 9. Índice gonado – somático (IGS) y factor de condición (FC) por rango de tallas para *Argopecten purpuratus* en cada fecha para la zona de Constante, bahía de Sechura – Piura.

	Rango de tallas	Nro de datos	IG	FC
I	51-60	2	20.77 ± 1.30	17.08 ± 0.39
	61-70	32	12.21 ± 3.08	16.26 ± 0.70

	Rango de tallas	Nro de datos	IG	FC
II	51-60	2	11.23 ± 4.11	18.19 ± 0.25
	61-70	20	13.37 ± 2.63	16.73 ± 1.40
	71-80	11	12.01 ± 5.54	17.37 ± 0.90

	Rango de tallas	Nro de datos	IG	FC
III	61-70	10	12.2 ± 4.49	7.62 ± 1.20
	71-80	35	15.67 ± 2.85	7.55 ± 0.65
	81-90	5	14.51 ± 2.79	7.09 ± 0.58

Tabla A 10. Índice gonado – somático y factor de condición en las dos zonas de estudio, donde SL: San Lorenzo y C: Constante, en sus respectivas fechas de recaptura.

Fechas	Nro de datos		IGS		FC	
	SL	C	SL	C	SL	C
I	28	34	12.71 ± 3.62	13.94 ± 3.22	16.31 ± 1.37	19.11 ± 1.44
II	61	33	12.79 ± 3.84	21.93 ± 11.41	17.03 ± 1.67	23.97 ± 7.76
III	38	50	14.86 ± 3.45	9.56 ± 1.35	19.00 ± 1.90	21.72 ± 1.89

FIGURAS

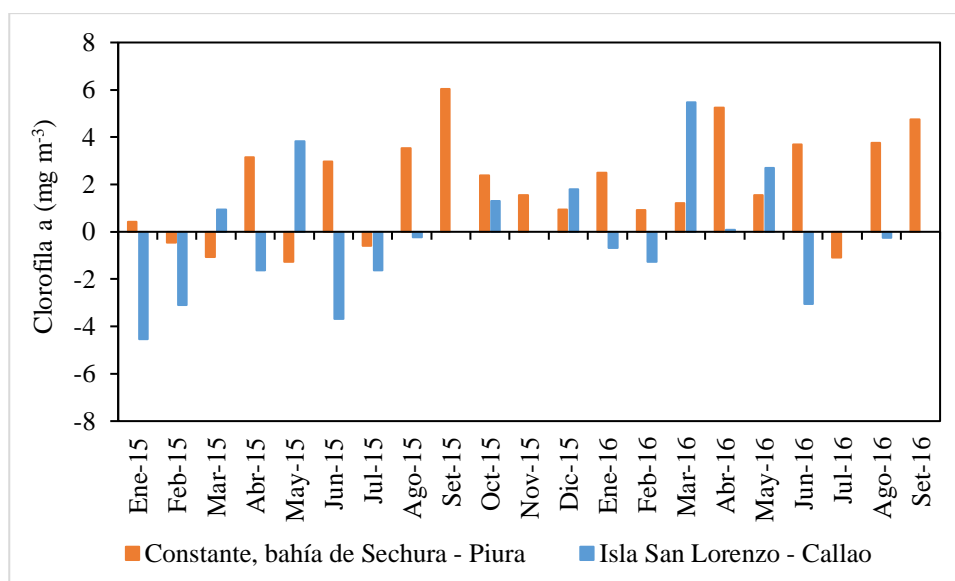
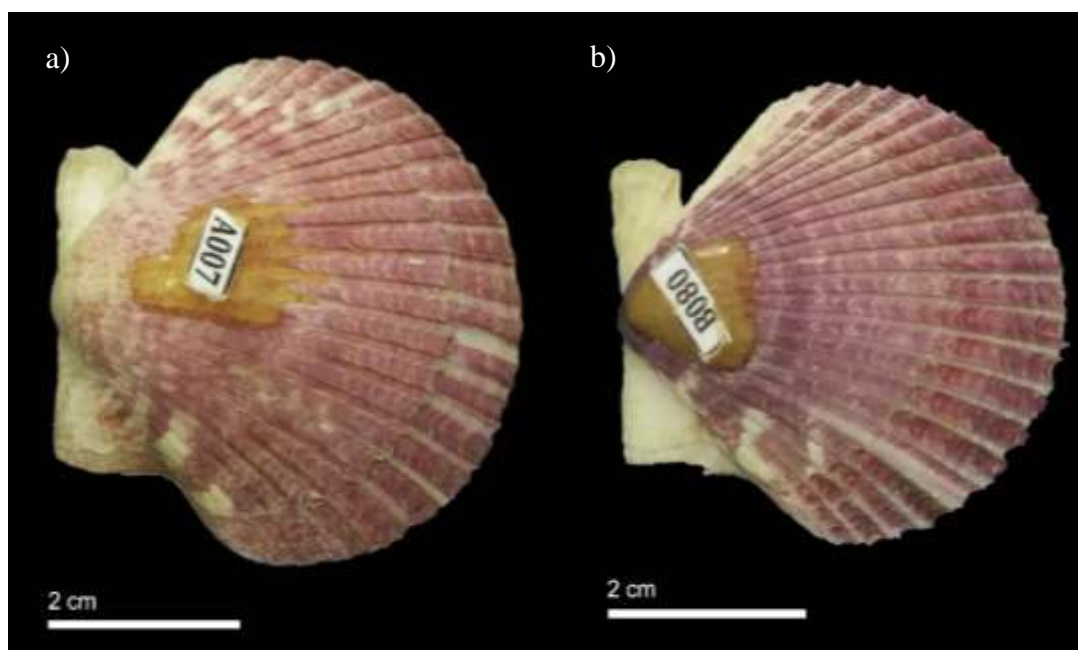


Figura F 1. Promedio mensual de las anomalías de la clorofila a satelital (mg m^{-3}) en la zona de la isla San Lorenzo – Callao y Constante, bahía de Sechura - Piura de enero del 2015 hasta octubre del 2016.



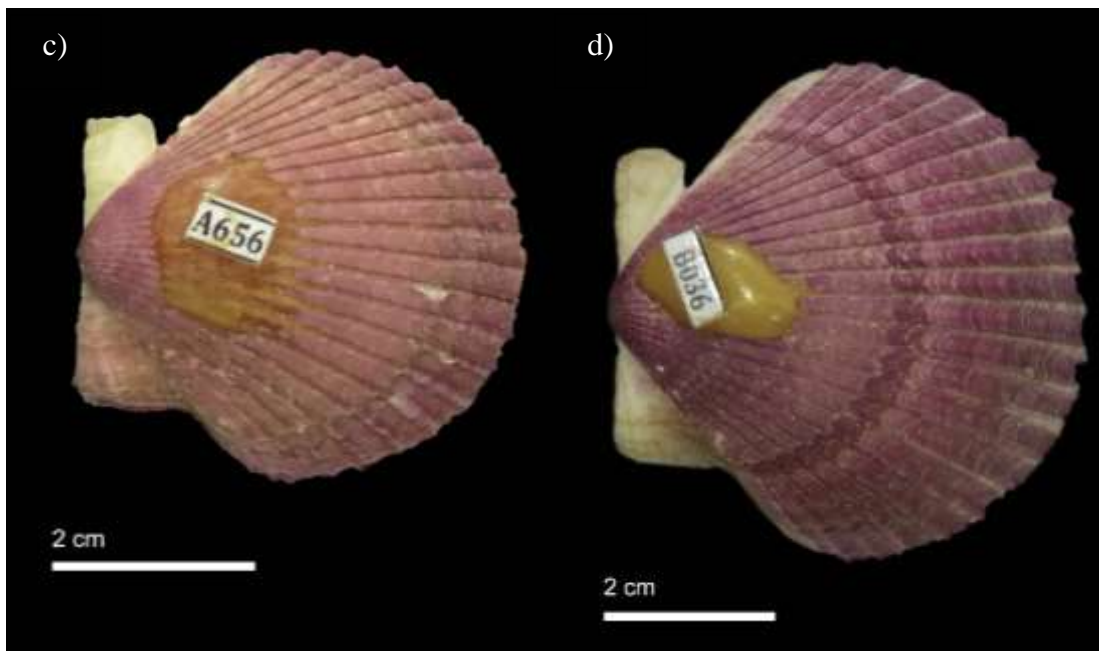


Figura F 2. Individuos con calceína a los que se les realizó conteo de estrías formadas y estimación de micro - incrementos en la zona de isla San Lorenzo – Callao, donde la figura **a,b y c** es de la fecha de recaptura del 09-06-2016 y la figura **d** es de la fecha de recaptura del 25-07-2016.

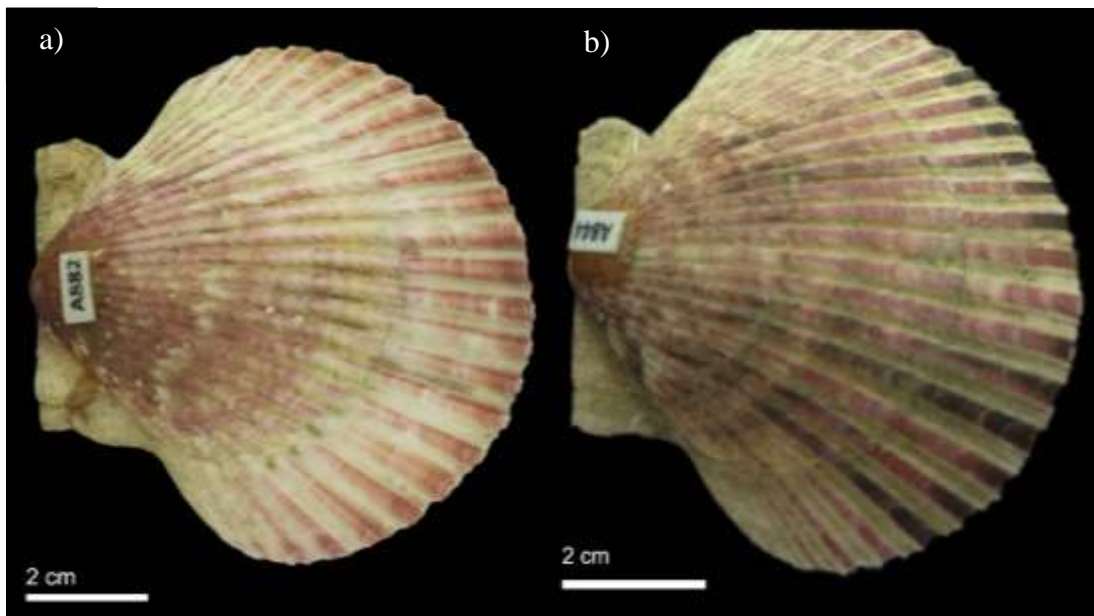


Figura F 3. Individuos con calceína a los que se les realizó conteo de estrías formadas y estimación de micro - incrementos en la zona de isla San Lorenzo – Callao, donde la figura **a** es de la fecha de recaptura del 24-06-2016 y la figura **b** es de la fecha de recaptura del 07-08-2016.

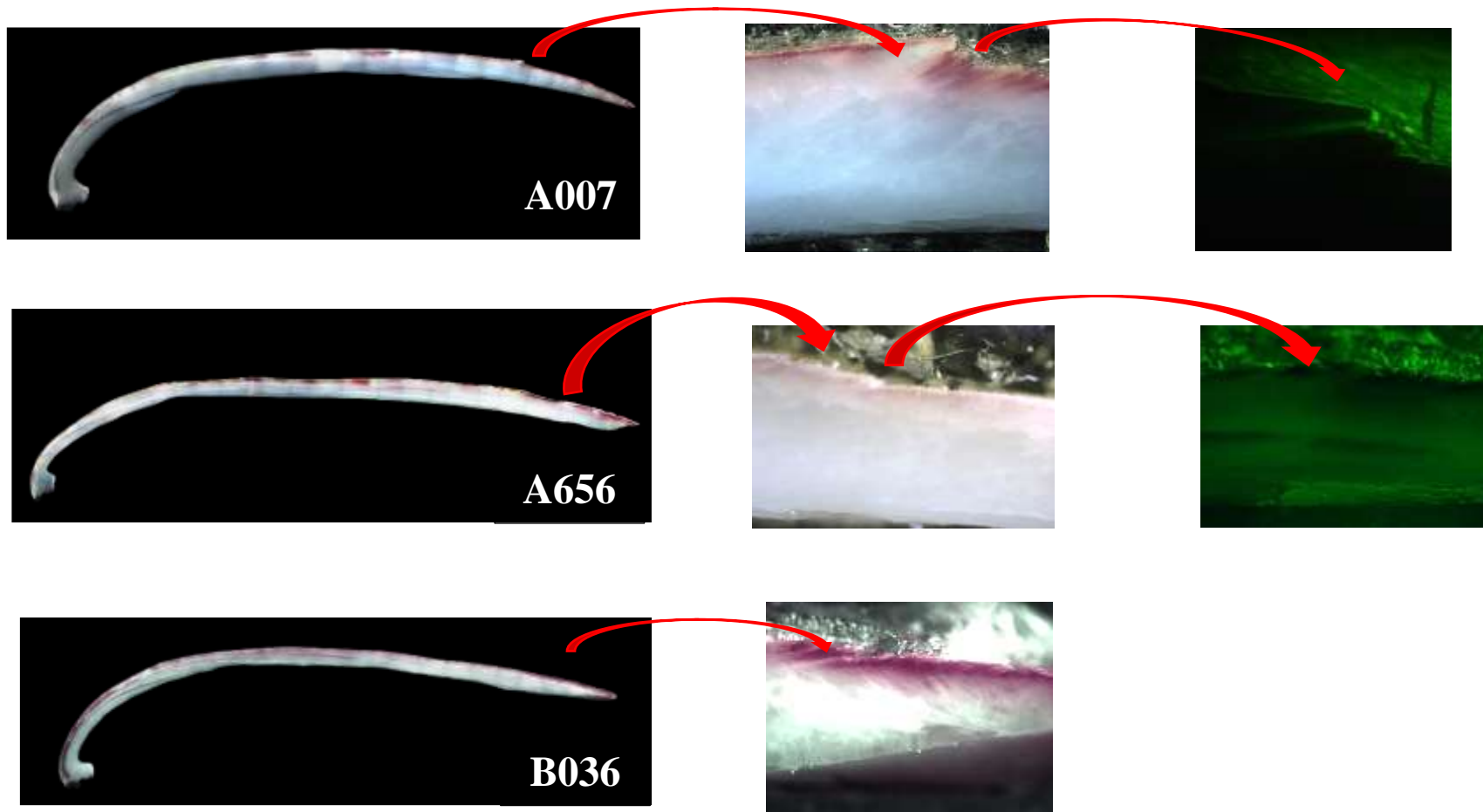


Figura F 4. Individuos marcados con calceína donde la primera fila es la reconstrucción de toda la concha a un 2x, luego un acercamiento de 4x a la zona donde se ve una marca de estrés, donde luego se activó la luz fluorescente para la verificación de la marca de calceína, todos los individuos son de la zona de San Lorenzo.