



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
ESCUELA DE POSGRADO VICTOR ALZAMORA CASTRO

ASENTAMIENTO Y RECLUTAMIENTO DE
POLIQUETOS BENTÓNICOS EN LA
PLATAFORMA CONTINENTAL FRENTE A
CALLAO DESDE VERANO A INVIERNO DE
2015



TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DEL MAR

ANALÍ JIMÉNEZ CAMPEÁN

LIMA - PERÚ

2016

ASESOR DE LA TESIS

Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar

Coordinador del Programa de la Maestría en Ciencias del
Mar - Universidad Peruana Cayetano Heredia

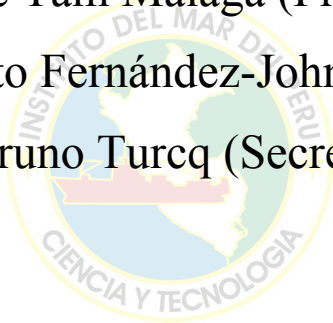
Director General de Investigaciones Oceanográficas y
Cambio Climático - Instituto del Mar del Perú

Jurado evaluador

Dr. Jorge Tam Málaga (Presidente)

M.Sc. Ernesto Fernández-Johnston (Vocal)

Dr. Bruno Turcq (Secretario)



AGRADECIMIENTOS

La realización y culminación de esta tesis fueron posibles gracias a la beca, dentro del financiamiento para estudios de posgrado otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) del Ministerio de Educación del Perú.

Mil gracias al Dr. Dimitri Gutiérrez por sus críticas constructivas, constante seguimiento y empuje en la realización de esta tesis. Así mismo, a los laboratorios de la Dirección General de investigaciones en Oceanografía y Cambio Climático del Instituto del Mar del Perú, en el marco del proyecto “Estudio Integrado del Afloramiento Costero frente a Perú”. Al laboratorio de Química y Geología, por permitirme usar sus instalaciones y enseñanza en los análisis de las muestras y datos. En especial al apoyo de Wilson Carhuapoma y Tony Anculle. Al laboratorio de Zooplancton, por permitir realizar mis mediciones y fotografías.

A los amigos del laboratorio de Bentos Marino, Luis Quipúzcoa, Robert Marquina, Victor Aramayo, Jorge Cardich y Edson Gómez, por el constante apoyo y consejos en todo el desarrollo de esta investigación. A Dennis Romero por la compañía y amistad durante el arduo trabajo de laboratorio.

Muchas gracias a los viejos, nuevos amigos y todos los compañeros que esta maestría me permitió conocer: Luis Lau, Carlos Calvo, Claudia Tejada, Criscely Luján, Adelina Castillo y Claudia Jacobo, con quienes descubrimos el significado de la amistad asociado a los altos niveles de estrés. A mis amigos y colegas san-marquinos: Lesly Llaja, André Ampuero, Remy Canales y Luis Aguirre por la ayuda taxonómica, estadística, consejos y confianza. A Silvia Valenzuela y Maricell Armas, por el empuje, ánimos y amistad sincera.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi familia, a mis padres, Rita y Carlos, por la constante enseñanza a cerca de perseguir las metas de vida, a mis hermanos y entorno cercano: Judith, Frank, William, Janet, Tania y mi pequeño Lucas, por el amor y comprensión, en esta carrera de preguntas y búsqueda de respuestas.

RESUMEN

La diversidad en los estadios de desarrollo de los poliquetos bentónicos fue estudiada en un perfil batimétrico de la plataforma continental central frente a Callao (Perú, 12°S) del verano al invierno del 2015, con el objetivo de determinar el asentamiento de larvas y reclutamiento de poliquetos bentónicos, bajo la influencia de los factores abióticos del agua y sedimento: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto de fondo, sulfuro de hidrógeno en agua intersticial, fitopigmentos totales, materia orgánica total y biopolímeros lábiles. Se encontró un total de 25 especies, pertenecientes a 15 familias. La familia Spionidae presentó la mayor diversidad de larvas (06 especies), seguida de la familia Pilargidae (03 especies). Las larvas de Magelonidae fueron dominantes en verano y otoño. La disponibilidad larval en la capa de fondo estuvo asociada al régimen de oxigenación en el gradiente batimétrico. El número de larvas de poliquetos disminuyó desde el ambiente somero hacia la plataforma externa. Asimismo, la abundancia total de larvas de poliquetos y la abundancia de larvas de *Magelona phyllisae* se redujeron con el aumento de la temperatura y de la profundidad de la oxiclina durante el período de estudio, caracterizado por la influencia del evento El Niño 2015 - 2016. Por otro lado, se encontró que el número de especies de poliquetos juveniles y adultos fue mayor en ambientes someros, con mayor grado de oxigenación pero también condiciones más reductoras en el sedimento. No obstante, el éxito del reclutamiento, inferido a partir de la abundancia de individuos adultos y la proporción entre el número de especies en estadio adulto y el estadio juvenil fueron mayores en la plataforma externa deficiente en oxígeno, lo cual fue explicado principalmente por la contribución de *Paraprionospio pinnata*, especie dominante y típica de sedimentos de la plataforma continental.

Palabras clave: Poliquetos bentónicos, disponibilidad larval, reclutamiento, oxígeno disuelto, El Niño

ABSTRACT

The diversity at development stages of benthic polychaetes was studied in a bathymetric transect across the continental shelf off Callao (Peru, 12°S), during summer to winter 2015. The goal was to determine the larval settlement and recruitment of this community, related to abiotic factors of water and sediment (temperature, salinity, dissolved oxygen, porewater hydrogen sulfide, total phytopigments, total organic matter and labile biopolymers). There were found 25 species from 15 families. The family Spionidae was the most diverse (06 species), followed by Pilargidae (03 species). Larvae of Magelonidae were numerically dominant in summer and autumn. Near-bottom, the larval supply was associated the oxygenation regime associated to bathymetry. The number of species of polychaete larvae decreased from shallow environments to the outer continental shelf. In addition, the total abundance of polychaete larvae and *Magelona phyllisae* larvae diminished with the increase of temperature and the deepening of the oxycline during the study period, associated with the impact of the 2015-16 El Niño event. On the other hand, it was found a larger number of species of juvenile and adult polychaetes in the shallower habitats, which were exposed to more oxygenation but also to more reducing conditions in the sediments. Nevertheless, the recruitment success, as inferred as by the abundance of adult individuals and the ratio of the number of adult species to juvenile species, was greater in the oxygen-deficient outer shelf, which is explained by the contribution of *Paraprionospio pinnata*, the dominant species of the continental shelf sediments.

Key words: Benthic polychaetes, larval supply, recruitment, dissolved oxygen, El Niño

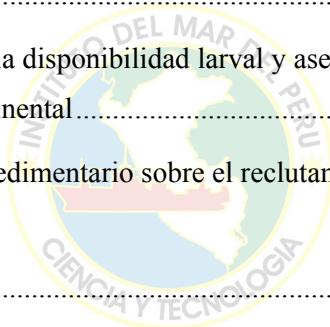
TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1 Planteamiento del problema	3
2.2. Marco teórico	4
2.2.1. Aspectos generales del macrobentos de la plataforma continental	4
2.2.2. Desarrollo larval de los organismos bentónicos	5
2.2.3. Conectividad de poblaciones	8
2.2.4. Reclutamiento	11
2.3. Factores que modulan los cambios en las comunidades bentónicas de la plataforma continental peruana	13
2.4. Justificación del estudio	15
2.5. Objetivos	16
2.5.1. Objetivo general	16
2.5.2. Objetivos específicos	16
2.6. Hipótesis	17
3. METODOLOGÍA	18
3.1. Diseño de estudio	18
3.1.1. Tipo de estudio	18
3.1.2. Población en estudio	18
3.2. Operacionalización de las variables	18
3.2.1. Variables independientes	18
3.2.2. Variables dependientes	19
3.3. Área de estudio	20
3.4. Métodos de muestreo	22
3.4.1. Muestreo oceanográfico	22



3.4.2.	Muestreo sedimentológico y de agua intersticial	22
3.4.3.	Diseño de muestreo de poliquetos bentónicos.....	23
3.5.	Análisis de laboratorio	25
3.5.1.	Análisis de clorofila-a de la columna de agua.....	25
3.5.2.	Análisis de variables sedimentológicas	26
3.5.3.	Análisis biológico.....	27
3.6.	Procesamiento de datos	28
3.6.1.	Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en columna de agua.....	28
3.6.2.	Alimento biodisponible del sedimento: Materia orgánica lábil y Fitopigmentos	28
3.6.3.	Sulfuro de hidrógeno en el agua intersticial	29
3.6.4.	Poliquetos bentónicos.....	29
3.6.5.	Invertebrados acompañantes en el muestreo de columna y sedimento	30
3.7.	Plan de análisis	30
4.	RESULTADOS	33
4.1.	Condiciones oceanográficas de la columna de agua	33
4.1.1.	Oxígeno disuelto, temperatura y salinidad.....	33
4.1.2.	Nutrientes y clorofila -a.....	38
4.2.	Oxigenación de fondo y condiciones biogeoquímicas en el sedimento superficial	41
4.2.1.	Oxígeno disuelto de fondo	41
4.2.2.	Sulfuros del agua intersticial	42
4.2.3.	Materia orgánica total y fitopigmentos	43
4.2.4.	Materia orgánica biodisponible	45
4.3.	Composición y abundancia del zooplancton de la columna de agua: Holoplancton y meroplancton.....	48
4.3.1.	Capa superficial.....	48
4.3.2.	Capa de fondo.....	49
4.4.	Poliquetos bentónicos en la columna de agua y sedimentos	51

4.4.1.	Estadio larval.....	53
4.4.2.	Estadio juvenil.....	58
4.4.3.	Estadio adulto.....	61
4.4.4.	Estructura de tallas de larvas de poliquetos bentónicos dominantes.....	65
4.5.	Relaciones de los parámetros comunitarios de poliquetos bentónicos con los factores ambientales.....	68
4.5.1.	Disponibilidad de larvas en el fondo.....	68
4.5.2.	Supervivencia de juveniles y adultos.....	73
5.	DISCUSIÓN.....	79
5.1.	Condiciones oceanográficas durante el periodo de estudio.....	79
5.2.	Biodiversidad de poliquetos bentónicos en la columna de agua y sedimento de la plataforma continental central.....	82
5.3.	Factores que influyen la disponibilidad larval y asentamiento de los poliquetos bentónicos en la plataforma continental.....	84
5.4.	Influencia del ambiente sedimentario sobre el reclutamiento de los poliquetos bentónicos	88
6.	CONCLUSIONES.....	90
7.	RECOMENDACIONES.....	91
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
9.	ANEXOS.....	106



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de modos de reproducción de poliquetos, basados en el criterio del destino de la ova y el tipo de desarrollo larval. Las abreviaciones para cada modo son usados en el texto (Wilson, 1991).	7
Tabla 2. Localización de las estaciones de muestreo de poliquetos bentónicos frente a Callao. Est = Estación; Prof = Profundidad; DC = Distancia a la costa; C = Cerca a la costa, PI = Plataforma interna, PE = Plataforma externa.....	21
Tabla 3. Parámetros hidrográficos de la columna de agua (a 10 metros y al fondo) medidos con el equipo CTD y en laboratorio, sobre las estaciones y periodo de estudio en la plataforma continental frente al Callao.	34
Tabla 4. Parámetros del sedimento superficial, cantidad de fitopigmentos (FPT), razón Cl-a/Feop, porcentaje de CaCO ₃ y CO ₂ , y sulfuro en el agua intersticial en las estaciones de la plataforma continental frente a Callao.....	47
Tabla 5. Lista de familias y especies de poliquetos bentónicos registrados en la columna de agua y sedimento durante los meses de estudio, en el margen continental frente a Callao.	52
Tabla 6. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias entre la densidad (N) y número de especies (S) de poliquetos juveniles en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.	60
Tabla 7. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias de la comunidad de poliquetos juveniles en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.	60
Tabla 8. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias entre la densidad (N) y riqueza de especies (S) de poliquetos bentónicos adultos en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.....	64
Tabla 9. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias de la comunidad de poliquetos bentónicos adultos en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.	64

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de las larvas de superficie (10m) y de fondo en los meses de febrero, abril, junio y agosto en el margen continental frente a Callao..... 66

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de las larvas de superficie (10m) y de fondo en los meses de febrero y abril en el margen continental frente a Callao. 67

Tabla 12. Correlaciones Spearman entre los parámetros ambientales con la abundancia de las larvas de poliquetos cerca al fondo. Prof. oxiclina: Profundidad de la Iso-oxígena; ODF: oxígeno disuelto de fondo; TempF: temperatura de fondo; SalF: salinidad de fondo; Cl-a. Sed: Clorofila –a de sedimento superficial; S: riqueza de especies; N: abundancia; H': índice de diversidad de Shannon. Valores de significancia después de la corrección por comparaciones múltiples ($p < 0.05$): coeficiente de correlación: r..... 69

Tabla 13. Resultados del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). Puntajes para las variables ordinales y las especies de larvas de poliquetos en el fondo de superficie y los ejes CCA 1 y CCA 2..... 71

Tabla 14. Correlaciones de Spearman entre los parámetros ambientales con las abundancias totales y específicas de los poliquetos juveniles y adultos. MOT: Materia orgánica total; ODF: oxígeno disuelto de fondo; Cl-a: Clorofila-a de sedimento superficial; H₂S: Sulfuros del primer centímetro; ΣH₂S_[0-2cm]: inventario de sulfuros de 0 a 2cm; Fitop: Cl-a + Feopigmentos; LIP: Lípidos totales; CHOLa: Carbohidratos lábiles; PRT La: Proteínas lábiles; S: riqueza de especies; N: abundancia; H': índice de diversidad de Shannon, S(A/J): razón entre la riqueza de adultos y juveniles. Valores de significancia después de la corrección por comparaciones múltiples ($p < 0.05$): coeficiente de correlación: r. 74

Tabla 15. Resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA). Puntajes para las variables ordinales y los ejes PC1 y PC2. 76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de desarrollo larval planctotrófico (arriba) y lecitotrofico (abajo) de cada uno de los grupos Echinoidea (**A:** *Eucidaris metulmia*, **B:** *Heliocidaris erythrogamma*), Holothurioidea (**C:** *Holothuria arenicola*, **D:** *Psolus phantapus*), Asteroidea (**E:** *Asterope carinifera*, **F:** *Hemicia sanguinolenta*), Nemertinea (**G:** *Pilidium magnum*, **H:** *Oerstedia dorsalis*) y **Polychaeta** (**I:** *Nereis dumerili* (**tipo de larva pequeña**) y **K:** *Nereis dumerili* (**tipo larval grande**)). La escala abajo va de **A-G**, la escala arriba derecha va de **I-K** (Thorson (1950))...... 6

Figura 2. a) Esquema generalizado de la posible historia de vida de anélidos (Qian, 1999). **b)** Ciclo de vida de *Platynereis*, Nereididae (Saudemont *et al.*, 2008). 8

Figura 3. Representación esquemática del desarrollo ontogenético de la macrofauna infaunal en el ciclo de vida bentoplanctónico (Bachelet, 1990). 9

Figura 4. Tres vías de escape de las restricciones de dispersión en los ciclos de vida complejos en Polychaeta. Primera columna; la ruta de desarrollo, ejemplo *Streblospio shrubsolii*; el primer estado bentónico dejando el tubo materno (Cazaux, 1985). En la columna media: conservación del ciclo de vida bentoplanctónico con desarrollo de adaptaciones en el comportamiento larval. 1: *Sabellaria alveolata*, larva que debe retornar a los arrecifes construidos por los adultos; 2: Larva de *Lanice cochilega* (Terebellidae, con periodo de vida planctónico largo). Tercera columna: evolución hacia un ciclo de vida holoplanctónico (Tomopteridae). (Braud y Duchene, 1995). 10

Figura 5. Restricciones sobre la vida del estadio adulto y sus consecuencias sobre la dispersión larval. La distribución geográfica de parte del ciclo de vida de los adultos bentónicos se explica en términos de diferentes tipos de límites. Estos límites actúan en muchos niveles influenciados por la disminución espacial; 1: parámetros climáticos (P1 y P2), que actúa o sobre una larga región geográfica, que define cuatro áreas (A, B, C y D); el completo ciclo de vida es posible solo en A, pero no necesariamente sobre toda esta área; 2: parámetros de competitividad, edáficos, o físicos (especialmente la luz) (P3 y P4) que actúan sobre distancias medias y controlan el hábitat de los adultos; 3: parámetros específicos (P5) actuando sobre áreas localizadas y enlazados con las condiciones hidrodinámicas. 13

Figura 6. Promedio anual de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) frente al Perú. La escala de colores representa el espesor (m) que alcanza en esa región. Las isolíneas representan la profundidad

del borde superior de la ZMO en intervalos de 50 m. La gráfica muestra las variaciones latitudinales y costa-mar afuera de la ZMO que alcanza su mayor espesor en la zona central (hasta 700 m), siendo más somera igualmente en esta área y a medida que se acerca a la costa. (IMARPE, 2014). 14

Figura 7. Estaciones de muestreo sobre la plataforma continental frente a Perú central (Callao). Estaciones E0, E0', E2 y E5..... 21

Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreo en la Estación E0 y E0' durante las campañas realizadas frente a Callao en 2015..... 22

Figura 9. Red Baby Bongo adaptada a un sistema de cierre para la toma de muestras de meroplankton marino (larvas de poliquetos bentónicos). Adaptado de Wiebe y Benfield (2003)..... 24

Figura 10. Imagen del multisacatestigo (MUC) para la extracción de los testigos de sedimento y esquematización de los niveles de corte de los niveles utilizados para la colecta de: **a)** poliquetos juveniles bentónicos (meiofauna) y **b)** poliquetos adultos (muestreo alternativo)..... 25

Figura 11. Secciones verticales de temperatura (°C) del agua de mar, durante los muestreos en la E0 (negro), E2 (azul), E5 (rojo), durante los meses de estudio: a) febrero, b) abril, c) junio y d) agosto. 35

Figura 12. Diagramas T-S durante los meses de estudio **a)** febrero, **b)** abril, **c)** junio y **d)** agosto; delimitando la presencia de las masas de agua (Rectángulos): Aguas Costeras Fría (ACF), Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS)..... 36

Figura 13. Secciones verticales de oxígeno disuelto (mL/L) del agua de mar, durante los muestreos en la E0 (negro), E2 (azul), E5 (rojo), durante los meses de estudio: a) febrero, b) abril, c) junio y d) agosto. 37

Figura 14. Distribución Vertical de Nutrientes: **a, e, i, m)** Fosfatos (μM); **b, f, j, n)** Silicatos (μM), **c, g, k, o)** Nitratos (μM) y **d, h, i, p)** Clorofila $-a$ durante los meses de febrero, abril, junio y agosto; sobre el perfil del margen continental frente a Callao..... 41

Figura 15. Variación espacio – temporal del oxígeno disuelto en el fondo del agua de mar (mL/L) en la E0, E2 y E5, durante los meses de estudio (febrero, abril, junio y agosto).	42
Figura 16. Distribución temporal del promedio de sulfuros (μM) \pm desviación estándar, en el primer centímetro de agua intersticial y el Inventario de sulfuros (0-2cm) del sedimento (nmol/cm^2), frente a Callao de febrero a agosto de 2015, a) E0; b) E2 y c) E5. ND: No determinado.	43
Figura 17. Distribución espacio-temporal de: a) MOT (%); b) promedio de Clorofila –a vs. feopigmentos ($\mu\text{g}/\text{g}$) y c) razones promedio de clorofila –a: Feopigmentos \pm desviación estándar, en el primer centímetro de sedimento, en las estaciones del margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	45
Figura 18. Distribución temporal de: a) PRT lábil (mg/g); b) CHO lábil (mg/g) y c) Lípidos totales (mg/g), del primer centímetro de sedimento, en las estaciones del margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	46
Figura 19. Abundancia relativa de los grupos taxonómicos de la comunidad del zooplancton, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses sobre el margen continental frente a Callao.	51
Figura 21. Abundancia relativa de larvas de poliquetos, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	56
Figura 20. Abundancia relativa de las familias de poliquetos bentónicos, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	56
Figura 22. Variación temporal de la abundancia y riqueza de especies del estadio larval de poliquetos bentónicos a) en la superficie y b) fondo, por estaciones en el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	57
Figura 23. Abundancia relativa de poliquetos bentónicos juveniles por estación y meses de muestreo sobre el margen continental frente a Callao. ND: No Determinado.	59

Figura 24. a) Abundancia y b) riqueza de poliquetos juveniles y razón entre la diversidad de estadio juvenil y larval de poliquetos bentónicos (SJ/SL) en las estaciones E0, E2 y E5 en el margen continental frente al Callao, durante el periodo de estudio.	61
Figura 25. Abundancia relativa de poliquetos bentónicos de estadio adulto por estación y durante los meses de muestreo sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.	63
Figura 26. Abundancia y riqueza de poliquetos bentónicos de estadio adulto en las estaciones E0, E2 y E5 en el margen continental frente al Callao, durante el periodo de estudio.	65
Figura 27. Estructura de tallas de <i>P. pinnata</i> , por estadios y mes de muestreo sobre el margen continental frente a Callao.....	67
Figura 28. Estructura de tallas de <i>M. phyllisae</i> , por estadios y mes de muestreo sobre el margen continental frente a Callao.....	68
Figura 29. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC, escalamientos 1 y 2). Diagrama de los ejes CCA 1 y CCA 2 basados en abundancia de las especies de larvas más importantes cercanas al fondo en las estaciones del margen continental frente a Callao; las variables ambientales se muestran adicionalmente como vectores, TF = temperatura de fondo; ODF = oxígeno disuelto de fondo; SalF=Salinidad de fondo; Cla.Sed = Clorofila –a de sedimentos; Nep. fer = <i>Nephtys ferruginea</i> ; Par pin = <i>Paraprionospio pinnata</i> ; Mag. phy= <i>Magelona phyllisae</i> ; Sabel = <i>Sabellariidae</i> ; Boc chi = <i>Boccardia chilensis</i> ; Poly = <i>Polydora</i> spp.; Spiop= <i>Spiophanes</i> sp.; Spio= <i>Spionidae</i> sp1.	72
Figura 30. Análisis de Componente Principales (PCA, escalamiento 1). Diagrama de los ejes PCA 1 y PCA 2 basados en los factores abióticos del agua de fondo sobre el margen continental frente a Callao (febrero, abril, junio y agosto, 2015). MOT= Materia orgánica total; ODF = oxígeno disuelto de fondo; PRTL= proteínas lábiles, CHOLa= carbohidratos lábiles; Cl.a = Clorofila –a; Cla.Feop = razón Clorofila – a /feopigmentos. a) PCA con todas los muestreos y b) sin el muestreo de la estación somera de agosto (E5).	77
Figura 31. a) Número de especies y b) abundancia promedio de poliquetos juveniles bentónicos entre los grupos generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao.	78

Figura 32. **a)** Número de especies y **b)** abundancia promedio de poliquetos adultos bentónicos entre los escenarios ambientales generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao. 78

Figura 33. Razón entre número de especies de poliquetos adultos y juveniles (SA/SJ) entre los escenarios ambientales generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao..... 78

Figura 34. Variabilidad temporal de **a)** la temperatura, con una isolínea gruesa correspondiente a la isoterma de 15°C y **b)** oxígeno disuelto (mL/L), con una línea gruesa que delimita el límite superior de la ZMO (OD < 0.5 mL/L) en la Estación E2 de la plataforma continental frente al Callao del año 1993 al 2015. 80

Figura 35. Serie de tiempo de **a)** MEI = Índice multivariado del ENSO, El Niño 3.4; **b)** ONI = Índice de El Niño Oceánico, El Niño 3.4; **c)** ICEN = Índice Costero El Niño, El Niño 1+2, **d)** Anomalía del nivel del mar en Galápagos y Callao; **e)** temperatura (°C), **f)** oxígeno disuelto (mL/L) de los años 2013 a 2015 de la Estación E2, frente a Callao; la línea blanca delimita las profundidades de 30m y 90m. Las fechas negras delimitan el inicio del El Niño en el año 2015..... 81

Figura 36. Promedio del contenido de oxígeno disuelto de fondo y número de especies de larvas de poliquetos en el agua de fondo en cada estación de la plataforma continental central del Perú durante el periodo de estudio. 85

1. INTRODUCCION

La estructura y la composición del bentos están influenciadas por diversos factores ambientales, tales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y propiedades del sedimento (tamaño de grano, concentración y calidad materia orgánica, etc.), entre otros (Vegas, 1971; Levin, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2008; Gooday *et al.*, 2009). En general, las especies infaunales del macrobentos pertenecen a los taxones Anellida, Mollusca, Echinodermata y Crustacea, donde los anélidos poliquetos son los organismos más abundantes y frecuentes (Levin, 2003).

La variabilidad espacial y temporal de los organismos bentónicos depende del éxito del reclutamiento, el cual está influenciado por el desarrollo ontogenético de los mismos, que puede ser por desarrollo directo o mediante un estadio larval planctónico (meroplancton). En este último caso, el éxito de supervivencia de cada etapa de desarrollo, en la columna de agua y el sedimento, afecta la dinámica, demografía y distribución de la estructura comunitaria. Pineda (2000) y Thorson (1950), argumentaron que la variabilidad del asentamiento larval permite controlar el tamaño de la población adulta, asumiendo la limitación del reclutamiento.

Las especies con ciclo de vida bentopelágico presentan varias fases críticas, como la maduración sexual de los reproductores, el desove, la fase larval planctónica, el asentamiento larval y la metamorfosis, así como los estadios post-larval y juvenil (Bachelet, 1999). Estas fases están moduladas por las condiciones abióticas de la columna de agua, como la hipoxia, que podría ser determinante sobre el asentamiento, y las condiciones de óxido reducción del sedimento, que limitarían el reclutamiento bentónico.

Gran parte de las investigaciones sobre la ecología de las comunidades bentónicas en ecosistemas altamente productivos y deficientes de oxígeno se basan en las relaciones entre los factores abióticos y atributos comunitarios de los individuos adultos (Yokoyama, 1995; Díaz y Rosenberg, 1995; Rosenberg *et al.*, 2001; Levin, 2003; Peña *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2008). Por ejemplo, es

conocido que para el margen continental peruano, intersectado por una zona de mínima de oxígeno ($OD < 0.5 \text{ mL L}^{-1}$), los poliquetos bentónicos son el grupo taxonómico dominante del macrozoobentos. La diversidad, abundancia y biomasa están moduladas principalmente por la concentración de oxígeno de fondo y la condiciones del sedimento (Gutiérrez *et al.*, 2008). Sin embargo, existen muchas interrogantes acerca del efecto de los factores abióticos en la columna de agua y sedimentos sobre el desarrollo ontogenético de los organismos bentónicos. Por ejemplo, los ambientes deficientes en oxígeno pueden desarrollar anoxia bajo ciertas condiciones y favorecer la reducción del sulfato, que puede dar lugar a concentraciones letales de sulfuro de hidrógeno (Cuomo, 1985; Levin, 1984; Helly y Levin, 2004) para larvas, individuos juveniles y/o adultos.

Esta investigación tiene como finalidad evaluar el éxito de las etapas del desarrollo biológico de los poliquetos bentónicos en relación a los factores abióticos en la columna de agua y en el sedimento, particularmente la concentración del oxígeno disuelto, la cantidad y calidad de la materia orgánica sedimentaria y las condiciones de óxido-reducción en el sedimento superficial. Para ello, el estudio se realizó en un gradiente batimétrico de la plataforma continental frente a Callao, sometido naturalmente a distintos grados de exposición a la deficiencia de oxígeno.

2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

Las investigaciones sobre el bentos en sistema de la corriente de Humboldt frente al Perú se han en estudios sobre la diversidad, abundancia y biomasa de la comunidad bentónica. Estas centrado variables son moduladas por los cambios de las condiciones abióticas, tanto en ambientes sublitorales (Tarazona *et al.*, 1988, 1996), como sobre la plataforma continental en la costa central de Perú (Levin *et al.*, 2002; Yupanqui *et al.*, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2008; Pérez, 2012; Cardich, 2013).

En la plataforma continental, es conocido que la deficiencia de oxígeno, la disponibilidad de la materia orgánica y las condiciones de óxido-reducción en los sedimentos superficiales, son los factores principales que controlan la diversidad, biomasa y composición de los poliquetos bentónicos, los cuales son dominados por especies de las familias Spionidae, Magelonidae, Paraonidae y Cirratulidae (Levin, 2003). Sin embargo, aún no se conocen completamente los mecanismos por los cuales estos factores influyen sobre las poblaciones de poliquetos durante el asentamiento larval y el reclutamiento.

En el mar peruano, son escasos los estudios sobre los estadios tempranos del bentos (Ramos, *et al.*, 1999), los cuales han sido desarrollados principalmente en relación al asentamiento. Peña *et al.* (2005, 2006) concluyeron que la variabilidad de los parámetros comunitarios de poliquetos bentónicos, está sujeta a los cambios de los factores abióticos (temperatura y oxígeno de fondo) y bióticos (competencia, depredación y facilitación); siendo posible distinguir la dinámica poblacional de las especies de ambientes hipóxicos de los de normoxia.

En este contexto, la problemática central de esta investigación es la relación entre los estadios tempranos del ciclo biológico de los poliquetos bentónicos y los factores abióticos del agua y sedimento, es decir: ¿Cuál es la influencia de los factores fisicoquímicos del agua y sedimento sobre el éxito del asentamiento larval y del reclutamiento de los poliquetos bentónicos?

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aspectos generales del macrobentos de la plataforma continental

Los organismos bentónicos son todas las especies que viven en relación íntima con el fondo, ya sea para fijarse en él, ya para excavarlo, ya para marchar sobre su superficie o para nadar en sus vecindades sin alejarse de él (Vegas, 1971). De acuerdo al tamaño del animal se puede clasificar en macrobentos a organismos cuya talla es superior a 0,5mm; a meiobentos a organismos de 0,045 a 0,5 mm y al microbentos, a tallas menores de 0,045 mm (Bachelet, 1990; Yupanqui, 2002).

El macrobentos de fondo blando es un componente importante en los ecosistemas marinos, porque puede alterar las propiedades de sedimentos por alimentación, irrigación y mediante la construcción de tubos y madrigueras. Estos organismos causan cambios en los parámetros de sedimentos tales como la porosidad, tamaño de partícula, flujos y tasas de difusión (Aller, 2001).

La distribución espacial del macrobentos está regulada por la diversidad de hábitats, generada por las condiciones oceanográficas y sedimentológicas favorables para el asentamiento y desarrollo de las especies bentónicas.

En la plataforma continental frente a Perú, la materia orgánica fresca de origen fitoplanctónico se acumula en el sedimento superficial (fitodetritus), este presenta un gradiente latitudinal creciente, donde existen mayores áreas enriquecidas orgánicamente al sur de los 8°S. Así mismo, el déficit de oxígeno se agudiza debido a la respiración de la materia orgánica, lo que genera condiciones de anoxia y producción de sulfuro de hidrógeno (H₂S). Este ambiente se encuentra influenciado por la profundidad del límite superior de la Zona mínima de oxígeno (ZMO). Estos factores ocasionan que la abundancia y la diversidad de la macrofauna bentónica disminuya (Levin, 2003; Gutiérrez, *et. al.*, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2006).

Los poliquetos son los organismos dominantes de la comunidad del macrobentos de fondo blando (Levin, 2003). El número de familias de poliquetos registrados oscila entre 84 y 87 (Fauchald, 1977;

Pettibone 1982), con más de 16000 de especies descritos (Blake, 1994). En general, los poliquetos constituyen el 35-70% de los macroinvertebrados de fondo blando, alcanzando 90% de la densidad total en los sedimentos de la plataforma continental peruana (Levin, 2003).

2.2.2. Desarrollo larval de los organismos bentónicos

Se define a la larva como el estado inmaduro de vida libre en el ambiente pelágico, diferente morfológicamente del juvenil y adulto, que termina con la metamorfosis (Bachelet, 1999). Según Thorson (1950), Wilson (1991) y Mileikovsky (1999), el desarrollo larval se puede clasificar en:

Desarrollo pelágico: la larva pasa un determinado período de tiempo en la columna de agua con o sin reservas alimenticias, dando lugar a dos subtipos de desarrollo, denominados planctotrófico y lecitotrófico (Figura 1). El desarrollo larval pelágico es el más importante ya que aproximadamente el 80% de los invertebrados marinos producen larvas con estas características (Thorson, 1964; Pawlik, 1992).

- a. **Desarrollo planctotrófico:** las larvas se alimentan activamente durante su vida pelágica de los organismos del plancton, principalmente de fito o nanoplancton; raramente de zooplancton. Este desarrollo puede ser de 2 a 3 días, o de unas pocas horas. También puede prolongarse hasta 3 meses, e incluso hasta 1 año, como en langostas (larvas phyllosoma). Según Thorson (1950), este es el patrón más común entre los invertebrados marinos, el cual puede extender el periodo de tiempo si las condiciones del sustrato para asentarse no son las favorables. Los poliquetos presentan este tipo de desarrollo larval, donde las larvas trocóforas presentan cilios que les permite movilizarse y alimentarse (Rouse, 2000).
- b. **Desarrollo lecitotrófico:** en esta etapa y durante su vida planctónica, las larvas se alimentan de sus propias reservas de yema y esto determina que el periodo de vida pelágica sea corta, en relación al desarrollo planctotrófico. La mayoría de larvas de poliquetos son lecitotróficas; sin

embargo algunos se convierten en planctotróficos en etapas larvales posteriores (Qian y Chia, 1994).

Desarrollo directo: los individuos no presentan un estadio larval, ya que las características morfológicas tempranas presentan similaridad al adulto.

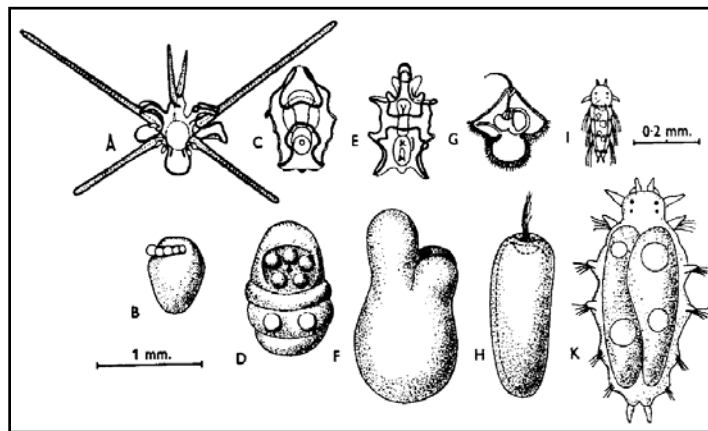


Figura 1. Tipos de desarrollo larval planctotrófico (arriba) y lecitotrófico (abajo) de cada uno de los grupos Echinoidea (A: *Eucidaris metulmia*, B: *Heliocidaris erythrogamma*), Holothurioidea (C: *Holothuria arenicola*, D: *Psolus phantapus*), Asteroidea (E: *Asterope carinifera*, F: *Hemicia sanguinolenta*), Nemertinea (G: *Pilidium magnum*, H: *Oerstedia dorsalis*) y **Polychaeta** (I: *Nereis dumerili* (**tipo de larva pequeña**) y K: *Nereis dumerili* (**tipo larval grande**)). La escala abajo va de A-G, la escala arriba derecha va de I-K (Thorson (1950).

Los poliquetos muestran una gran diversidad de características reproductivas, así, Wilson (1991) planteó una clasificación general de modos de reproducción, en donde incorpora dos aspectos de la reproducción. El primero concierne al destino del embrión, particularmente si estos son desovados libremente en el mar o presentan algún tipo de protección o encapsulación. El segundo aspecto concierne al tipo de desarrollo larval: planctotrófico, lecitotrófico o directo (Tabla 1). Esta clasificación y compilación confirmó la diversidad de modos reproductivos dentro de clases, órdenes, familias, géneros y/o especies.

Tabla 1. Lista de modos de reproducción de poliquetos, basados en el criterio del destino de la ova y el tipo de desarrollo larval. Las abreviaciones para cada modo son usados en el texto (Wilson, 1991).

Abreviación	Descripción	Especie (Familia)
FS-PLK	Libre desove con larva planctotrófica	<i>Glycera convoluta</i> (Glyceridae), <i>Nephtys caeca</i> (Nephtyidae), <i>Prionospio cirrifera</i> (Spionidae), <i>Sabellaria albeolata</i> (Sabellariidae), <i>Mediomastus ambiseta</i> (Capitellidae), <i>Halosydna johnsoni</i> (Polynoidae), <i>Spiophanes kroyeri</i> (Spionidae)
FS-LEC	Libre desove con larva lecitotrófica	<i>Arenicola claparedii</i> (Arenicolidae), <i>Notomastus latericeus</i> (Capitellidae), <i>Platynereis canaliculata</i> (Nereididae), <i>Tharyx marioni</i> (Cirratulidae)
FS-DIR	Libre desove con desarrollo bentónico directo	<i>Hesionides arenaria</i> (Hesianadae), <i>Tharyx marioni</i> (Cirratulidae), <i>Nereis pelágica</i> (Nereididae)
°BR-EXT-PLK	Incubado fuera del cuerpo con liberación de larva planctotrófica	<i>Autolytus fasciatus</i> (Syllidae), <i>Rhynchospio arenicola</i> (Spionidae)
BR-EXT-LEC	Incubado fuera del cuerpo con liberación de larva lecitotrófica	<i>Streblospio benedicti</i> (Spionidae), <i>Autolytus fasciatus</i> (Syllidae).
BR-EXT-DIR	Incubado fuera del cuerpo con desarrollo directo	<i>Autolytus edwardsi</i> (Syllidae), <i>Exogene hebes</i> (Syllidae)
BR-INT-LEC	Incubado dentro del cuerpo con liberación de larva lecitotrófica	<i>Dodecaceria ater</i> (Cirratulidae)
BR-INT-DIR	Incubado dentro del cuerpo desarrollo directo	<i>Boccardia natrix</i> (Spionidae), <i>Caulleriella</i> sp. (Cirratulidae), <i>Syllis incisa</i> (Syllidae)
BR-TUBE-PLK	Incubado dentro del tubo con liberación de larva planctónica	<i>Ophryotrocha bacci</i> (Dorvilleidae), <i>Capitella capitata</i> sp III (Capitellidae)
BR-TUBE-LEC	Incubado dentro del tubo con liberación de larva lecitotrófica	<i>Capitella capitata</i> sp II (Capitellidae)
BR-TUBE-DIR	Incubado dentro del tubo con desarrollo directo	<i>Thelepus crispus</i> (Terebellidae), <i>Axiothella rubrocincta</i> (Maldanidae)
BR-CAP-PLK	Incubado encapsulando embrionados dentro de un tubo con liberación de larvas planctotróficas	<i>Boccardia chilensis</i> (Spionidae), <i>Polydora socialis</i> (Spionidae)
BR-CAP-LEC	Incubado encapsulando embrionados dentro de un tubo con liberación de larvas lecitotróficas	<i>Boccardia polybranchia</i> (Spionidae), <i>Pygospio elegans</i> (Spionidae)
BR-CAP-DIR	Incubado encapsulando embrionados dentro de un tubo con desarrollo directo	<i>Boccardia acus</i> (Spionidae), <i>Polydora quadrilobata</i> (Spionidae)
GEL-PLK	Encapsulación de embriones en una masa gelatinosa con liberación de larvas planctotróficas	<i>Eulalia viridis</i> (Phyllodocidae), <i>Phyllodoce maculata</i> (Phyllodocidae)
GEL-LEC	Encapsulación de embriones en una masa gelatinosa con liberación de larvas lecitotróficas	<i>Chone echaudata</i> (Sabellidae), <i>Cirratulus cirratus</i> (Cirratulidae)
GEL-DIR	Encapsulación de embriones en una masa gelatinosa con desarrollo directo	<i>Dasychone bombyx</i> (Sabellidae), <i>Cirratulus cirratus</i> (Cirratulidae)

2.2.3. Conectividad de poblaciones

Es el intercambio entre los individuos de subpoblaciones geográficamente separadas, que componen una metapoblación. Esto abarca desde la reproducción hasta el final la dispersión larval; es decir, incluye el término del asentamiento (Pineda *et al.*, 2007).

2.2.3.1. Dispersión larval

La dispersión larval se inicia con el desove de los reproductores, seguido del transporte larval que finaliza con el proceso de asentamiento bentónico, el cual está mediado por el comportamiento de cada especie bentónica (Pineda, 2000). Estas etapas influyen sobre la variabilidad temporal y espacial de crecimiento de la población, comunidad y la propagación de especies invasoras u oportunistas.

Según Qian (1999), los poliquetos pueden presentar desarrollo directo o indirecto, que involucra desarrollo larval (Figura 2a). Las larvas pueden pasar semanas o meses durante su desarrollo en el plancton antes del proceso de metamorfosis, como en el ciclo de vida de *Platynereis* (Figura 2b).

La mayoría de las especies de poliquetos marinos bentónicos presenta una fase larval en el plancton (meroplancton). Este tipo de desarrollo ontogénico se denomina bentoplanctónico (Bachelet, 1999) (Figura 3).

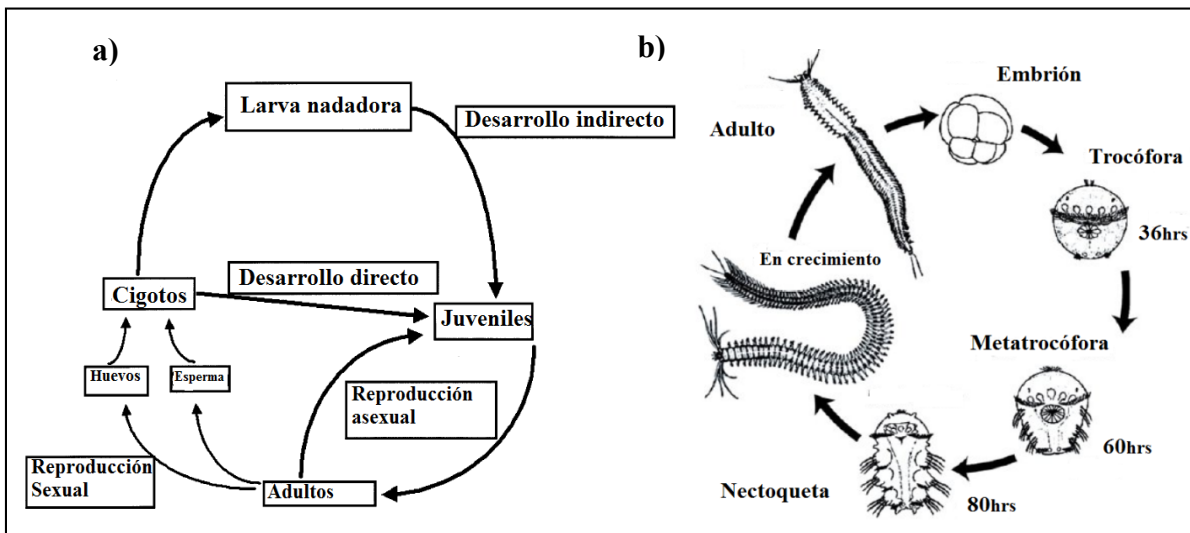


Figura 2. a) Esquema generalizado de la posible historia de vida de anélidos (Qian, 1999). **b)** Ciclo de vida de *Platynereis*, Nereididae (Saudemont *et al.*, 2008).

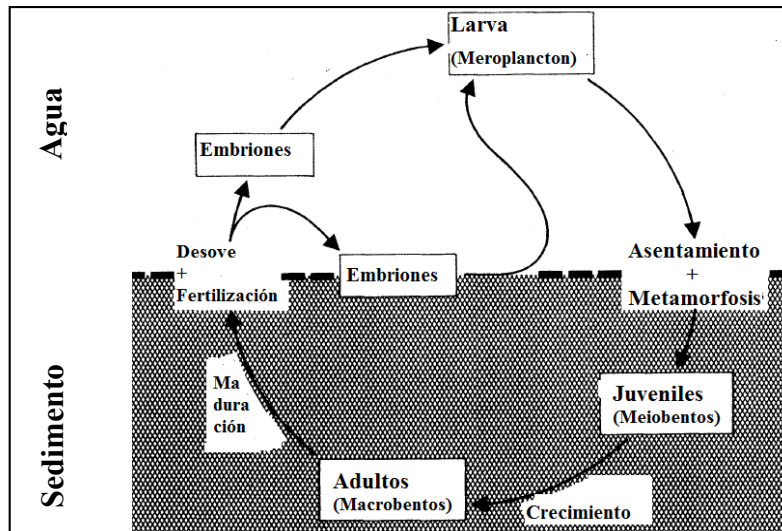


Figura 3. Representación esquemática del desarrollo ontogenético de la macrofauna infaunal en el ciclo de vida bentoplanctónico (Bachelet, 1990).

Asentamiento larval

El asentamiento es el proceso en el cual la larva planctónica se mueve hacia el sustrato mediante un comportamiento exploratorio y se adhiere. El proceso termina con la metamorfosis de la larva planctónica con cambios morfológicos y fisiológicos para completar la transición de larvas hacia juveniles. Esto puede ocurrir antes, durante o después del contacto con el sustrato, en donde empieza la vida bentónica (Quian, 1991; Rodríguez *et al.*, 1993, Fraschetti *et al.* 2003).

2.2.3.2. Factores que influyen sobre la dispersión larval de poliquetos bentónicos

Los poliquetos presentan estrategias para reducir la dispersión larval (Bhaud y Duchene, 1995), tales como: i) reducción o supresión de la fase larval planctónica, ii) conservación del ciclo de vida bentoplanctónico con adaptación en el comportamiento de larva planctónica (migración vertical) o de adultos durante el periodo reproductivo (sincronización y lugar de desove relacionado con la marea); iii) evolución hacia el ciclo de vida holoplanctónico (Figura 4).

A gran escala espacial, las larvas de poliquetos en la columna de agua se comportan como partículas pasivas que se transportan a un lugar adecuado. A escala local, la dinámica y velocidad del flujo cerca al fondo (procesos físicos) desempeñan papeles muy importantes en la retención de las larvas y en el asentamiento larval (Hannan, 1984). Este último proceso, requiere no sólo que una larva localice un sustrato adecuado (e.g. en función de la rugosidad y tipo de sustrato), sino depende de procesos físicos, tales como flujo de fondo, grado de exposición a la marea, la tolerancia de la energía de las olas, fototaxis, entre otros, así como de la disponibilidad de alimento, de respuestas biológicas (comportamiento larval, competencia, depredación y facilitación) y de la presencia de señales químicas en la superficie del sustrato (Pawlik, 1992; Woodin *et al.* 1993; Quian, 1999 y Peña *et al.*, 2006; Abe *et al.*, 2011). Un claro ejemplo ocurre en el asentamiento de las larvas de *Phragmatopoma lapidosa* en respuesta a señales específicas de los organismos conspicuos, debido a que éstas adhieren y realizan metamorfosis en contacto con sus tubos (Jensen y Morse, 1984).

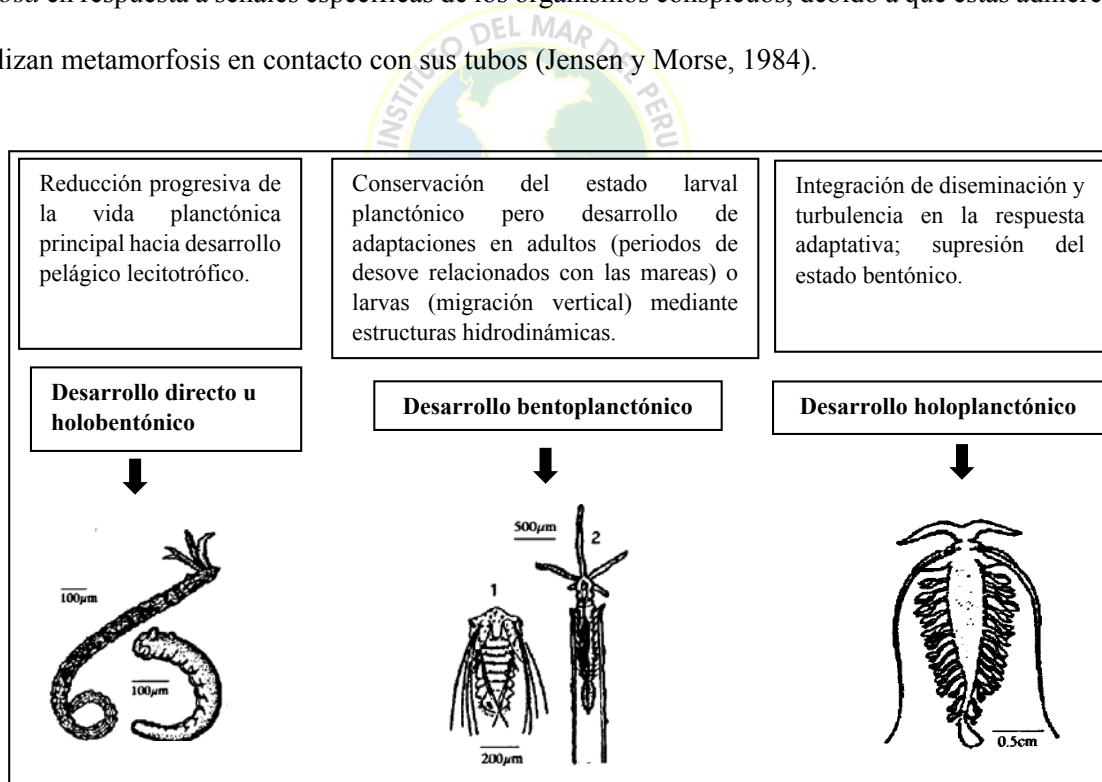


Figura 4. Tres vías de escape de las restricciones de dispersión en los ciclos de vida complejos en Polychaeta. Primera columna; la ruta de desarrollo, ejemplo *Streblospio shrubsolii*; el primer estado bentónico dejando el tubo materno (Cazaux, 1985). En la columna media: conservación del ciclo de vida bentoplanctónico con desarrollo de adaptaciones en el comportamiento larval. 1: *Sabellaria alveolata*, larva que debe retornar a los arrecifes construidos por los adultos; 2: Larva de *Lanice cochilega* (Terebellidae, con periodo de vida planctónico largo). Tercera columna: evolución hacia un ciclo de vida holoplanctónico (Tomopteridae). (Bhaud y Duchene, 1995).

Las señales para el asentamiento y/o metamorfosis pueden proceder de los adultos de la misma especie o de organismos simpátricos, biofilms microbianos y alimento. Sin embargo, varios compuestos químicos, que incluyen proteínas, ácidos grasos libres, polisacáridos, neurotransmisores e iones inorgánicos, han sido sugeridos como factores que inducen el asentamiento y/o metamorfosis larval (Qian, 1999; Thiagarajan *et al.*, 2006; Abe *et al.*, 2011; Cheung *et al.*, 2014).

2.2.4. Reclutamiento

A diferencia del asentamiento, el reclutamiento no involucra cambios en la anatomía y fisiología del individuo. Este proceso se define como el período en donde un determinado número de individuos asentados sobreviven a una talla arbitraria específica, sin llegar a ser adultos (Pineda, *et al.*, 2007, Fraschetti *et al.*, 2003).

Reclutamiento es el concepto clave para la demografía de las especies, reconocido como uno de los principales determinantes en la variación espacial y temporal del tamaño de la población (Pineda, 2000). En este caso, la población debe ser considerada como un sistema abierto (Roughgarden *et al.*, 1985; Bence y Nisbet, 1989), en el que las larvas asentadas pueden venir de lugares remotos. El reclutamiento es un factor crítico, y no está necesariamente correlacionado con el rendimiento reproductivo (Bhaud, 2000).

2.2.4.1. Factores que influyen sobre el reclutamiento de poliquetos bentónicos

El asentamiento larval y reclutamiento en hábitats bentónicos depende de la disponibilidad de larvas aptas para el completo desarrollo biológico. Este suministro de larvas con capacidad de asentarse se ve afectado por parámetros biológicos como el ingreso de los adultos reproductores y ciclos reproductivos, la abundancia de la población adulta, la mortalidad larval (Roughgarden *et al.*, 1988;

Olafsson *et al.*, 1994) y la dinámica del fluido cerca al fondo, que juega un importante rol en los procesos post-asentamiento (Hannan, 1984; Butman, 1987).

La dinámica de poliquetos implica el estudio del reclutamiento y se enfoca principalmente sobre las relaciones entre la densidad poblacional y factores ambientales, como la calidad y cantidad del alimento, compuestos inorgánicos del sustrato (contenido de sulfuro, amonio, etc.), perturbación del sustrato y sobre el impacto de la mortalidad de reclutas y depredación (Qian y Chia, 1994; Woodin *et al.*, 1998; Qian, 1999; Frascetti *et al.*, 2003; Thiyagarajan *et al.*, 2006).

En el esquema siguiente (Figura 5), se explica las restricciones sobre el reclutamiento, resultado de las diferencias entre área, en donde las larvas son diseminadas, y habitan los adultos. Lo importante del esquema es la existencia de áreas de dispersión estériles; estos presuponen que el éxito de la fijación larval no se aplica necesariamente un éxito en la población reclutada. Muchas escalas espaciales son usadas y distintos parámetros regulan la presencia de las especies en cada nivel. En el primer nivel (1), los parámetros climáticos (P1 y P2) actúan sobre una larga región geográfica, que determinan cuatro (04) áreas: en A, todo el ciclo de vida es posible; en B, las larvas pueden asentar y los juveniles pueden crecer hasta una talla adulta pero no reproducirse; en C, las larvas pueden asentarse pero no desarrollarse; en D, las larvas sobreviven un pequeño tiempo. En el segundo nivel (2), los parámetros P3 y P4, tal como la naturaleza del sustrato y la presencia de la termoclina, actúan sobre distancias pequeñas o periodos cortos. En el tercer nivel (3, parámetro P5), el ciclo de vida puede ser incompleto por que las hidrodinámicas, como la turbulencia, previenen el asentamiento de larvas planctónicas en áreas dónde las condiciones climáticas y de sustrato sean ideales. Además, los parámetros limitantes, como la naturaleza del sustrato, pueden ser adecuados fuera de los límites climáticos, siguiendo el éxito del asentamiento en el área B donde va el siguiente estadio, la maduración de adultos está bajo el control de las variaciones estacionales en temperatura y fallas en el desarrollo (Bhaud, 2000).

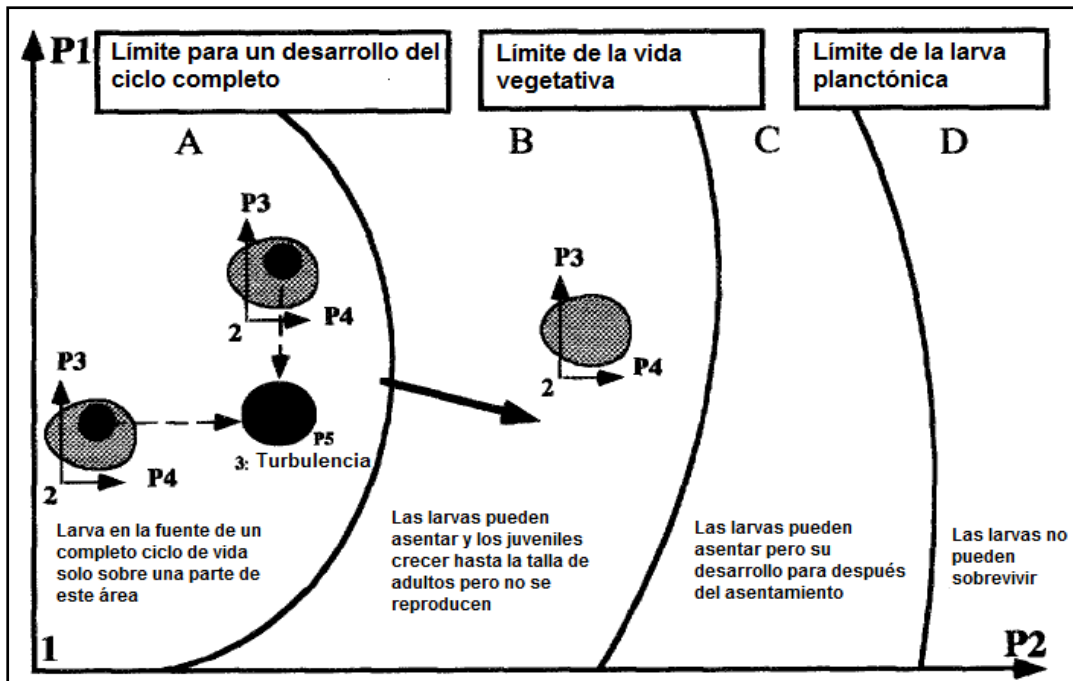


Figura 5. Restricciones sobre la vida del estadio adulto y sus consecuencias sobre la dispersión larval. La distribución geográfica de parte del ciclo de vida de los adultos bentónicos se explica en términos de diferentes tipos de límites. Estos límites actúan en muchos niveles influenciados por la disminución espacial; 1: parámetros climáticos (P1 y P2), que actúa o sobre una larga región geográfica, que define cuatro áreas (A, B, C y D); el completo ciclo de vida es posible solo en A, pero no necesariamente sobre toda esta área; 2: parámetros de competitividad, edáficos, o físicos (especialmente la luz) (P3 y P4) que actúan sobre distancias medias y controlan el hábitat de los adultos; 3: parámetros específicos (P5) actuando sobre áreas localizadas y enlazados con las condiciones hidrodinámicas.

2.3. Factores que modulan los cambios en las comunidades bentónicas de la plataforma continental peruana

Las investigaciones sobre macrobentos en la plataforma continental peruana, han sugerido que los cambios en la diversidad y la abundancia están moduladas por las condiciones de deficiencia de oxígeno, asociada a factores físicos (Díaz y Rosenberg, 1995; Levin, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2008) y al enriquecimiento de materia orgánica (Pearson y Rosenberg, 1978). Esto debido a que el margen continental peruano esta intersectado por la zona de mínima de oxígeno (ZMO) del Pacífico Sudeste, con límites entre 30 a 600 metros de profundidad (Helly y Levin, 2004, Fuenzalida *et al.*, 2009, Ledesma *et al.*, 2011).

La intensidad y el amplitud de la ZMO frente a Perú se amplifican de la costa norte a la costa central, posiblemente debido a que las tasas de degradación de materia orgánica sobrepasan a las tasas de advección del oxígeno asociado al afloramiento (Gutiérrez *et al.*, 2006, 2008). Frente a Callao, el límite superior de la ZMO varía entre 10 a 50m en superficie y depende de la estacionalidad (Gutiérrez *et al.*, 2008) (Figura 6).

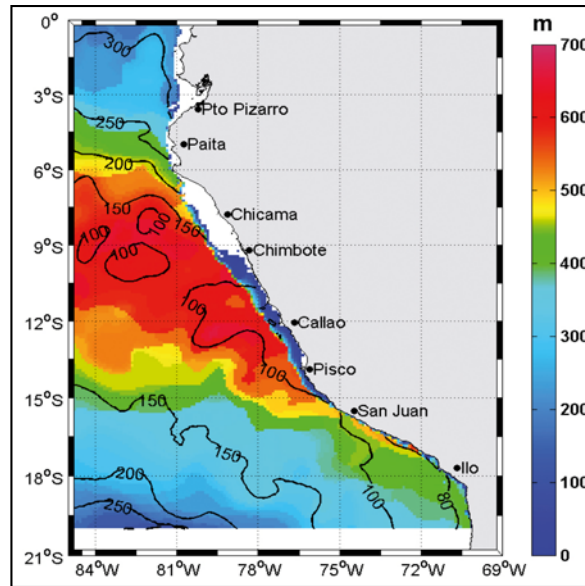


Figura 6. Promedio anual de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) frente al Perú. La escala de colores representa el espesor (m) que alcanza en esa región. Las isolíneas representan la profundidad del borde superior de la ZMO en intervalos de 50 m. La gráfica muestra las variaciones latitudinales y costa-mar afuera de la ZMO que alcanza su mayor espesor en la zona central (hasta 700 m), siendo más somera igualmente en esta área y a medida que se acerca a la costa. (IMARPE, 2014).

La materia orgánica fresca de origen fitoplanctónico (clorofila-*a*), que llega al fondo, se acumula a manera de fitodetritus en los sedimentos superficiales de la plataforma continental frente a Perú, presentando un gradiente latitudinal creciente, de norte a sur. La respiración de esta materia orgánica acentúa las condiciones de déficit de oxígeno frente a la costa central, generándose condiciones anóxicas y producción de H₂S, que limitan la presencia de la macrofauna bentónica (Cuomo, 1990; Levin, 2003; Gutiérrez, *et al.*, 2008, Cheung *et al.*, 2014).

Los poliquetos son componentes importantes en el macrobentos de ZMOs, debido a que pueden sobrevivir a zonas deficientes de oxígeno a través de adaptaciones morfológicas y fisiológicas (Levin, 2003), por ejemplo, se observa que las familias Spionidae, Dorvilleidae, Cirratulidae y Lumbrineridae presentan branquias alongadas y numerosas para la captación de oxígeno. Asimismo, la familia Cossuridae presenta una larga antena media que podría mejorar su respiración (Levin, 2003).

2.4. Justificación del estudio

Los organismos macrobentónicos juegan un importante rol en los ecosistemas de fondo, favoreciendo la descomposición de la materia orgánica mediante bioperturbación, el reciclaje de nutrientes y la transferencia de energía en la cadena trófica (Rhoads y Young, 1970). Dentro de esta comunidad, los poliquetos son dominantes, debido a su flexibilidad trófica y diferentes historias de vida que le permiten adaptarse a condiciones de hábitats perturbados, al tolerar cambios de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (Yokoyama, 1995; Powers *et al.*, 2001; Levin, 2003; Shain, 2009), que influyen en la diversidad y abundancia de especies.

En la plataforma continental de Perú, existen muchos estudios enfocados a los poliquetos bentónicos de estadio adulto (Levin *et al.*, 2002; Yupanqui *et al.*, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2008), lo cual limita el conocimiento real del número de especies poliquetos en estadios tempranos, que pueden completar la etapa adulta en el fondo blando.

Este estudio representa un esfuerzo importante para comprender las limitaciones para la supervivencia de los estadios tempranos de poliquetos bentónicos en una zona influenciada por la mínima de oxígeno. Estos ambientes deficientes de oxígeno podrían condicionar la supervivencia y diversidad larval y limitar la presencia de los estadios juveniles y adultos, los cuales se encuentran sometidos a condiciones reductoras en el sedimento superficial (Yokoyama, 1995; Levin, 2003; Gutiérrez, *et al.*, 2008).

Por ende, el estudio busca comprender dos procesos críticos: el asentamiento larval y reclutamiento durante el periodo de estudio; con el cual se sumará conocimiento sobre la ecología de poliquetos de fondo blando. Asimismo, se contribuye al conocimiento de la biodiversidad de los poliquetos bentónicos con desarrollo bentoplanctónico y su variación espacio – temporal con respecto a las características de la plataforma continental frente a Callao.

2.5. Objetivos

2.5.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de los factores abióticos del agua y sedimento sobre el éxito del asentamiento larval y del reclutamiento de juveniles hacia adultos en los sedimentos de la plataforma continental central peruana.



2.5.2. Objetivos específicos

- I. Describir la variación espacio-temporal de la composición taxonómica y la abundancia del estadio larval planctónico de los poliquetos bentónicos.
- II. Determinar la variación espacio-temporal de la estructura comunitaria de los poliquetos bentónicos juveniles y adultos.
- III. Analizar la relación de la abundancia y diversidad del estadio larval, juvenil y adulto de poliquetos bentónicos con la oxigenación de la columna de agua, condiciones reductoras del sedimento, así como la concentración y calidad de materia orgánica sedimentaria biodisponible.

2.6. Hipótesis

El éxito del desarrollo biológico de los poliquetos bentónicos de fondo blando se encuentra limitado por dos procesos, el asentamiento y reclutamiento, en los cuales intervienen factores fisicoquímicos en el agua y sedimento, por lo que se plantea las siguientes hipótesis:

H1: La disponibilidad larval de poliquetos bentónicos, que determina el asentamiento, está modulada principalmente por la concentración de oxígeno del agua de fondo, por lo cual la diversidad de larvas de poliquetos es mayor en condiciones de mayor oxigenación.

H2: El éxito de la supervivencia de poliquetos bentónicos juveniles en el sedimento está controlado por las condiciones de óxido-reducción en el sedimento superficial, donde la diversidad de estos disminuye en sedimentos más reducidos.



3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño de estudio

3.1.1. Tipo de estudio

La presente investigación corresponde a un estudio observacional, el cual describe un sistema en funcionamiento, mediante la colecta/recolección de las variables que intervienen en el mismo.

3.1.2. Población en estudio

Comunidades de poliquetos bentopelágicos de estadio larval, juvenil y adulta asociados a la plataforma continental de la costa central del Perú, entre 30 y 178m de profundidad.

3.2. Operacionalización de las variables

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

3.2.1. Variables independientes

De la columna de agua:

- Oxígeno disuelto (a 10m de la superficie y 5m de fondo)mL/L
- Profundidad de Iso-oxígena de 0.5mL/L (proxy de oxiclina)m
- Temperatura (a 10m de la superficie y 5m de fondo)..... °C
- Salinidad (a 10m de la superficie y 5m de fondo)..... sin unidad
- Clorofila – *a* (a 10m de la superficie y 5m de fondo)..... µg/L
- Fosfatos (a 10m de la superficie).....µM
- Silicatos (a 10m de la superficie).....µM
- Nitratos (a 10m de la superficie).....µM

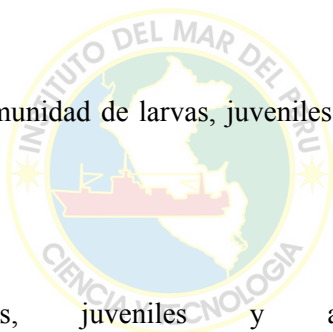
Del sedimento (primer centímetro):

- Fitopigmentos (Clorofila – *a* y feopigmentos)..... $\mu\text{g/g}$
- Materia orgánica total (MOT)..... mg/g
- Lípidos totales (LIP)..... mg/g
- Carbohidratos lábiles (CHOLa)..... mg/g
- Proteínas lábiles (PRTL)..... mg/g
- Sulfuros en el agua intersticial (H_2S)..... nmol/cm^3
- Inventario de sulfuros de 0-2cm, ($\text{H}_2\text{S}_{[0-2]}$)..... nmol/cm^2

3.2.2. Variables dependientes

Las variables relacionadas a la comunidad de larvas, juveniles y adultos de poliquetos bentónicos fueron las siguientes:

- Densidad de larvas, juveniles y adultos de las especies $\text{ind}/100\text{m}^3$, $\text{ind}/10\text{ cm}^2$, ind/m^2
- Número de especies de larvas, juveniles y adultos spp/m^3 , $\text{spp}/10\text{ cm}^2$, spp/m^2
- Longitud promedio de larvas, juveniles y adultos de las especies dominantes..... mm
- Riqueza de especies, índice de diversidad de Shannon, índice de riqueza de Margalef.....sin unidad



3.3. Área de estudio

El estudio se realizó en un área de la plataforma continental, frente a Callao (12° S), sobre la cual se ejecutó una transecta oceanográfica de tres (03) estaciones hasta las 30 millas náuticas (mn). La primera estación, E0 (1 mn), se encontró a 30m de profundidad. La estación E2 se localizó a 8mn fuera de la costa y a 93m de profundidad. Finalmente, la estación E5 se localizó en la plataforma externa (30 mn fuera de la costa) y a 178m de profundidad (Tabla 2, Figura 7).

Los muestreos se realizaron en campañas de los meses de febrero, abril, junio y agosto del año 2015, en el marco del proyecto “Estudio Integrado del Afloramiento Costero frente a Perú”, de la Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) y a bordo de los Buques de Investigación Científica José Olaya Balandra y Luis Flores Portugal.

Los muestreos realizados en la zona más somera (E0) no coincidieron en posición pero estuvieron alrededor de 30m de profundidad (Tabla 2). Estos puntos se diferenciaron por la cercanía a la Isla San Lorenzo, denominándose E0 y E0' (más cercana a la Isla).

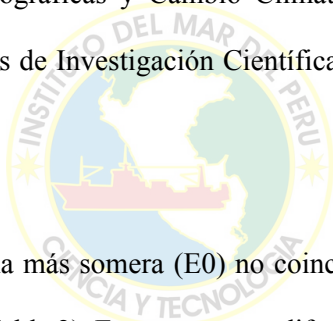


Tabla 2. Localización de las estaciones de muestreo de poliquetos bentónicos frente a Callao. Est = Estación; Prof = Profundidad; DC = Distancia a la costa; C = Cerca a la costa, PI = Plataforma interna, PE = Plataforma externa.

Crucero	Est	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof (m)	DC (mn)	Zona
MINIOX 1502	E0	23/02/2015	10:31	12° 1.876'	77° 12.216'	35	2	C
	E2	23/02/2015	16:10	12° 2' 19.92''	77° 17' 12.66''	94	8	PI
	E5	24/02/2015	02:24	12° 2' 35.44''	77° 39' 3.18''	178	30	PE
CRIO 1504	E0'	23/04/2015	13:20	12° 03.13'	77° 13.89'	35	2	C
	E2	23/04/2015	23:04	12° 2' 19.92''	77° 17' 12.66''	94	8	PI
	E5	24/04/2015	16:58	12° 2' 35.44''	77° 39' 3.18''	178	30	PE
MINIOX 1506	E0	24/06/2015	10:37	12° 1' 52.08''	77° 12' 17.04''	37	2	C
	E2	24/06/2015	15:39	12° 2' 19.92''	77° 17' 12.66''	94	8	PI
	E5	25/06/2015		12° 2' 35.44''	77° 39' 3.18''	178	30	PE
CRIO 1508	E0'	11/08/2015	15:20	12° 03.13'	77° 13.89'	27	2	C
	E2	16/08/2015	21:20	12° 2' 19.92''	77° 17' 12.66''	94	8	PI
	E5	16/08/2015	21:51	12° 2' 35.44''	77° 39' 3.18''	178	30	PE

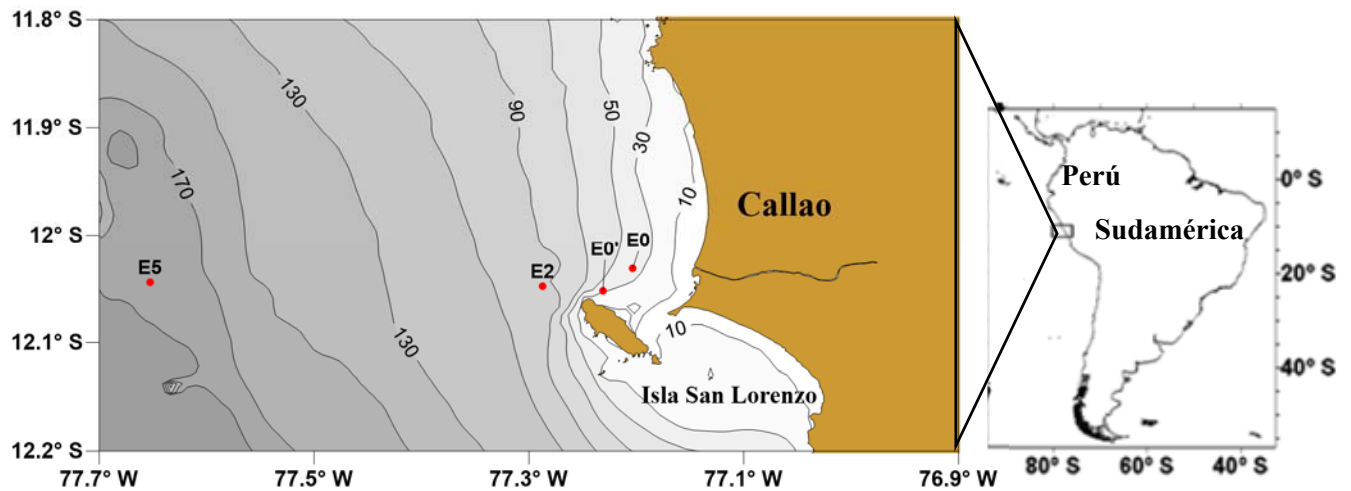


Figura 7. Estaciones de muestreo sobre la plataforma continental frente a Perú central (Callao). Estaciones E0, E0', E2 y E5.

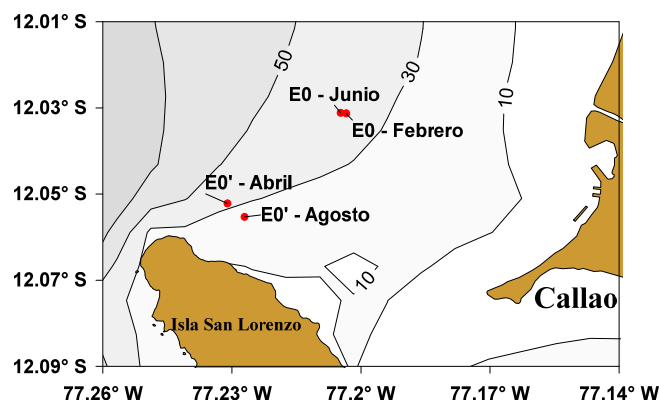


Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreo en la Estación E0 y E0' durante las campañas realizadas frente a Callao en 2015.

3.4. Métodos de muestreo

3.4.1. Muestreo oceanográfico

Para la recolección de datos ambientales de la columna de agua, se empleó un perfilador CTDO, equipado con sensores de conductividad, temperatura, profundidad y oxígeno disuelto. Asimismo, para los datos de clorofila - *a*, en la columna de agua superficial y de fondo, se lanzaron botellas Niskin de 5 litros a profundidades estándar de aproximadamente 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 y 200 m, de acuerdo a la profundidad del punto de muestreo.

3.4.2. Muestreo sedimentológico y de agua intersticial

De cada testigo del MUC se separó el primer centímetro del sedimento para la determinación de clorofila-*a*, MOT, materia orgánica lábil (PRT, CHO) y lípidos totales (LIP). Las muestras fueron guardadas en sobres de hojas de aluminio y bolsas herméticas, para luego ser congeladas a -20°C .

Para el análisis de sulfuros, se colectaron dos réplicas de agua intersticial en tubos de acrílico, mediante el MUC. El agua intersticial fue extraída del sedimento a través de capilares conectados a jeringas a una resolución de 1 cm hasta los 10 centímetros en la columna de sedimento. Luego, 2 ml

del agua extraída de cada sub-muestra se preservaron en frascos con 1 ml de acetato de zinc al 5% (fijador de H₂S), los cuales fueron refrigerados hasta su análisis.

3.4.3. Diseño de muestreo de poliquetos bentónicos

Con el objetivo de comparar batimétricamente los cambios en los atributos comunitarios de los poliquetos con desarrollo bentoplanctónico, se evaluaron 3 estaciones de muestreo (Figura 7), las cuales normalmente se encuentran sometidas a condiciones oceanográficas diferentes (e.g. oxígeno disuelto y temperatura). Asimismo, el estudio fue desarrollado durante las estaciones verano, otoño e invierno.

Con la finalidad de evaluar los diferentes estadios de desarrollo de los poliquetos bentónicos, se planteó el siguiente diseño de muestreo: (1) para la etapa larval planctónica, pre-asentamiento; (2) para determinar los organismos juveniles bentónicos asentados; y (3) para los adultos. Esto permite analizar el éxito del reclutamiento y supervivencia de poliquetos bentónicos.

- (1) En el muestreo de la etapa larval se colectaron las larvas a 10 metros de la superficie marina y a 5 metros del fondo marino, donde las larvas suelen encontrarse para al asentamiento (Yokoyama, 1995; Powers *et al.*, 2001; Abe *et al.*, 2014), con lo cual se buscó comprender la diferencia vertical de la composición de especies, las abundancias y las estructuras de tallas de las especies dominantes.
- (2) En el muestreo de la etapa juvenil, se obtuvo muestras de sedimentos no perturbados. Se seleccionó a la meiofauna metazoaria con la malla de 63 y 500 μm , donde los poliquetos juveniles habitan temporalmente (Bachelet, 1999).
- (3) Para el muestreo de la etapa adulta, se empleó una draga tipo Van Veen de 0,05 m² de cobertura para la colecta de sedimento, el cual fue tamizado con una malla de 500 μm .

La colecta de larvas se realizó mediante una Red de plancton Baby Bongo con un sistema de cierre y con dos tipos de luz de malla (100 y 200 μm , (Figura 9). El sistema de red fue sumergido hasta dos niveles de profundidad en la columna de agua (a 10 metros de la superficie y a 5 metros del piso marino). La red fue arrastrada durante 5 minutos, con el buque en marcha. Para conocer el volumen de agua filtrada se colocó, en la boca de la red de 100 μm , un flujómetro marca **Hydrobioss run stop**. Posteriormente, las muestras fueron fijadas con formalina al 2% neutralizado.

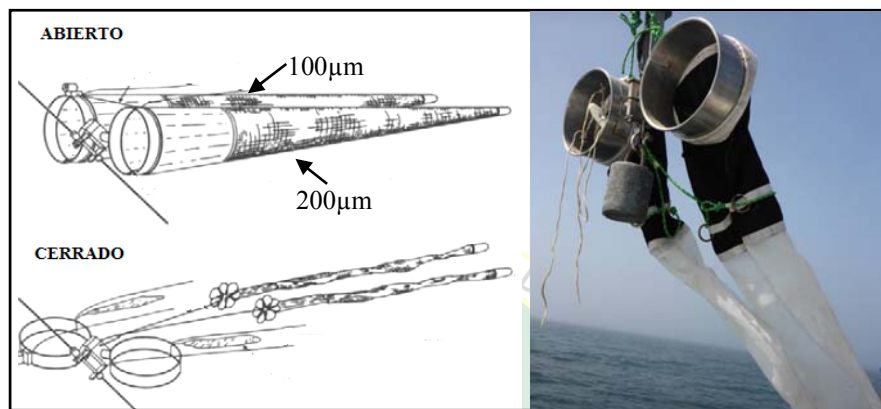


Figura 9. Red Baby Bongo adaptada a un sistema de cierre para la toma de muestras de meroplancton marino (larvas de poliquetos bentónicos). Adaptado de Wiebe y Benfield (2003).

Para la colecta de los poliquetos juveniles se necesitó muestras de sedimentos no perturbados. Para esto se empleó un mini-multisacatestigos (MUC) de 4 tubos marca OKTOPUS®. Se tomaron de dos a tres réplicas con lances independientes. Cada testigo colectado se submuestreó con un tubo de plexiglás pequeño (3.6 cm. de diámetro). Se seccionó verticalmente cada testigo, integrándose los primeros 5 centímetros. Las muestras fueron tamizadas a través de una malla de 63 μm y luego fueron preservadas agregando formalina al 10%.

El muestreo de poliquetos adultos fue realizado utilizando una draga tipo Van Veen de 0,05 m² de cobertura, con dos o tres réplicas, las cuales fueron tamizadas a bordo con una malla de 0,5 mm y luego fijadas con formalina al 10% neutralizado. Para las campañas febrero y agosto, las muestras

para adultos en la estación E5 fueron obtenidas de los *slides* destinados para el análisis de meiofauna metazoaria y foraminíferos bentónicos colectados con MUC, integrados a 5cm. Estas muestras fueron tamizadas con mallas de 500 micras y luego fueron preservadas con formalina al 10%(Figura 10b).

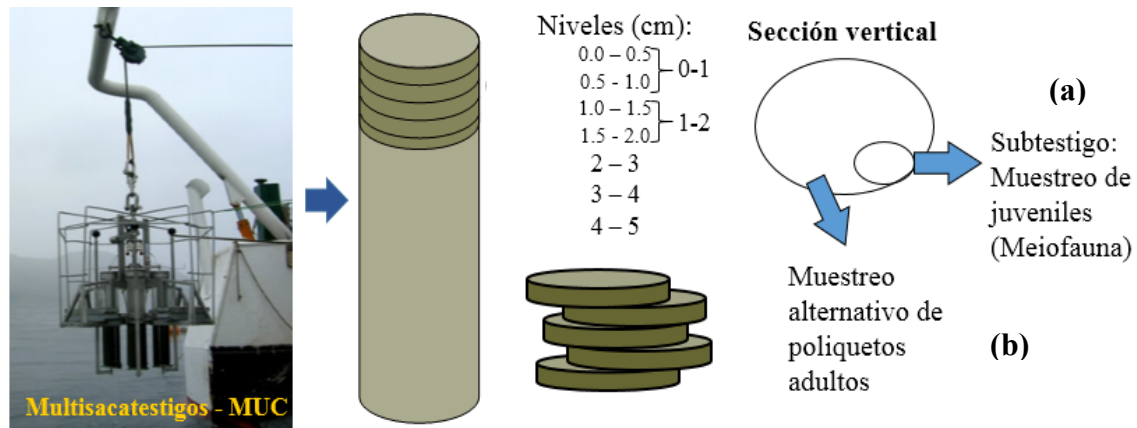


Figura 10. Imagen del multisacatestigo (MUC) para la extracción de los testigos de sedimento y esquematización de los niveles de corte de los niveles utilizados para la colecta de: **a)** poliquetos juveniles bentónicos (meiofauna) y **b)** poliquetos adultos (muestreo alternativo).

Dentro de los supuestos del estudio se consideró la existencia de larvas de poliquetos bentónicos en la columna de agua, debido a que algunas especies presentan una historia de vida indirecta, que involucra la producción de larvas (ciclo de vida bentoplanctónico), con desarrollo larval planctotrófico o lecitotrófico. Por ende, no se tomó en cuenta el desarrollo directo de las especies que habitan en el sedimento.

3.5. Análisis de laboratorio

3.5.1. Análisis de clorofila-a de la columna de agua

La determinación de la clorofila *-a* en las muestras de 200ml de agua colectadas, en cada estación en las profundidades estándar, fue realizada mediante el método fluorométrico (Yentsch y Menzel, 1963; Holm - Hansen *et al.*, 1965).

3.5.2. Análisis de variables sedimentológicas

3.5.2.1. Fitopigmentos del sedimento superficial

La determinación de clorofila-*a* en los sedimentos superficiales se efectuó mediante el método de extracción a partir de muestras húmedas, previamente congeladas a -20°C, para la preservación y descongeladas antes de la extracción. El análisis de las muestras se realizó mediante el método de fluorimetría detallado por Gutiérrez *et al.* (2000a).

3.5.2.2. Materia orgánica total

En el laboratorio, las muestras de sedimento se secaron en una estufa a 60° C durante 48 horas y luego se guardaron en bolsas de plástico para empezar el análisis. Para la determinación del materia orgánica total se empleó el método de pérdida de peso del sedimento por ignición (Dean, 1974), que consiste en determinar por diferencia de pesos, la cantidad de materia orgánica que se desprenden como gas durante la combustión.

3.5.2.3. Materia orgánica biodisponible

La materia orgánica biodisponible o lábil es aquella que puede ser biodegradada con mayor rapidez en los centímetros superficiales de sedimento. Por ende presenta mayor probabilidad de ser utilizada por los organismos que habitan en el sedimento. Los biopolímeros lábiles analizados fueron carbohidratos, proteínas y lípidos. Estos fueron determinados mediante los protocolos realizado por Pérez (2012), previa secado, homogenización y liofilización de la muestra. Para los carbohidratos se utilizó el método colorimétrico de Dubois *et al.* (1956); para lípidos, el protocolo de Barnes y Blackstock (1973); y para proteínas, el método de Lowry *et al.* (1951), modificado por Rice (1982),

por medio de lecturas espectrofotométricas (490nm, 520nm y 750nm, respectivamente). La unidad de medición fue mg/g.

3.5.2.4. Sulfuros en el agua intersticial

Para determinación de las concentraciones de H₂S, se realizó el método colorimétrico con azul de metileno (Cline, 1969). Las lecturas de absorbancia fueron leídas en un espectrofotómetro de marca PerkinElmer LAMBDA 45.

3.5.3. Análisis biológico

3.5.3.1. Holoplancton y meroplancton

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de Bentos Marino, del Instituto del Mar del Perú, donde se separaron e identificaron los organismos del zooplancton (holoplancton y meroplancton), ya que al realizar el muestreo de larvas de poliquetos, tanto a nivel superficial, como en el fondo, se filtró toda la fauna de la columna de agua.

El biovolumen (Ind/100m³) fue determinado de acuerdo al método de desplazamiento de volumen (Kramer *et al.*, 1972), vertido en una placa Bogorov. Los organismos del zooplancton fueron separados en taxa superiores o grupos importantes como Mollusca, larvas de Crustacea, Cirripedia, Euphausiidae, Apendicularia, Polychaeta (holoplanctóca y meroplanctónica) y otros, en donde encontramos huevos y larvas de peces, Brachiopoda, parásitos (Trypanorhyncha) e Hyperiidia. Para la determinación de las especies del zooplancton se consultó los trabajos de Santander *et al.*, (1981) y Boltovskoy (1999) y para las larvas de poliquetos bentónicos, los estudios de Carrasco (1976), Yokoyama (1981), Plate y Husemann (1994) y Rouse y Pleijel (2001).

3.5.3.2. Juveniles y adultos de poliquetos bentónicos

Las muestras ya tamizadas fueron observadas en placas Petri para la cuantificación y determinación taxonómica, con la ayuda de guías especializadas (Fauchald, 1977; Rouse y Pleijel, 2001).

El análisis cuantitativo de cada estadio de desarrollo biológico se realizó empleando un microscopio estereoscópico y para la visualización de partes disectadas de los organismos se empleó un microscopio óptico NIKON Eclipse R200, con aumentos de 100, 400 y 1000X), lo que ayudó a la correcta identificación de las especies, géneros y/o familias de poliquetos bentónicos.

Bajo el estereoscopio microscópico y cámara NIKON con un programa de medición integrado, NIS Elements versión 4.13, se midió el ancho (diámetro) de los poliquetos, a la altura del quinto setígero y la longitud total del cuerpo y por último, se contó el número de setígeros de las especies dominantes (Yokoyama, 1981 y Qian y Chia, 1994).



3.6. Procesamiento de datos

3.6.1. Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en columna de agua

Se elaboraron secciones verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (OD), para las distintas estaciones y periodos de muestreo. Se construyeron diagramas T-S para identificar las masas de agua presentes, según las características definidas por Zuta y Guillen (1970) y Graco *et al.*, (2007).

3.6.2. Alimento biodisponible del sedimento: Materia orgánica lábil y Fitopigmentos

La concentración de materia orgánica lábil en proteínas, carbohidratos y lípidos del primer centímetro del sedimento fue expresada en mg/g. Este valor fue usado como calidad nutricional de la materia orgánica (Thiyagarajan *et al.*, 2006).

La Clorofila-*a* y feopigmentos ($\mu\text{g/g}$) fueron usados como indicadores de la cantidad de alimento disponible. La razón entre Cl-*a* y feopigmentos (Cl-*a*/Feop) fue considerada como indicadora del contenido de materia orgánica fresca (recién sedimentada) en el sedimento superficial.

3.6.3. Sulfuro de hidrógeno en el agua intersticial

La concentración de sulfuros en el agua intersticial del primer centímetro de sedimento fue obtenida en μM . Además, se convirtió a nmol/cm^3 para compararlos con estudios. Así mismo se determinó el inventario de sulfuros del 0-2cm. (nmol/cm^2).

3.6.4. Poliquetos bentónicos

La densidad de larvas poliquetos bentónicos en la columna de agua, a nivel superficial (10m) y fondo, se expresó en número de individuos por 100m^3 ; la de los juveniles en individuos por 10cm^2 y la de los adultos en individuos por m^2 (en febrero y agosto de la E5 se expresó en individuos por 50cm^3) para la comparación con otros estudios. Además, en el caso de los juveniles y adultos se estimó la densidad total de poliquetos bentónicos.

La abundancia relativa (%) de cada especie, por cada estadio de desarrollo, fue estimada para conocer su contribución e importancia en la comunidad.

Los atributos de la estructura comunitaria fueron: el número total de especies (S), el índice de Riqueza de Margalef (d) y el índice de diversidad de Shannon (H' , \log_2) (Shannon, 1948).

3.6.5. Invertebrados acompañantes en el muestreo de columna y sedimento

La densidad de los organismos del zooplancton se expresó en individuos por 100m^3 , el macrobentos se expresó individuos por m^2 y en individuos por 50 cm^2 para su comparación.

La abundancia relativa (%) de cada taxa, en la columna y sedimento, fue estimada para conocer su contribución en la comunidad en relación a los poliquetos bentónicos en la columna de agua y sedimento.

3.7. Plan de análisis

Los atributos de la estructura de comunitaria de los poliquetos bentónicos seleccionados para las comparaciones con los factores abióticos fueron: el número total de especies (S), el índice de Riqueza de Margalef y el índice de diversidad de Shannon (H' , \log_2) (Shannon 1948).

Durante la exploración de la información obtenida se evaluó si las variables abióticas y bióticas cumplen una distribución normal, mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Zar, 1996).

A fin de determinar diferencias significativas de los factores (abióticos y/o bióticos) entre las 3 estaciones de muestreo (perfil batimétrico), que no cumplieron la normalidad de los datos, se usaron las pruebas estadísticas no paramétricas como el análisis de varianza de Kruskal-Wallis y la prueba de comparaciones de Mann Whitney. Así mismo, se utilizó un análisis de varianza univariado, con base en permutaciones (PERMANOVA, 9999 permutaciones, Anderson, 2001) para someter a prueba la hipótesis nula de que no existen diferencias entre los factores fijos, estaciones (diferencia batimétrica), meses de muestreo y la interacción entre estos para el número de especies, H' y densidad total.

Para determinar las diferencias espacio-temporales se usó el análisis de varianza de doble vía (ANOVA) usando como factores las estaciones y meses. Así mismo, para identificar diferencias significativas entre las estaciones y meses se utilizó la prueba de post-hoc de Tukey (Zar, 1996). El análisis de las diferencias espacio-temporales de juveniles y adultos se realizó mediante el análisis de varianza multivariado no paramétrico, basada en permutaciones de dos factores fijos (PERMANOVA, 9999 permutaciones). Se aplicó la prueba de Porcentajes de Similitud de Bray-Curtis (SIMPER) que permitió determinar las especies responsables de la variabilidad entre estaciones y meses de estudio (Clarke y Gorley, 2001).

Los datos de longitud total (LT) de larvas de superficie y longitud se utilizaron para elaborar histogramas de frecuencia para cada mes. Los histogramas se construyeron con un intervalo de talla de 0.5 mm de LT. Posteriormente, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la prueba U de Mann-Whitney para percibir diferencias entre las longitudes (Zar, 1996).

Para analizar las relaciones entre la comunidad de larvas de poliquetos en el fondo con los factores físicos y geoquímicos, se utilizó el análisis de correspondencia canónica (ACC). Además, el Análisis de componentes principales (PCA) fue empleado para evaluar diferencias entre las observaciones usando las variables del sedimento y para generar grupos ambientales. Esto se determinó con el total de muestreos (11), durante el periodo de estudio (E0-E2 y E5, para febrero, abril, junio y agosto).

Para probar las hipótesis planteadas, con la finalidad de determinar el éxito del asentamiento larval y reclutamiento y evaluar el grado de asociación entre la diversidad de larvas, juveniles y adultos de poliquetos con los factores abióticos seleccionados se utilizó el análisis de correlación de Spearman. Es decir, para determinar los factores ambientales que se asocian con la disponibilidad de larvas en el fondo de la columna de agua, se estimaron las correlaciones de los parámetros ambientales oxígeno

disuelto de fondo (ODF), temperatura de fondo (TempF), salinidad de fondo (SalF) de agua de fondo, clorofila-*a* de sedimento superficial y profundidad de la iso-oxígena de 0.5 mL/L, con los parámetros comunitarios como, abundancia (N), riqueza (S), Índice de diversidad de Shannon (H') y las abundancias específicas de los poliquetos más representativos. Así mismo, el oxígeno disuelto (ODF), y factores sedimentarios: clorofila-*a*, MOT, sulfuros (H₂S) de sedimento superficial e inventario de sulfuros de los 2 primeros centímetros H₂S [0-2cm], cociente Cl-a/Feo, lípidos totales (LIP), carbohidratos lábiles (CHOLa), proteínas lábiles (PRTL) fueron correlacionados con N, S y H' de las comunidades de juveniles y adultos.

Se generó gráficos para relacionar la riqueza de larvas cercanas al fondo con la concentración de oxígeno disuelto. Lo mismo, los juveniles y adultos con la concentración de sulfuros del agua intersticial.

El análisis de datos se realizó a través del programa libre R-Project y otros programas estadísticos.



4. RESULTADOS

4.1. Condiciones oceanográficas de la columna de agua

4.1.1. Oxígeno disuelto, temperatura y salinidad

En febrero la temperatura superficial del mar (TSM) varió de 17.39 (E0) a 21.54 °C (E5), es decir, aumentó hacia la plataforma externa. La isoterma de 15°C se localizó a unos 60 m de profundidad, fuera de la costa (Figura 11a). La temperatura de fondo registró valores de 13.4 (E5) a 15.61 °C (E0). La salinidad fluctuó de 34.88 en E2 (5m) a 35.07 ups en E5 (34m), considerando ese rango como presencia de Aguas Costeras Frías (ACF) y Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) en la estación E5 (Figura 12a). La distribución vertical del oxígeno disuelto (OD) en la superficie alcanzó niveles entre 4 y 5 mL/L, en la capa superficial de E5. Así mismo, el límite superior de la ZMO (OD < 0.5 mL/L) se ubicó entre los 15 m y los 20 m de profundidad (Figura 13a).

En abril, la TSM mínima fue de 17.75 °C (E0) y la máxima, 20.42°C (E5), mostrando la misma tendencia, de aumento hacia la plataforma externa, que el mes de febrero. Así mismo, la temperatura de fondo varió de 14.55 (E5) a 16.57 (E0). La isoterma de 15°C se ubicó a los 60 m de profundidad (E5) (Figura 11b). La salinidad fluctuó de 34.89, en E2 (a 8m) a 35.23 ups en la E5 (a 9m), indicando la presencia de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), ACF y AESS en E5 (Figura 12b). El oxígeno disuelto presentó un mínimo de 0.02 (E0, a 10m) y un máximo de 6.79 mL/L (E5 a 5m). Los valores de OD en la superficie alcanzaron niveles entre 6 a 7 mL/L en la capa superficial, en E5. La distribución vertical en la columna de agua, presentó una oxiclina somera, entre los 5 y 30 m de profundidad (Figura 13b). El límite superior de la ZMO se ubicó entre los 10 y 20m de profundidad.

En el muestreo de junio, la TSM varió de 21.41 (E0) a 21.49 en E5 (165m). La isoterma de 15 °C fue localizada a 130 m, en E5 (Figura 11c). Así mismo, la salinidad del mar fluctuó de 34.91 (E5, 134m) a 35.20 ups en E2 (8m), en el rango de ASS, ACF y AESS en E5 (Figura 12c). La influencia de ASS se fue detectada dentro de los primeros diez metros en E2, alcanzando alrededor de 40m en

E2 y E5. La distribución vertical del OD presentó un valor mínimo de 0.02 mL/L, en la estación E5 (140m) y un máximo de 5.21 mL/L en E2 (2m) y se observó que la profundidad del límite superior de la ZMO estuvo a 70m en E2 y a más de 100m en E5 (Figura 13c).

En agosto, la TSM varió de 17.45 (E0) a 19.38 °C (E5), aumentando hacia la plataforma externa; mientras que la temperatura de fondo registró valores de 13.04 (E5) a 16.25 °C (E0) (Figura 11d). Así mismo, la salinidad del mar fluctuó de 34.87 (a 176m) a 35.20 ups (a 36m) en E5 (plataforma externa), indicando el predominio de las ACF, AESS en E5 y las ASS (48m, E5) (Figura 12d). La distribución vertical del OD mostró un mínimo de 0.02 (57m) y un máximo de 5.16 mL/L (5m) en E5. Además se observó que la profundidad del límite superior de la ZMO estuvo entre los 15 y 60 m en las tres estaciones (Figura 13d).

Tabla 3. Parámetros hidrográficos de la columna de agua (a 10 metros y al fondo) medidos con el equipo CTD y en laboratorio, sobre las estaciones y periodo de estudio en la plataforma continental frente al Callao.

Est.	Mes	Prof	T (10m)	T Fon	Sal (10m)	Sal F	OD (10m)	ODF	Prof. Iso-oxígena (m)	Fosfatos (10m)	Silicatos (10m)	Nitratos (10m)	Cl-a (10m)
E0'	Febrero	28	16.1	15.6	35.01	35.03	0.8	0.04	16	1.52	18.34	7.8	3.13
E2	Febrero	93	16.8	15.3	34.96	35.02	2.05	0.04	22	1.80	18.19	5.54	3.1
E5	Febrero	178	20.5	13.4	35.06	34.94	2.78	0.05	18	1.01	5.59	8.82	1.4
E0	Abril	35	16.6	16.3	35.04	35.03	1.4	0.04	9	1.17	17.33	12.77	0.96
E2	Abril	90	17	15.5	34.99	35.03	1.06	0.03	11	2.51	13.31	18.57	0.83
E5	Abril	165	19.3	14.6	35.22	35.01	3.77	0.08	24	0.5	1.88	7.4	3.87
E0'	Junio	37	20.2	18.4	35.1	35.08	3.08	0.75	37	0.77	11.35	10.88	0.43
E2	Junio	79	21.3	16.6	35.19	35.05	3.97	0.3	69	0.96	6.59	8.19	0.37
E0	Agosto	22	17.5	16.3	35.06	35.05	2.95	0.51	17	0.91	14.84	13.81	0.4
E2	Agosto	95	16.8	15.2	34.99	34.88	1.94	0.12	34	2.03	11.36	12.22	0.98
E5	Agosto	177	19.4	13.1	35.23	34.91	4.45	0.04	60	0.66	5.35	10.03	0.22

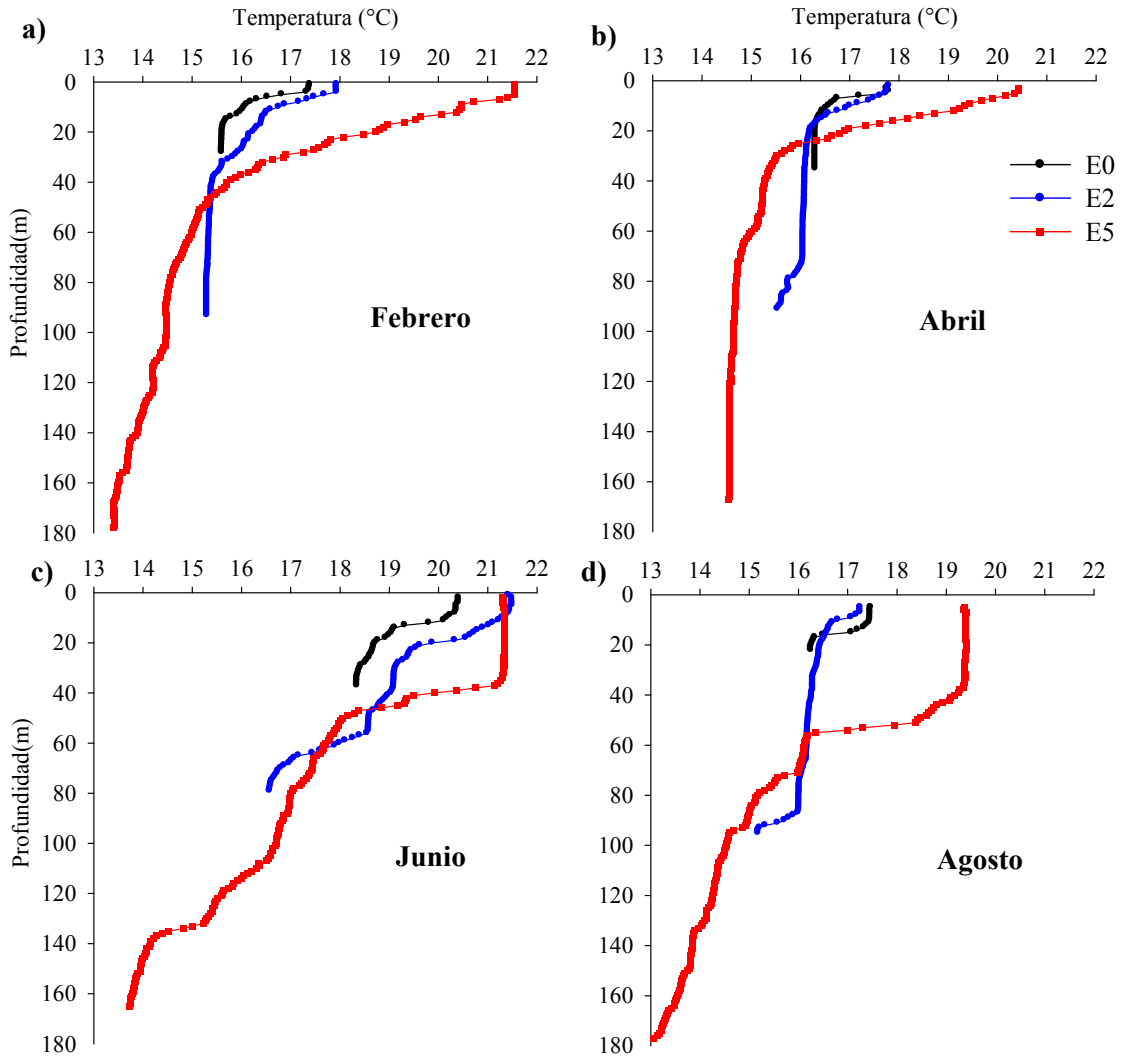


Figura 11. Secciones verticales de temperatura (°C) del agua de mar, durante los muestreos en la E0 (negro), E2 (azul), E5 (rojo), durante los meses de estudio: a) febrero, b) abril, c) junio y d) agosto.

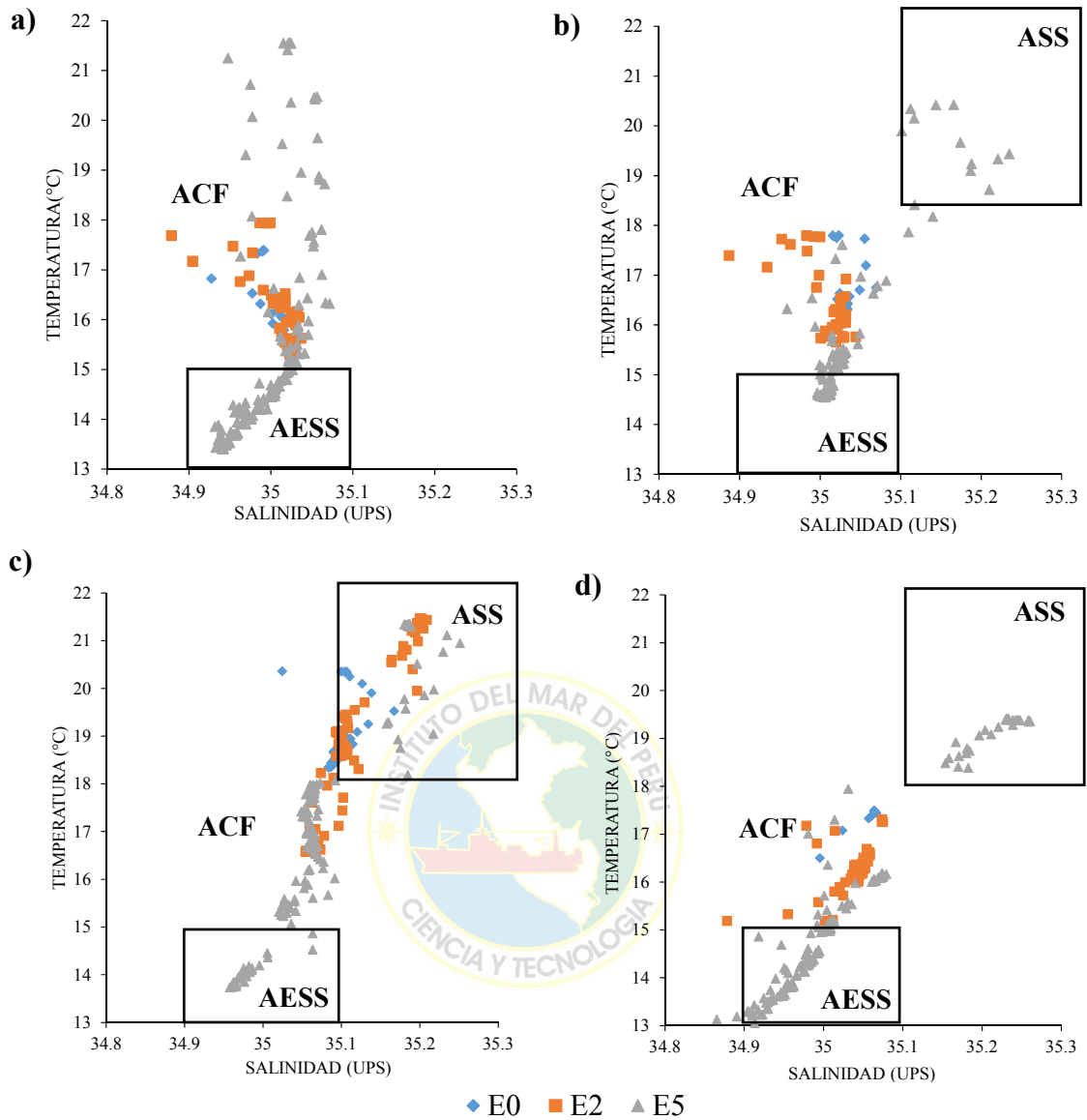


Figura 12. Diagramas T-S durante los meses de estudio **a)** febrero, **b)** abril, **c)** junio y **d)** agosto; delimitando la presencia de las masas de agua (Rectángulos): Aguas Costeras Frías (ACF), Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS).

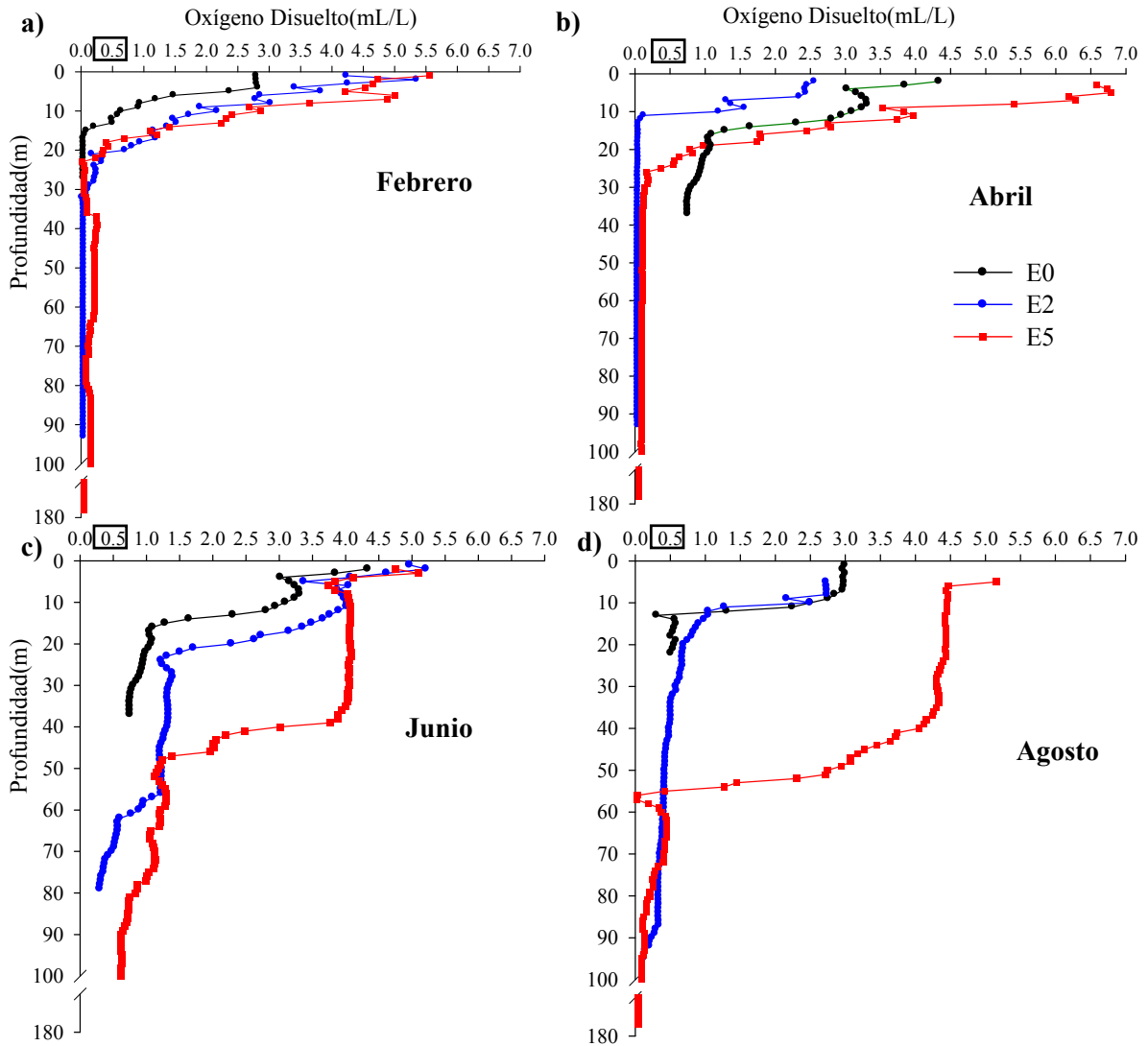


Figura 13. Secciones verticales de oxígeno disuelto (mL/L) del agua de mar, durante los muestreos en la E0 (negro), E2 (azul), E5 (rojo), durante los meses de estudio: a) febrero, b) abril, c) junio y d) agosto.

4.1.2. Nutrientes y clorofila -a

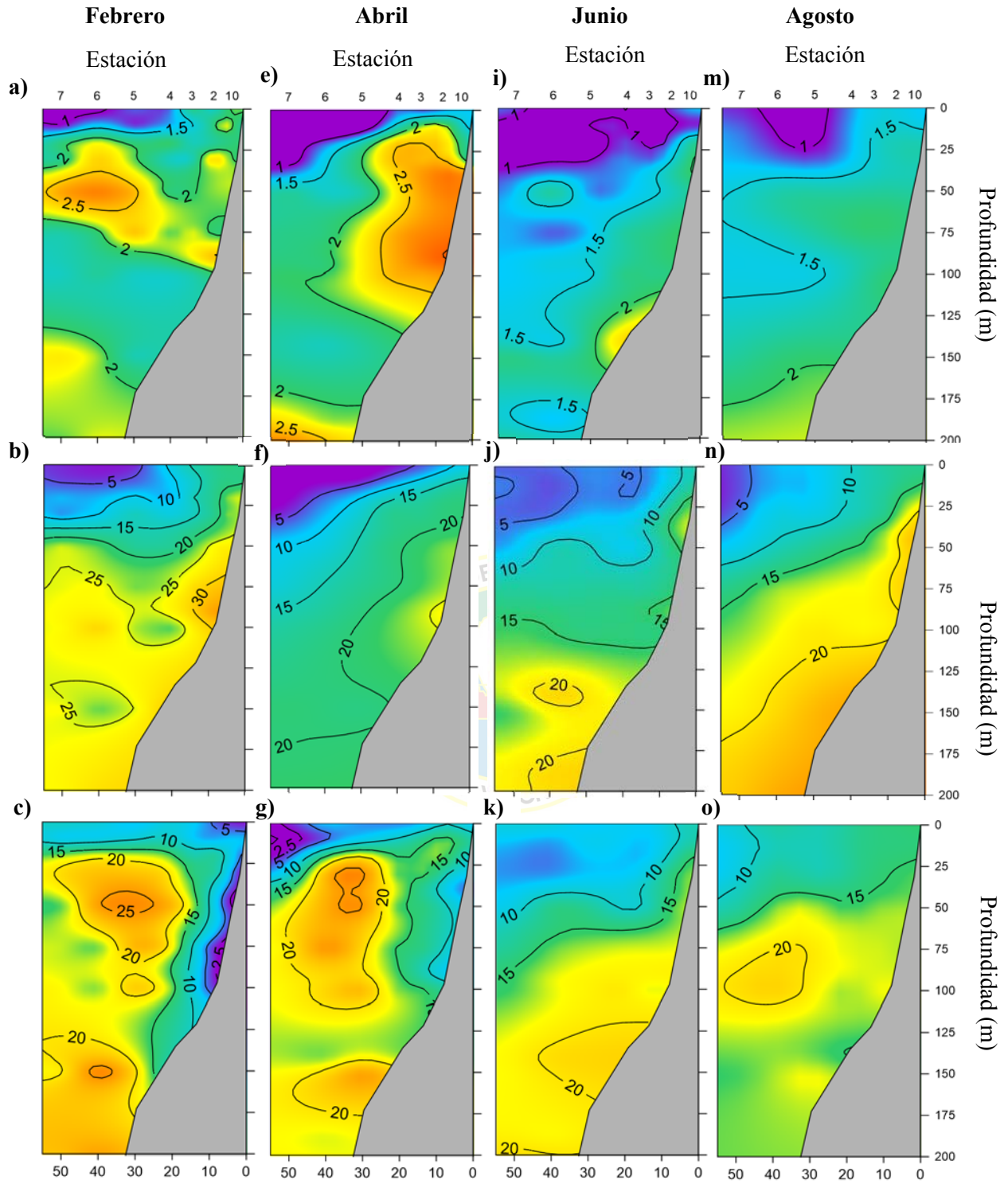
En febrero, las concentraciones de los fosfatos y silicatos fueron pobres en la estación E5, con valores de 1.01 y 5.59 μM respectivamente, en la capa de los primeros 10 m, aumentando moderadamente en E2 a niveles de 1.8 y 18.19 μM , respectivamente, en la misma capa (Tabla 3). Para ambos nutrientes, la nutriclina se ubicó a unos 25 m de profundidad en las tres estaciones, alcanzando un valor máximo de fosfatos de 2.78 (30 m) en la estación E2 (Figura 14a) y un valor máximo de silicatos de 35.02 (90 m) en la estación E2 (Figura 14b). La concentración de nitratos varió de 1.62 μM (90 m en E2) a 26.07 (50m en E5) (Figura 14c). Los mayores niveles de clorofila-a fueron encontrados en la capa de los primeros 20m en las tres estaciones. En la estación E0, la concentración de clorofila-a varió de 1.34 $\mu\text{g/L}$ (20m) a 3.13 $\mu\text{g/L}$ (10m); mientras que en E2, varió de 0.54 $\mu\text{g/L}$ (90m) a 3.10 $\mu\text{g/L}$ (10m) y en E5 presentó un rango de 0.03 $\mu\text{g/L}$ (150m) a 1.60 $\mu\text{g/L}$ (0m) (Figura 14d).

En abril, las concentraciones de los fosfatos y silicatos fueron pobres en la estación E5, con valores de 0.5 y 1.88 μM respectivamente, en la capa de los primeros 10m, aumentando moderadamente hacia la costa, con niveles de fosfato de 2.51 μM (E2) y de silicatos de 17.33 (E0) μM , en la misma capa. Para ambos nutrientes, la nutriclina se ubicó a unos 25 m de profundidad en las tres estaciones, alcanzando un valor máximo de fosfatos de 3.08 (90 m) (Figura 14e) y un valor máximo de silicatos de 26.48 μM (90 m) en la estación E2 (Figura 14f). La concentración de nitratos varió de 5.39 μM (0 m en E5) a 27.8 μM (30m en E5) (Figura 14g). La concentración de clorofila-a en la estación E0 varió de 0.90 (20m) a 1.83 $\mu\text{g/L}$ (0m); mientras que en E2, fluctuó de 0.34 (20m) a 2.30 $\mu\text{g/L}$ (0m) y en E5 presentó un rango de 0.03 (150m) a 3.87 $\mu\text{g/L}$ (10m)(Figura 14h).

En junio, las concentraciones de los fosfatos y silicatos en la capa de los primeros 10m presentó valores mínimos de 0.77 μM (E0) y 5.89 μM (E5) respectivamente. Para ambos nutrientes, la nutriclina se ubicó por debajo de los 50 m de profundidad en las tres estaciones, alcanzando un valor máximo de fosfatos de 2.56 μM (Figura 14i) y un valor máximo de silicatos de 17.36 μM a 140m, en

la estación E5 (Figura 14j). La concentración de nitratos presentó un mínimo y máximo de 6.27 μM (0m) a 21.25 μM (140m) en la estación E5 (Figura 14k). La clorofila-*a*, presentó valores por debajo de los meses anteriores en todas las estaciones. En la estación E0, fluctuó de 0.08 $\mu\text{g/L}$ (30m) a 0.44 $\mu\text{g/L}$ (0m); mientras que en E2, varió de 0.03 $\mu\text{g/L}$ (75m) a 0.43 $\mu\text{g/L}$ (0m) y en E5 presentó un rango de 0.01 $\mu\text{g/L}$ (75m) a 0.27 $\mu\text{g/L}$ (30m) (Figura 14l).

En agosto, las concentraciones de los fosfatos y silicatos permanecieron bajos respecto a junio. Entonces, la estación E5 con valores bajos de 0.66 y 5.35 μM respectivamente, aumentando hacia la costa de 2.03 μM (E2) y 14.84 μM (E0), respectivamente, en la capa de los primeros 10m. Para ambos nutrientes, la nutriclina se ubicó debajo de los 50m de profundidad en las tres estaciones, alcanzando un valor máximo de fosfatos de 2.03 μM (10m) en la estación E2 (Figura 14m) y un valor máximo de silicatos de 23.31 μM (100m) en la estación E5 (Figura 14n). La concentración de nitratos varió de 10.03 μM (10m) a 21.07 μM (50m) en la estación E5 (Figura 14o). La concentración de la clorofila-*a* en la estación E0 fluctuó de 0.4 $\mu\text{g/L}$ (10m) a 0.54 $\mu\text{g/L}$ (0m); mientras que en E2, varió de 0.06 $\mu\text{g/L}$ (90m) a 1.18 $\mu\text{g/L}$ (0m) y en E5 presentó un rango de 0.01 $\mu\text{g/L}$ (30m) a 0.25 $\mu\text{g/L}$ (145m) (Figura 14p).



Continúa

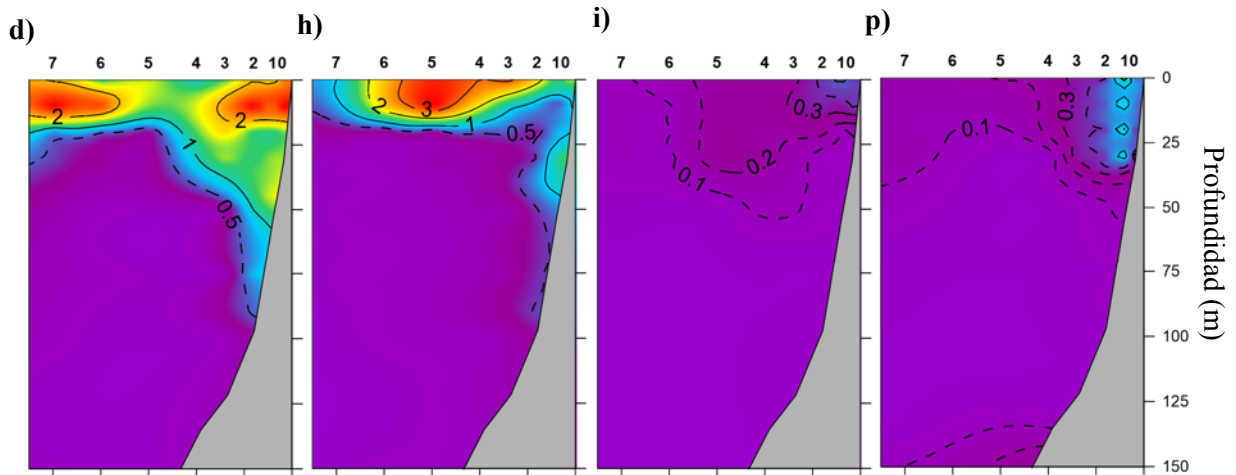


Figura 14. Distribución Vertical de Nutrientes: **a, e, i, m)** Fosfatos (μM); **b, f, j, n)** Silicatos (μM), **c, g, k, o)** Nitratos (μM) y **d, h, i, p)** Clorofila $-a$ durante los meses de febrero, abril, junio y agosto; sobre el perfil del margen continental frente a Callao.

4.2.1. Oxígeno disuelto de fondo

La concentración de oxígeno disuelto de fondo mostró un incremento de febrero/abril a junio/agosto en las estaciones E0 y E2 (Figura 15). Así, en la estación E0, el valor mínimo fue de 0.04 mL/L, en febrero y abril, mientras que el máximo fue 0.75 mL/L, en junio. En la estación E2, esta concentración varió de 0,03 (febrero) a 0.3 mL/L (junio). La estación de la plataforma externa (E5) presentó los valores más bajos y constantes de OD en el fondo, variando entre 0.03 mL/L (junio) y 0.08 mL/L (abril). Asimismo, por la diferencia batimétrica entre las estaciones se observó que la concentración de oxígeno en el fondo disminuyó de la estación somera a la profunda, durante el periodo de estudio.

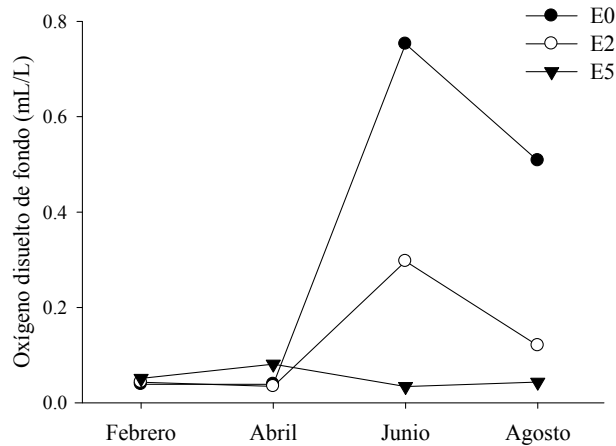


Figura 15. Variación espacio – temporal del oxígeno disuelto en el fondo del agua de mar (mL/L) en la E0, E2 y E5, durante los meses de estudio (febrero, abril, junio y agosto).

4.2.2. Sulfuros del agua intersticial

La concentración de sulfuros del primer centímetro en el agua intersticial y el inventario ($\text{H}_2\text{S}_{[0-2\text{cm}]}$) mostraron valores nulos (0.00 nmol/cm^3 y 0.0 nmol/cm^2 respectivamente) en la estación más profunda para febrero (E5). Los máximos valores fueron registrados en agosto, $715.28 \pm 1.51 \text{ nmol/cm}^3$ y $629.89 \pm 0.72 \text{ nmol/cm}^2$ respectivamente, en E0. Las diferencias espaciales fueron significativas entre las estaciones (prueba K-W, $p < 0.05$). Se observó que el contenido de sulfuros fue mayor en E0, disminuyendo en E2 y E5 (prueba Mann-Whitney, $p < 0.05$). La estación intermedia (E2) registró valores bajos en comparación con la estación somera ($p < 0.05$, Figura 16b). Así mismo, no se observó diferencia significativas entre los meses (prueba K-W, $p > 0.05$) (Figura 16).

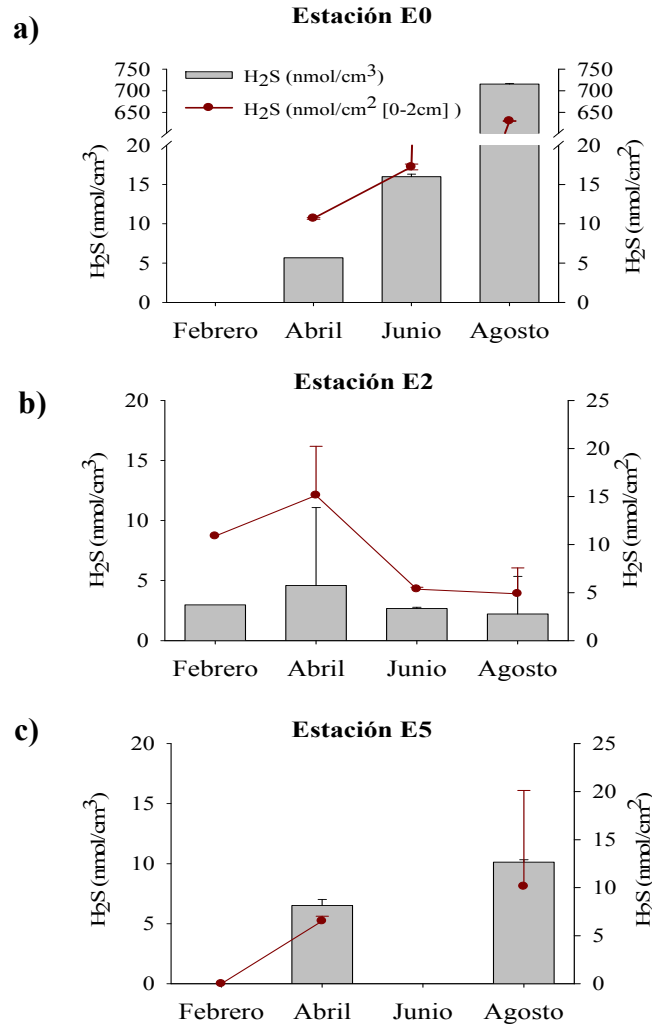


Figura 16. Distribución temporal del promedio de sulfuros (μM) \pm desviación estándar, en el primer centímetro de agua intersticial y el inventario de sulfuros (0-2cm) del sedimento (nmol/cm^2), frente a Callao de febrero a agosto de 2015, **a)** E0; **b)** E2 y **c)** E5. ND: No determinado.

4.2.3. Materia orgánica total y fitopigmentos

La concentración de la MOT superficial exhibió el menor valor en E0 con 8.03 % en el mes de agosto (Figura 17); mientras que el mayor valor se presentó en E5 con 29.27% en abril (Tabla 4). Espacialmente, la concentración de MOT aumentó desde la estación somera hacia la plataforma externa (Figura 17a). En cambio, temporalmente no se evidencian diferencias marcadas.

El contenido de clorofila-*a* en el sedimento superficial, indicador del flujo de materia orgánica de origen fitoplanctónico, presentó el valor más bajo de $5.37 \pm 0.63 \mu\text{g/g}$, en la estación E0', en agosto; mientras que la mayor concentración fue de $45.82 \pm 18.5 \mu\text{g/g}$, en la E2, en febrero (Tabla 4). En el análisis espacial y temporal existió diferencias significativas entre estaciones y entre meses (ANOVA de dos vías, $p < 0.05$) (Figura 17b). Mediante la prueba HSD Tukey, se determinó que el contenido de clorofila - *a* fue significativamente menor en el mes de agosto a comparación de los meses de febrero y abril ($p < 0.05$). Así mismo, espacialmente, se observó que la estación E0 registró menores valores de clorofila - *a* respecto a la E5 ($p < 0.05$). El contenido de feopigmentos de sedimento superficial varió de $24.60 \pm 2.08 \mu\text{g/g}$ en la estación somera (E0) a $219.08 \pm 28.38 \mu\text{g/g}$ en la estación E5. En tanto, la comparación de medias entre las estaciones y meses presentó también diferencias significativas (ANOVA, dos vías, $p < 0.05$), con un comportamiento similar al de la clorofila -*a*.

En cuanto a la razón Clorofila-*a*/Feopigmentos (Cl-*a*/Feop), se registró el mayor y el menor valor en la estación somera, con 0.14 ± 0.02 (E0') en febrero y 0.31 ± 0.16 (E0) en abril (Figura 17b). Espacial y temporalmente se observó diferencias significativas (ANOVA de dos vías, $p < 0.05$). Entre las estaciones la razón Cl-*a*/Feop fue mayor en E0 y menor en E5 (HSD Tukey, $p < 0.05$); mientras que temporalmente, los valores fueron mayores en febrero respecto a abril, junio y agosto (HSD Tukey, $p < 0.05$) (Figura 17c).

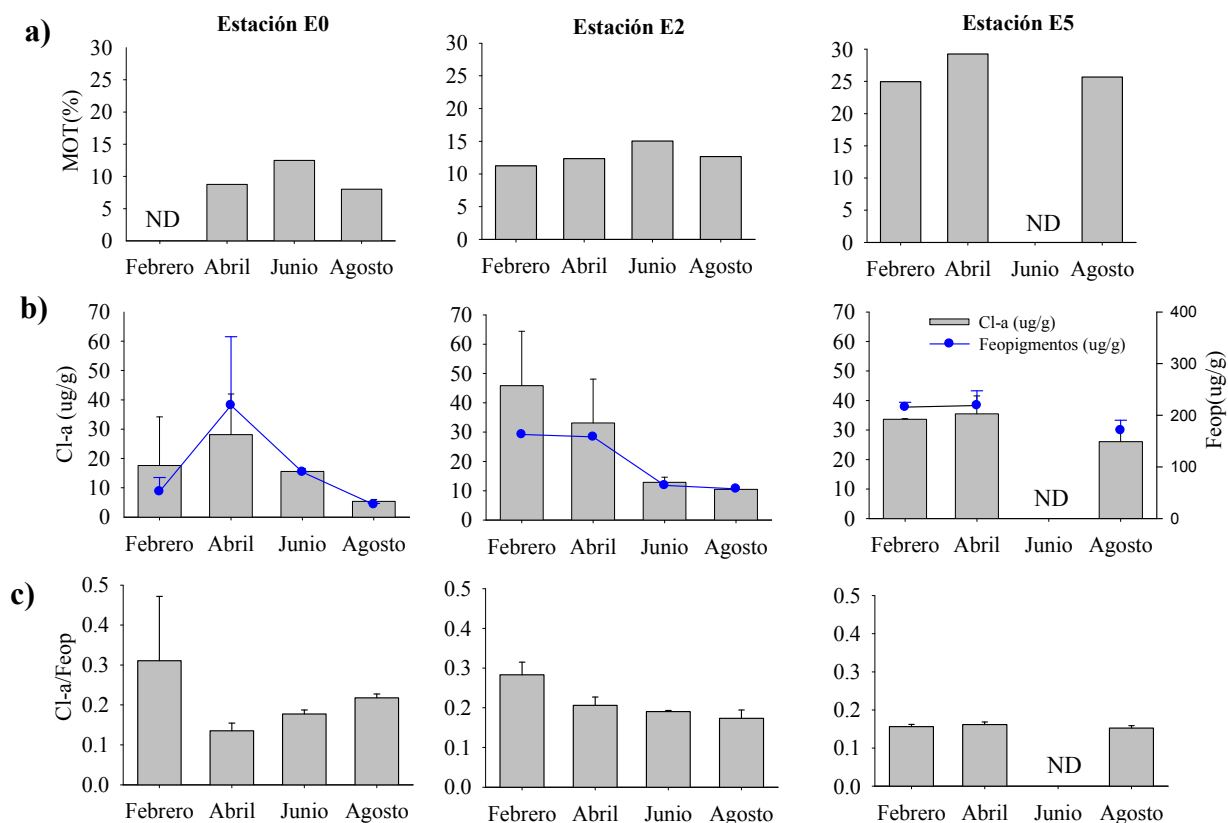


Figura 17. Distribución espacio-temporal de: **a)** MOT (%); **b)** promedio de Clorofila $-a$ vs. feopigmentos ($\mu\text{g/g}$) y **c)** razones promedio de clorofila $-a$: Feopigmentos \pm desviación estándar, en el primer centímetro de sedimento, en las estaciones del margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

4.2.4. Materia orgánica biodisponible

La Tabla 4 muestra los resultados de la determinación de los indicadores de materia orgánica biodisponible: carbohidratos lábiles, proteínas lábiles y lípidos totales durante el estudio.

Durante los meses evaluados, el contenido de PRTL_a fue menor en la estación somera (E0) en el mes de febrero, con 0.71 mg/g y mayor en la estación de la plataforma externa (E5), con 4.54 mg/g. Especialmente, en cada mes evaluado, el contenido de PRTL_a aumentó de la estación somera hacia la profunda (Figura 18a).

El contenido de CHOLa registró un valor mínimo de 2.22 mg/g y un valor máximo de 9.97 mg/g en la estación somera de febrero y abril respectivamente. En febrero y agosto, el contenido de CHOLa, aumentó de la estación somera a la estación profunda (Figura 18b).

El contenido total de LIP presentó la menor concentración en la estación E0 con 5,17 mg/g, en el mes de febrero y un valor máximo de 77.40 mg/g en la estación E5. En cada mes evaluado se observó que el contenido de LIP aumentó de la estación somera a la estación profunda (Figura 18c).

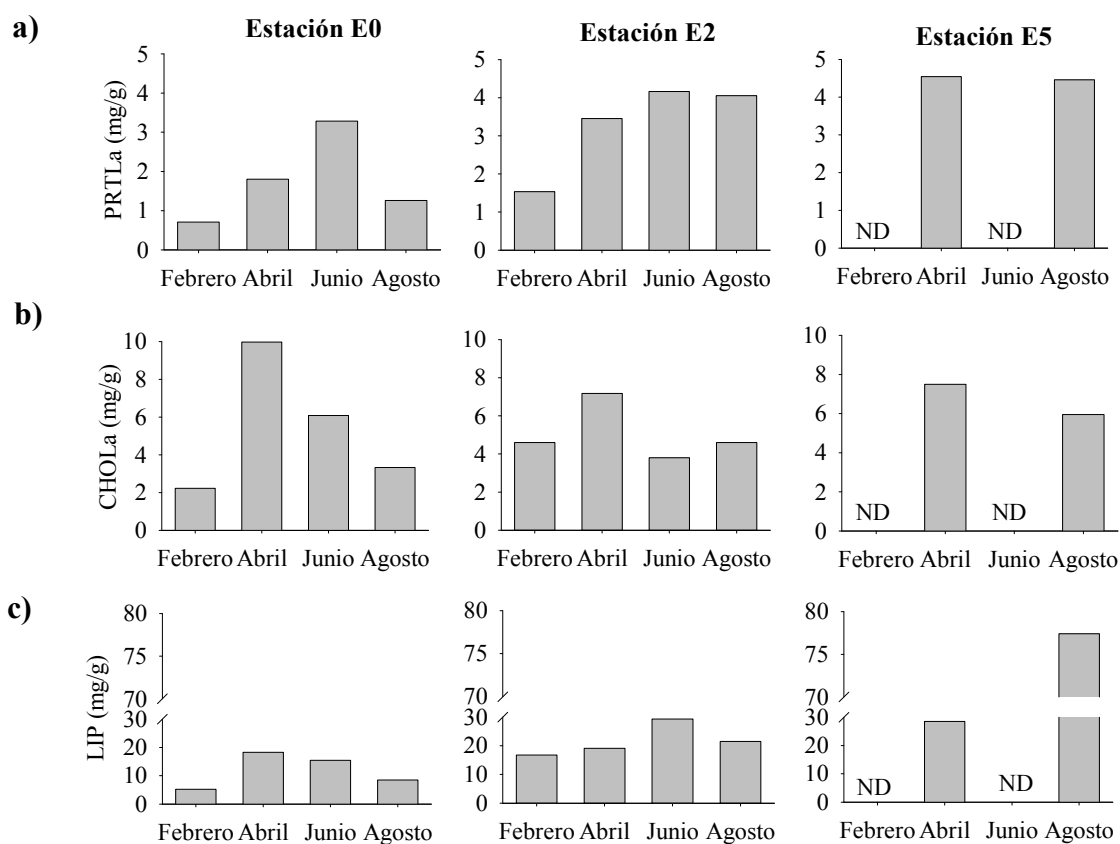


Figura 18. Distribución temporal de: **a)** PRT lábil (mg/g); **b)** CHO lábil (mg/g) y **c)** Lípidos totales (mg/g), del primer centímetro de sedimento, en las estaciones del margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

Tabla 4. Parámetros del sedimento superficial, cantidad de fitopigmentos (FPT), razón Cl-a/Feop, porcentaje de CaCO₃ y CO₂, y sulfuro en el agua intersticial en las estaciones de la plataforma continental frente a Callao.

Est	Mes	H ₂ S (nmol/cm ³) (0-1cm)	H ₂ S [0-2cm] (nmol/cm ²)	MOT (%)	Cl-a (µg/g)	Feop (µg/g)	Cl-a / Feop	PRTL _a (mg/g)	CHOL _a (mg/g)	LIP (mg/g)
E0	Febrero	ND	ND	ND	17.63±16.55	49.63 ± 27.49	0.31 ± 0.16	0.71	2.22	5.17
E2	Febrero	2.98	10.88	11.24	45.82±18.58	166.71 ± 84.47	0.28 ± 0.03	1.53	4.59	16.75
E5	Febrero	0	0	24.96	33.63±0.26	215.65±9.51	0.16 ± 0.01	ND	ND	ND
E0'	Abril	5.66	10.69 ± 0.1	8.75	28.12±13.85	217.88±13.03	0.14 ± 0.02	1.81	9.97	18.29
E2	Abril	4.59±6.49	15.13 ± 5.11	12.35	33.14±14.97	162.13±36.73	0.21 ± 0.02	3.45	7.17	19.06
E5	Abril	0.31±0.43	6.52 ± 0.5	29.27	35.48±6.09	219.08±28.38	0.16 ± 0.01	4.54	7.49	28.54
E0	Junio	15.99±0.32	17.23 ±0.37	12.49	15.58±0.99	87.75±0.73	0.18 ± 0.01	3.28	6.08	15.4
E2	Junio	2.68±0.11	5.37 ±0.19	15.05	12.86±1.75	67.47±8.25	0.19 ± 0.002	4.16	3.79	29.31
E0'	Agosto	715.28±1.51	629.89 ±0.72	8.03	5.367±0.63	24.60±2.08	0.22 ± 0.01	1.26	3.32	8.49
E2	Agosto	2.22±3.14	4.88 ±2.69	12.65	10.434±0.87	60.92±12.39	0.17 ± 0.02	4.05	4.59	21.48
E5	Agosto	4.59±0.22	10.13 ±0.20	25.68	26.029±3.69	170.55±19.89	0.15 ± 0.01	4.46	5.95	77.4

4.3. Composición y abundancia del zooplancton de la columna de agua: Holoplancton y meroplancton

Durante el periodo de estudio, la composición taxonómica de la comunidad del zooplancton, a nivel superficial y de fondo, estuvo conformada por importantes grupos: Copepoda, Crustacea (que incluye estadios tempranos como nauplio y zoea), Cirripedia (nauplio y cipris), Euphausiidae (Caliopsis y Furcilia), Mollusca (Gastropoda y Pelecypoda), Brachipoda (Cladocera), Decapoda (*Pleuroncodes monodon*), Platyhelminthes, Appendicularia (*Oikopleura* spp.), larvas y huevos de peces (Engraulidae), Hyperiidia, Chaetognatha y Polychaeta (holoplanctónicos y meroplanctónicos). Esto permitió determinar la importancia de los poliquetos meroplanctónicos, tanto en la superficie (a 10m de la superficie) y fondo (a 5 m del fondo) de la columna de agua.

4.3.1. Capa superficial

Durante el muestreo de febrero, en la estación E0 se determinó copéodos con abundancia de 878908 ind/100m³ (72% del total), seguidos de los poliquetos meroplanctónicos, con abundancia de 194600 ind/100m³ (16%) y larvas de crustáceos con 80943 ind/100m³ (6.6 %). En E2, los copéodos dominaron con 45301 ind/100m³ (38.9%), seguidos de los poliquetos meroplanctónicos con 29604 ind/100m³ (25.4%) y larvas de crustáceos con 16566 ind/100m³ (14.2%). Así mismo, en E5 se registró larvas de crustáceos con 560301 ind/100m³ (97%), seguidos del apendiculario *Oikopleura* spp. con 13577 ind/100m³ (2.3%).

En abril, la estación somera (E0') se determinaron copéodos con abundancia de 742683 ind/100m³ (53%); seguidos de poliquetos meroplanctónicos con 451404 ind/100m³ (32.4%). En E2, los copéodos dominaron con 6855643 ind/ 100m³ (72.7%), seguidos de larvas de crustáceos con abundancia de 1071393 ind/ 100m³ (11.4%), mientras que los poliquetos meroplanctónicos



alcanzaron 797 ind/ 100m³ (<1%). En la estación más profunda (E5), fueron abundantes las larvas de crustáceos con 33030993 ind/ 100m³ (52.7%), seguidos de los copépodos con 22688764 ind/ 100m³ (36%) y sin presencia de poliquetos meroplanctónicos.

En junio, en la estación E0 se encontraron copépodos con una abundancia de 54420ind/100m³ (83.9%), seguidos de *Oikopleura* spp. con 4967 ind/100m³ (7.7%) y poliquetos meroplanctónicos con 18 ind/100m³ (<1%). Así mismo, en E2, los copépodos dominaron con 254296 ind/ 100m³ (79.1%), seguidos de *Oikopleura* spp. con 32152 ind/ 100m³ (10%); no se registraron poliquetos meroplanctónicos.

En agosto, en la estación E0' se registró copépodos con abundancia de 682585 ind/100m³ (88.76%); seguidos de los cirrípedos, con 40613 ind/100m³ (5.3%) y poliquetos meroplanctónicos con 3704 ind/100m³ (<1%). En E2, los copépodos dominaron con 352616 ind/100m³ (63.7%), seguidos de larvas de crustáceos, que registraron una abundancia de 115469 ind/ 100m³ (20.9%) y poliquetos meroplanctónicos con 97 ind/ 100m³ (<1%). La estación E5 presentó mayor abundancia de copépodos con 46845 ind/ 100m³ (95.2%), seguidos de Hyperiidea y Chaetognatha (otros) con 1439 ind/100m³ (2.9%); no se encontraron poliquetos meroplanctónicos.

4.3.2. Capa de fondo

En febrero, la estación E0 presentó a los poliquetos meroplanctónicos con 37375 ind/100m³ (62.5%), seguidos por los copépodos con 18400 ind/100m³ (30.8%) y otros (huevos de Engraulidae) con 2587 ind/100m³ (4.3%). En E2, los copépodos dominaron con 19919 ind/100m³ (95%), seguidos por los poliquetos meroplanctónicos, con 595 ind/100m³ (2.8%) y decápodos (*Pleuroncodes monodon*) con 216 ind/100m³ (1%). Así mismo, en E5 se registró copépodos con 30974 ind/100m³ (94.4%), larvas de crustáceos con 1618 ind/100m³ (4.9%) y poliquetos meroplanctónicos con 53 ind/100m³ (<1%).

Figura 19.

En abril, la estación somera (E0') presentó dominancia de poliquetos meroplanctónicos con 46955 ind/100m³ (96.2 %), seguidos por copépodos con 1555 ind/100m³ (3.2%). En la estación intermedia (E2), los copépodos se presentaron con 162223 ind/100m³ (88.9%), así como larvas de crustáceos con 17235.32 ind/100m³ (9.5%) y poliquetos meroplanctónicos con 604 ind/100m³ (<1%). En E5, fueron abundantes los copépodos con 106970 ind/100m³ (68.8 %), seguidos por larvas de crustáceos con 35656 ind/100m³ (22.9%) y poliquetos meroplanctónicos con 3875 ind/100m³ (2.5%).

En junio, en la estación E0 se encontró copépodos con una abundancia de 1140964 ind/100m³ (91.1%), seguidos por larvas de crustáceos con 49279 ind/100m³ (4%), *Oikopleura* spp. con 25509 ind/100m³ (2.1%) y poliquetos meroplanctónicos con 8334 ind/100m³ (<1%). Así mismo, en E2, los copépodos dominaron con 321284 ind/100m³ (72.3%), seguidos por larvas de crustáceos con 93079 ind/100m³ (20.9%), *Oikopleura* spp con 27744 ind/100m³ (6.2 %) y poliquetos meroplanctónicos con 215 ind/100m³ (<1%).

Finalmente, en agosto, en la estación E0' se determinaron copépodos con una abundancia de 2084900 ind/100m³ (75.2%); seguidos larva de Gastropoda y Pelecypoda con 314942 ind/100m³ (11.4%) y larvas de cirrípedos (nauplios y cipris) con 133433 ind/100m³ (4.8%); la abundancia de los poliquetos meroplanctónicos fue de 2851 ind/100m³ (<1%). En E2, los copépodos dominaron con 72703 ind/100m³ (73.1%), luego las larvas de crustáceos se presentaron con 23531 ind/100m³ (23.7%), seguidos por *Oikopleura* spp. con 2811 ind/100m³ (2.8%) y poliquetos meroplanctónicos con 115 ind/100m³ (<1%). En E5 se presentaron las menores abundancia, donde los copépodos alcanzaron 151 ind/100m³ (92.3%), seguidos por larvas de crustáceos con 12 ind/100m³ (7.7 %) y no se registró presencia de poliquetos meroplanctónicos (Figura 19).

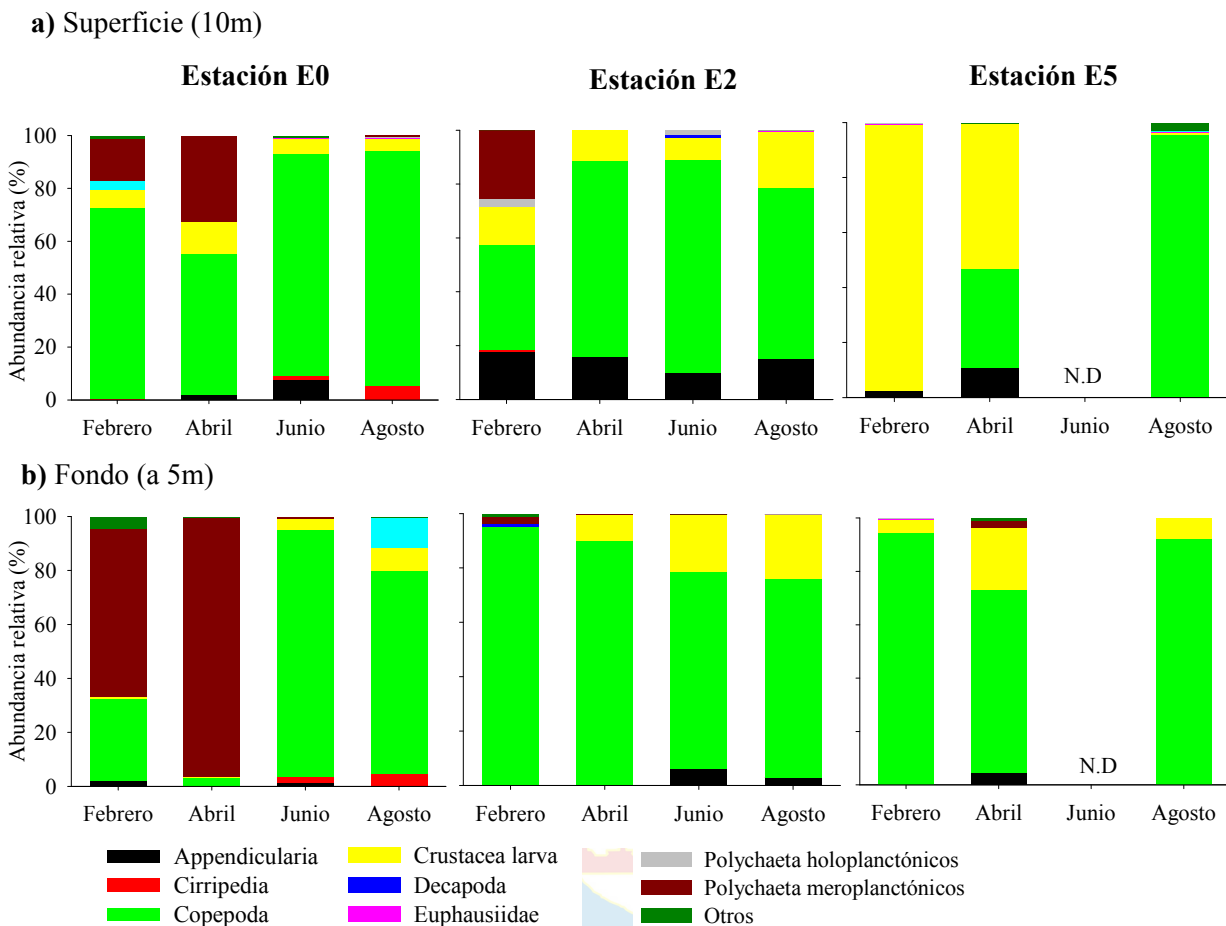


Figura 19. Abundancia relativa de los grupos taxonómicos de la comunidad del zooplankton, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses de estudio, sobre el margen continental frente a Callao.

4.4. Poliquetos bentónicos en la columna de agua y sedimentos

En el análisis de la columna de agua y sedimento, se registró un total de 25 especies de poliquetos bentónicos, dentro de 15 familias (Tabla 5, Anexo 2). La familia Spionidae fue la más diversa con seis (06) especies: *Paraprionospio pinnata*, *Boccardia chilensis*, *Polydora* spp., *Prionospio* sp., *Spiophanes* sp. y Spionidae sp1, la familia Pilargidae, con tres (03) especies: *Hermundura fauveli*, *Sigambra bassi* y una especie indeterminada (Pilargidae), Syllidae, con dos (02) especies: *Syllis magdalena* y una especie indeterminada (Syllidae). En la tabla 5 se describe a las otras familias que

registraron una especie y el estadio respectivo. Se encontró a 3 especies con ciclo biológico holobentónico, los cuales se encontraron en el sedimento: *H. fauveli*, *Tharyx* sp. y Pilargidae.

Tabla 5. Lista de familias y especies de poliquetos bentónicos registrados en la columna de agua y sedimento durante los meses de estudio, en el margen continental frente a Callao.

Familia	Especie	Ciclo biológico	Estadio
Amphinomidae	Amphinomidae	Bentopelágico	Larva
Capitellidae	<i>Capitella capitata</i>	Bentopelágico	Adulto
	<i>Mediomastus sp.</i>	Bentopelágico	Juvenil
Cirratulidae	<i>Tharyx sp.</i>	Holobentónico	Juvenil y adulto
Cossuridae	<i>Cossura chilensis</i>	Bentopelágico	Adulto
Dorvilleidae	Dorvilleidae	Bentopelágico	Larva
Glyceridae	Glyceridae	Bentopelágico	Larva y juvenil
Hesionidae	Hesionidae	Bentopelágico	Juvenil
Magelonidae	<i>Magelona phyllisae</i>	Bentopelágico	Larva, juvenil y adulto (Anexo 1)
Nephtyidae	<i>Nephtys ferruginea</i>	Bentopelágico	Larva, juvenil y adulto (Anexo 1)
Onuphidae	<i>Diopatra cf. chilensis</i>	Bentopelágico	Juvenil y adulto
	<i>Hermundura fauveli</i>	Holobentónico	Adulto
Pilargidae (03 spp)	<i>Sigambra bassi</i>	Bentopelágico	Larva, juvenil y adulto
	Pilargidae	Holobentónico	Juvenil
Orbiniidae	<i>Leitoscoloplos chulensis</i>	Bentopelágico	Juvenil y adulto
Polynoidae	Harmothoinae	Bentopelágico	Adulto
Sabellariidae	Sabellariidae	Bentopelágico	Larva
	<i>Boccardia chilensis</i>	Bentopelágico	Larva
	<i>Paraprionospio pinnata</i>	Bentopelágico	Larva, juvenil y adulto (Anexo 1)
	<i>Polydora spp.</i>	Bentopelágico	Larva
Spionidae (06 spp.)	<i>Prionospio sp.</i>	Bentopelágico	Larva
	<i>Spiophanes sp.</i>	Bentopelágico	Larva, juvenil y adulto
	Spionidae spl	Bentopelágico	Larva
Syllidae (02 spp.)	<i>Syllis magdalena</i>	Bentopelágico	Larva
	Syllidae	Bentopelágico	Larva

4.4.1. Estadio larval

4.4.1.1. Capa superficial

En el análisis de poliquetos a nivel de 10m de la superficie se registró nueve (09) especies pertenecientes a las familias Spionidae (*B. chilensis*, *P. pinnata*, *Polydora* spp., *Spiophanes* sp.), Magelonidae (*M. phyllisae*), Nephtyidae (*N. ferruginea*), Sabellariidae, Syllidae (*Syllis magdalena*) y Amphinomidae.

En el mes de febrero, en E0 se registró una mayor abundancia relativa de la familia Magelonidae (45.4 %), seguida de Spionidae (42.6 %), Nephtyidae (8.67%), Syllidae (2.4 %) y Sabellariidae (0.9 %) (Figura 20a). Específicamente, *M. phyllisae* presentó una abundancia relativa de 45.4%; seguida de *P. pinnata* con 40.9 %; *N. ferruginea* (8.7 %); *Syllis magdalena* con 2.4 %, *Polydora* spp. con 1.7 % y Sabellariidae con menos del 1%. En E2, la abundancia de *M. phyllisae* alcanzó 99.3 %, mientras que Sabellariidae y *Spiophanes* sp. se presentaron con un porcentaje menor a 1% del total. En E5 solamente se presentó *Spiophanes* sp (Figura 21a, Anexo 3).

Durante el muestreo de abril, en E0' también se registró una mayor abundancia relativa de la familia Magelonidae (90.2%), seguida de Spionidae (9.4%), mientras que la suma de Nephtyidae, Syllidae y Sabellariidae representó menos del 1% (Figura 20a). En cuanto a las especies, *M. phyllisae* mostró la mayor abundancia relativa de 90.2%; *P. pinnata* de 9%; así mismo, *B. chilensis*, *Polydora* spp, *N. ferruginea*; *Syllis magdalena* y Sabellariidae representaron solo el 1% del total (Figura 21a, Anexo 4). Mientras que en E2, sólo se registró a la familia Nephtyidae, especie *N. ferruginea*, con 797 ind/100m³. En la estación más profunda (E5) no se registró poliquetos bentónicos.

En junio, en la estación E0 el poliqueto dominante fue *N. ferruginea* con 18 ind/100m³. En la estación E2 no se registró poliquetos bentónicos.

En agosto, en E0', se registró una mayor abundancia relativa de la familia Spionidae (90.6%), seguida de Sabellariidae (9.4%) (Figura 20a). Específicamente, *Spiophanes* sp. representó el 43.6%; *P.*

pinnata, 42.8%; Sabellariidae, 9.7% y *B. chilensis* 3.9% (Figura 21a, Anexo 5).. En E2, predominó la familia Spionidae con la presencia de *P. pinnata*, donde su abundancia alcanzó 97 ind/100m³. En E5 no se registró presencia de poliquetos bentónicos.

La abundancia total de larvas de poliquetos estuvo por encima de 451405 ind/100m³ en la estación somera (E0'), durante el muestreo de abril, disminuyendo hacia la plataforma externa. Espacialmente, esta disminución también se observó en todas las prospecciones (Figura 22a). La mayor riqueza específica fue determinada en E0' en abril (S=7; D_{Mg}=0.46). Así mismo, la riqueza presentó diferencias significativas entre las estaciones (prueba de Kruskal-Wallis, H₂ = 5.77, p < 0.05), y disminuyó hacia la plataforma externa, con mayor diferencia entre la estación somera y profunda (Prueba Mann-Whitney, U₂, p < 0.05; Figura 22a) y los mayores valores del índice de diversidad de Shannon (H') se registraron en las estaciones someras de todos los meses, con mayor valor de 1.64 bits en febrero (Anexo 7).

El análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) indicó que las especies de larvas de poliquetos que más contribuyeron a la comunidad, en las estaciones y meses de estudio, fueron: *M. phyllisae*, *N. ferruginea*, *P. pinnata*, *B. chilensis*, *S. magdalena* y Sabellariidae (Anexo 9).

4.4.1.2. Capa de fondo

Durante el periodo de estudio, a 5 m del fondo, se encontraron un total de 13 especies de meroplantónicos, los cuales pertenecieron a 08 familias: Spionidae (*P. pinnata*, *Polydora* spp., *Prionospio* sp., *Spiophanes* sp. y Spionidae sp1), Magelonidae (*M. phyllisae*), Nephtyidae (*N. ferruginea*), Pilargidae (*Sigambra bassi*), Sabellariidae, Syllidae, Dorvilleidae y Glyceridae.

En el mes de febrero, en E0 se registró la mayor abundancia relativa de la familia Magelonidae (*M. phyllisae*, 69.2%), seguida de Spionidae (*P. pinnata*, 30%) y Nephtyidae (*N. ferruginea* <1%) (Figura 20b). En E2, Sabellariidae alcanzó el 50%, mientras que *M. phyllisae*, *N. ferruginea* y *S. bassi* se

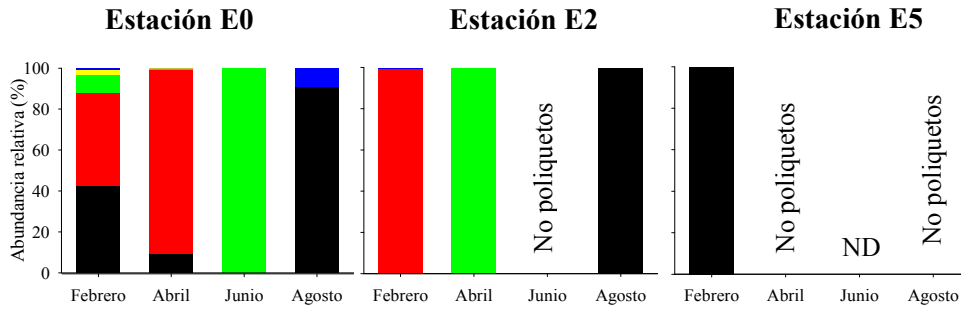
presentaron con 16.7% cada una (Figura 21b, Anexo 3). En E5 se presentó *P. pinnata* con 26 ind/100m³.

En abril, en E0' también se registró una mayor abundancia relativa de la familia Magelonidae (65.4%), seguida de Spionidae (33.7%); mientras que la suma de Nephtyidae y Sabellariidae representó menos del 1% (Figura 20b). Así mismo, *P. pinnata* presentó el 33.4%. En E2, la abundancia de *M. phyllisae* alcanzó el 75%, mientras que *N. ferruginea* se presentó el 25% (Figura 21b, Anexo 4). En E5 se presentó sólo la especie *P. pinnata* (3875 ind/100m³).

En junio, en E0, la familia dominante fue Spionidae (63.5%), seguida de Sabellariidae (33.9%), Nephtyidae (1.7%) y Syllidae (<1%) (Figura 20b). Específicamente, la mayor abundancia relativa la presentó *P. pinnata* con 35.6%, seguida de Sabellariidae con 33.9%, *Polydora* spp. con 14.8% y *B.chilensis* con 10.4%. En E2, Sabellariidae representó el 66.7%, seguida de la familia Spionidae, con la especie *Spiophanes* sp., con 33.7% (Figura 21b, Anexo 5).

En el muestreo de agosto, en E0' se registró una mayor abundancia relativa de la familia Spionidae (80.6%), seguida de Sabellariidae (16.1%), Nephtyidae (1%), Dorvilleidae (1%) y Glyceridae (1%) (Figura 20b). Específicamente, *P. pinnata* presentó el 39.8%; seguido de *Spiophanes* con 20.4%. En E2, la familia Spionidae registró dos especies, donde *P. pinnata*, alcanzó el 96% del total. En E5 no se registró presencia de poliquetos bentónicos (Figura 21b, Anexo 6).

a) Superficie



b) Fondo

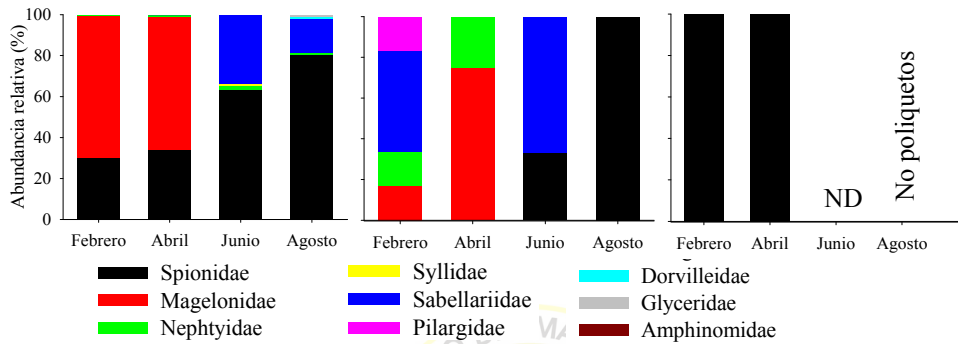
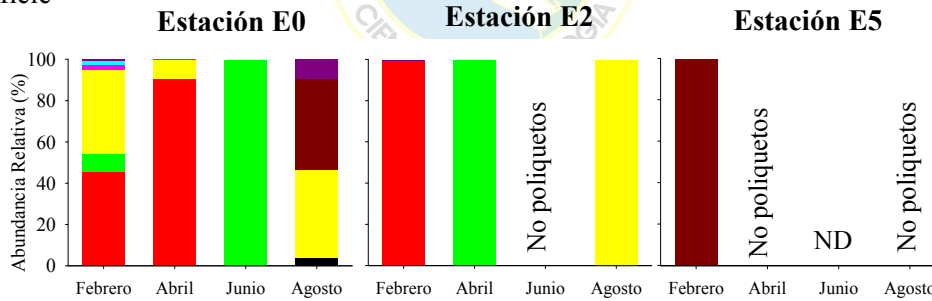


Figura 21. Abundancia relativa de las familias de poliquetos bentónicos, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

a) Superficie



b) Fondo

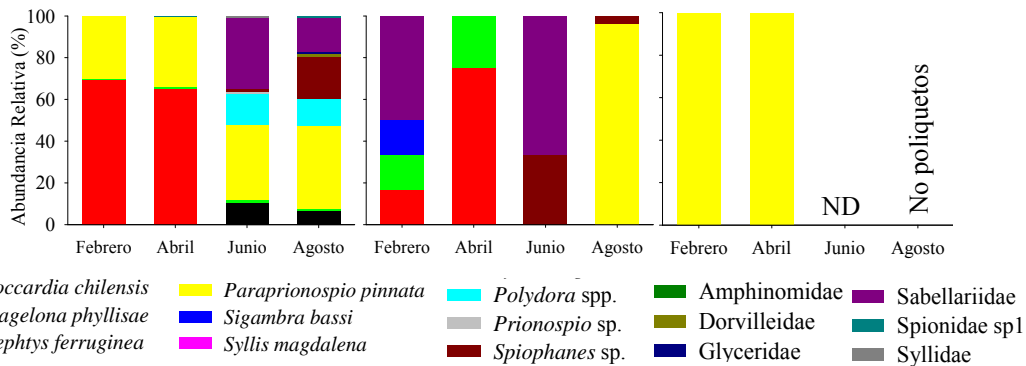
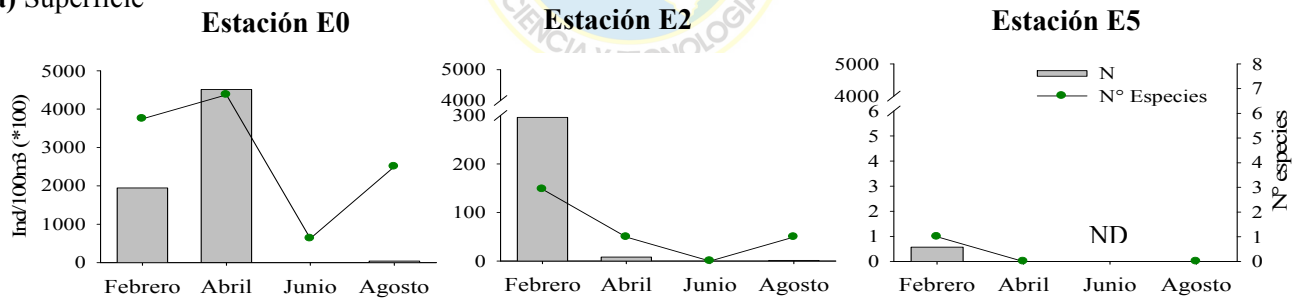


Figura 20. Abundancia relativa de larvas de poliquetos, a) a nivel de superficie (10m), b) a 5m de fondo por estaciones y durante los meses sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

Las abundancias totales de larvas de poliquetos bentónicos en el fondo fueron inferiores a las determinadas en la superficie, alcanzando un valor de 46956 ind/100m³ en la estación somera (E0'), durante el muestreo de abril. En los cuatro meses estudiados, la abundancia disminuyó desde E0 a E5 (Figura 22b). La mayor riqueza específica fue encontrada en E0' en agosto (9; D_{Mg}= 1.01). Espacialmente, la riqueza presentó diferencias significativas entre las tres estaciones (prueba de Kruskal-Wallis, H₂= 8.42, p < 0.01; Mann – Whitney, U₂, p < 0.05), disminuyendo hacia la plataforma externa (Figura 22b) y temporalmente, no mostró diferencias significativas entre los meses (p > 0.05). Así mismo los mayores valores del índice de diversidad de Shannon se registraron en las estaciones someras de todos los meses, con un máximo valor de 2.34 bits en E0 (agosto).

El análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) indicó que las especies de larvas de poliquetos que más contribuyeron a la comunidad, en las estaciones y meses de estudio, fueron: *M. phyllidae*, *N. ferruginea*, *P. pinnata*, *B. chilensis*, *Spiophanes* sp., *Polydora* spp., Spionidae sp1. y Sabellaridae (Anexo 10).

a) Superficie



b) Fondo

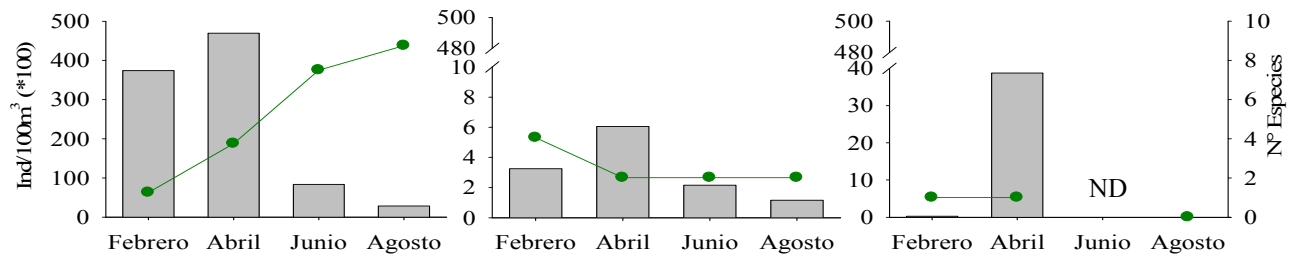


Figura 22. Variación temporal de la abundancia y riqueza de especies del estadio larval de poliquetos bentónicos a) en la superficie y b) fondo, por estaciones en el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

4.4.2. Estadio juvenil

Se determinaron 13 especies de poliquetos en estadio juvenil en los sedimentos, pertenecientes a 10 familias: Magelonidae (*M. phyllisae*), Spionidae (*P. pinnata*, *Spiophanes* sp.), Pilargidae (*Sigambra bassi* y una especie no determinada), Nephtyidae (*Nephtys ferruginea*), Onuphidae (*Diopatra* cf. *chilensis*), Cirratulidae (*Tharyx* sp.), Orbiniidae (*Leitoscoloplos chilensis*), Capitellidae (*Mediomastus* sp), Glyceridae, Hesionidae y Pilargidae (Tabla 5).

Durante el muestreo de febrero, en E0, los juveniles de Pilargidae fueron los más abundantes, con 78.6 %, seguidos de *M. phyllisae* y *S. bassi*. En E2, se presentaron en igual proporción Pilargidae y *M. phyllisae* con 35.7% cada una, además de *N. ferruginea* y *P. pinnata* con abundancias relativas de 14.3% cada una. En E5, sólo se registró *M. phyllisae* (Figura 23).

En abril, en la estación más somera (E0'), la especie *M. phyllisae* fue la más representativa con 53.3%, seguida de *Tharyx* sp. con 20%, así como de *S. bassi*, *N. ferruginea* y *P. pinnata*. Así mismo en E2, Pilargidae se presentó un 48.2% del total, seguido de *N. ferruginea*, con 31.5%, *P. pinnata* con 9.3% y *M. phyllisae*, *S. bassi* y Pilargidae. En E5, sólo se encontraron *M. phyllisae* y *P. pinnata* con abundancias muy pobres (Figura 23, Anexo 4).

En junio, en E0 se registró a *N. ferruginea*, *P. pinnata* y Pilargidae con abundancias relativas de 33.33% cada uno, con densidades promedios muy pobres (Anexo 5). En E2, Pilargidae representó el 53.8% del total, seguida de *M. phyllisae*, *Mediomastus* sp. y *P. pinnata* (Figura 23).

En agosto, en E0, *L. chilensis* fue la especie más abundante con 48.6 %, seguida de Pilargidae con 17.1%, *Diopatra* cf. *chilensis*, *Tharyx* sp, *M. phyllisae*, *P. pinnata*, *S. bassi* y Glyceridae, todas las cuales presentaron un 2.9%, cada una. En E2, Pilargidae presentó el 72%, seguida de *M. phyllisae* con 24% y *Mediomastus* sp. con 4%. En la E5, sólo se registró *P. pinnata* con una densidad baja (Figura 23, Anexo 6).

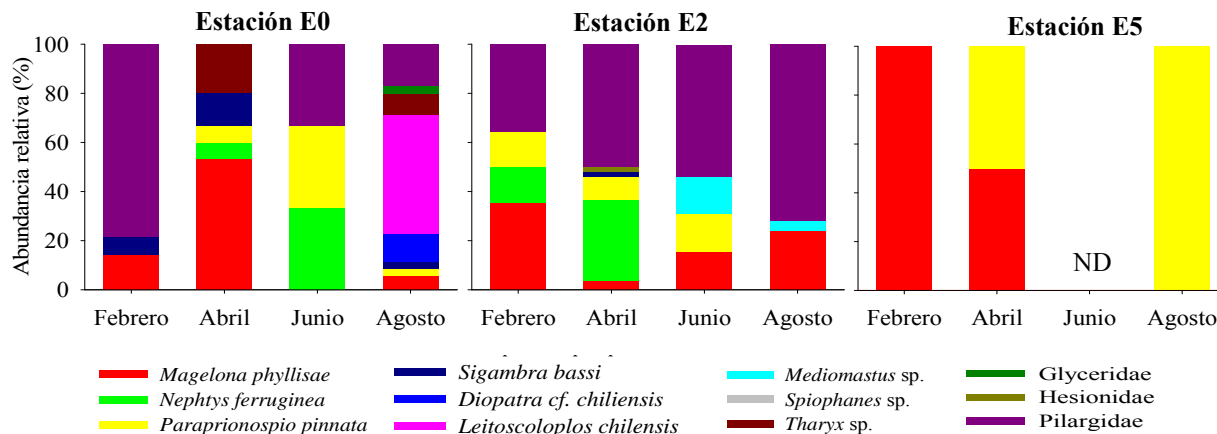


Figura 23. Abundancia relativa de poliquetos bentónicos juveniles por estación y meses de muestreo sobre el margen continental frente a Callao. ND: No Determinado.

La mayor densidad total de poliquetos juveniles fue de 18 ind/10cm² en la estación E2 (Figura 24), durante el muestreo de abril. La variación entre las estaciones resultó ser significativa (PERMANOVA, $p < 0.01$, Tabla 6), donde la diferencia entre las estación somera y profunda fue significativa (U_2 , $p < 0.05$) y temporalmente no encontró variación significativa (Tabla 6). Así mismo, las diferencias relativas entre las estaciones variaron entre los meses (interacción de estaciones por mes, $p < 0.05$, Tabla 6).

El mayor número de especies promedio fue registrado en E0 de agosto ($S=8$; $D_{Mg}= 2.85$). A nivel espacial se presentó diferencias significativas (PERMANOVA, $p < 0.01$, Tabla 6); registrándose una mayor diversidad en la estación somera y media de la plataforma, disminuyendo hacia la plataforma externa (U_2 , $p < 0.05$, Figura 24 a y b) y no se encontró una variación significativa general entre los meses (Tabla 6). Las diferencias entre las estaciones variaron entre los meses (estación*mes, $p < 0.02$, Tabla 6). El máximo valor del Índice de diversidad de Shannon (H') fue 2.28 bits en la estación E0, de agosto (Anexo 8).

La supervivencia de los poliquetos en estadio juvenil en relación a las larvas de fondo, se observó mediante la figura 24b, donde la razón del número de especies de juveniles en el sedimento y el

número de especies en el larvas de fondo, mostró mayores valores en la estación de la plataforma externa.

Tabla 6. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias entre la densidad (N) y número de especies (S) de poliquetos juveniles en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.

	Factor	Gl	Suma de cuadrados	MS	Pseudo-F	P(perm)
N	Estación	2	419.7	209.8	9.9	0.0004
	Mes	3	132.8	44.3	2.1	0.075
	Estación*Mes	6	169.5	28.3	1.3	0.05
	Residual	14	296	21.1		
	Total	25	1018			
S	Estación	2	38.25	19.1	15.7	0.0001
	Mes	3	7.99	2.7	2.2	0.07
	Estación*Mes	6	13.2	2.2	1.8	0.02
	Residual	14	17	1.2		
	Total	25	76.5			

En tanto, la composición de la comunidad de poliquetos juveniles varió significativamente entre las 3 estaciones evaluadas (PERMANOVA, $p < 0.01$), pero no entre los meses ($p > 0.05$). Así mismo, las diferencias relativas entre las estaciones variaron entre los meses (interacción de estaciones*mes, $p < 0.05$, Tabla 7).

El análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) indicó que las especies de poliquetos juveniles que más contribuyeron a la comunidad, en las estaciones y meses de estudio, fueron: *M. phyllidae*, *N. ferruginea*, *P. pinnata*, *S. bassi*, *Tharyx* sp., *L. chilensis*, *Diopatra* cf. *chiliensis* y Pilargidae (Anexo 11).

Tabla 7. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias de la comunidad de poliquetos juveniles en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.

Factor	gl	Suma de cuadrados	MS	Pseudo-F	P(perm)
Estación	2	11306	5653.1	3.94	0.004
Mes	3	7477.6	2492.5	1.74	0.13
Estación*Mes	5	13557	2711.4	1.89	0.046
Residual	11	15779	1434.4		
Total	21	50554			

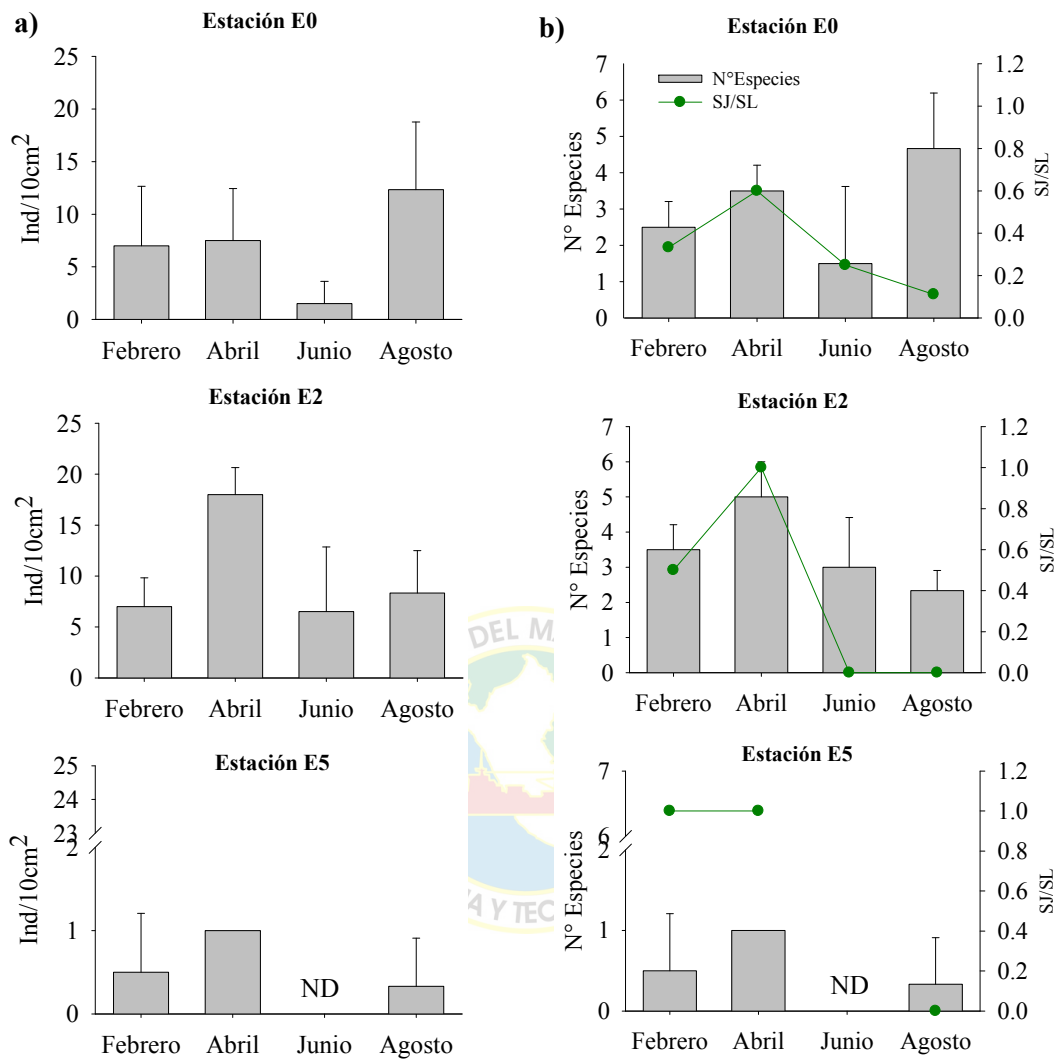


Figura 24. a) Abundancia y **b)** riqueza de poliquetos juveniles y razón entre la diversidad de estadio juvenil y larval de poliquetos bentónicos (SJ/SL) en las estaciones E0, E2 y E5 en el margen continental frente al Callao, durante el periodo de estudio.

4.4.3. Estadio adulto

Dentro de la macrofauna, se registraron a 12 especies de poliquetos, que pertenecen a 11 familias: Spionidae (*P. pinnata*, *Spiophanes* sp), Magelonidae (*M. phyllisae*), Nephtyidae (*N. ferruginea*), Cossuridae (*C. chilensis*), Capitellidae (*C. capitata*), Cirratulidae (*Tharyx* sp.), Pilargidae

(*Hemundura fauveli* y *Sigambra bassi*), Orbiniidae (*L. chilensis*) y Onuphidae (*Diopatra* cf. *chilensis*), Polynoidae (Harmothoinae).

Durante el muestreo de febrero, la densidad total de poliquetos en la macrofauna alcanzó 2 ± 3 ; 8 ± 13 y 41 ind/0.05m², en las estaciones E0, E2 y E5, respectivamente. En E0 sólo se encontró a *P. pinnata*. En E2, *P. pinnata* representó el 95.6%, seguido de *H. fauveli* con 4.4%. En la E5, se registró *M. phyllisae*, *P. pinnata* y *N. ferruginea* con abundancias relativas de 51.3%, 33.3% y 15.4% respectivamente (Figura 25, Anexo 3).

En abril, la densidad total de poliquetos alcanzó 1 ± 1 , 2 ± 3 y 1 ± 1 ind/0.05m², en las estaciones E0, E2 y E5, respectivamente. En E0 sólo se registró a *P. pinnata* y a *Tharyx* sp. En la E2, se encontró a *P. pinnata* y a *M. phyllisae*. En E5, se sólo se registró *P. pinnata* (Figura 25, Anexo 4).

En junio, en E0, *Diopatra* cf. *chilensis* presentó una abundancia relativa de 50.4%, seguida de *P. pinnata* con 38.6% y *C. capitata* con 2.8 %; *S. bassi*, *C. chilensis*, *M. phyllisae* y Harmothoinae con 1%, cada una, presentando densidades promedio muy bajas (Anexo 5). En E2, *P. pinnata* alcanzó un porcentaje de 66.7%, seguido de *M. phyllisae* con 20.8%, *N. ferruginea* con 8.3% y *H. fauveli* con 4.2% (Figura 25).

En agosto, en E0, *Diopatra* cf. *chilensis* representó el 25% del total, seguida de *L. chilensis* con 16.7 %, *P. pinnata* y *Spiophanes* sp con 13.9% cada uno, *Tharyx* sp. con 11.1 %, *S. bassi*, 8.3 %, *N. ferruginea*, *C. capitata* y *M. phyllisae* sumaron un 11.1% del total. En E2, *P. pinnata* fue dominante con 66.7%, seguido de *M. phyllisae* con 24.2%, *N. ferruginea* y *C. chilensis* con 6.1% y 3 % cada uno. En E5, se registró a *P. pinnata*, *M. phyllisae* y *N. ferruginea* con abundancias relativas de 70.5%, 25.6% y 3.8% respectivamente (Figura 25, Anexo 6).

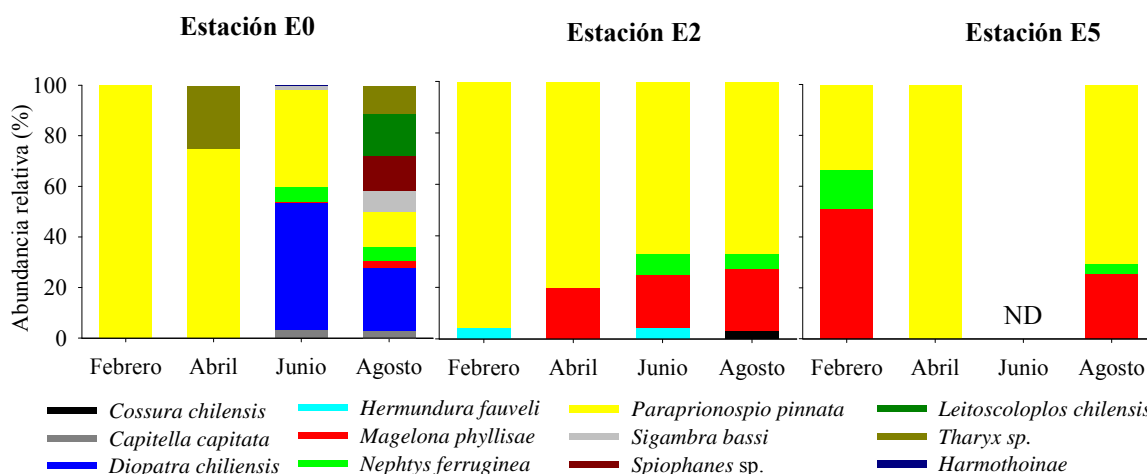


Figura 25. Abundancia relativa de poliquetos bentónicos de estadio adulto por estación y durante los meses de muestreo sobre el margen continental frente a Callao. ND: No determinado.

La mayor densidad de poliquetos adultos fue determinada en la estación somera (E0), durante el muestreo de junio (84 ind/0.05m²). Espacialmente, no se detectó diferencias significativas entre las estaciones (PERMANOVA, $p > 0.05$); mientras que entre los meses de estudio, la densidad total mostró diferencias significativas (PERMANOVA, $p < 0.02$, Tabla 8), donde abril presentó densidades más bajas respecto a junio y agosto (U_2 , $p < 0.05$, Figura 26).

El mayor número de especies fue registrado en la estación somera (E0) de agosto ($S= 9$; $D_{Mg}= 3.22$). Se determinó diferencias significativas entre las estaciones de estudio (PERMANOVA, $p < 0.05$), donde existió mayor diversidad en la estación somera (E0) respecto a E5 (U_2 , $p < 0.5$, Figura 26); mientras que temporalmente, las diferencias también fueron significativas entre los meses, siendo superior en junio y agosto respecto a febrero y abril (U_2 , $p < 0.05$). Así mismo, la interacción de ambos factores influyó significativamente en la riqueza de especies (estación*mes, $p < 0.05$, Tabla 8). En tanto, el Índice de diversidad de Shannon (H') alcanzó su máximo valor (2.89 bits) en E0' de agosto (Anexo 8). Así mismo, las composición de la comunidad de adultos varió significativamente entre las 3 estaciones y entre los meses (PERMANOVA, $p < 0.05$, Tabla 9).

El análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) indicó que las especies de poliquetos adultos que más contribuyeron a la comunidad, en las estaciones y meses de estudio fueron: *M. phyllisae*, *N. ferruginea*, *P. pinnata*, *H. fauveli*, *S. bassi*, *L. chilensis*, *C. capitata*, *Diopatra* cf. *chiliensis*, *Tharyx* sp, y *Spiophanes* sp. (Anexo 12).

Tabla 8. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias entre la densidad (N) y riqueza de especies (S) de poliquetos bentónicos adultos en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.

	Factor	gl	Suma de cuadrados	MS	Pseudo-F	P(perm)
N	Estación	2	3026.4	1513.2	2.25	0.06
	Mes	3	14132	4710.8	6.99	0.002
	Estación*Mes	6	3584.2	597.4	0.89	0.098
	Residual	14	9422.5	673.04		
	Total	25	30166			
S	Estación	2	16.8	8.4	7.1483	0.001
	Mes	3	73.9	24.6	20.915	0.0001
	Estación x Mes	6	10.2	1.7	1.448	0.02
	Residual	14	16.5	1.2		
	Total	25	117.5			

Tabla 9. Resultados de un PERMANOVA de dos vías probando diferencias de la comunidad de poliquetos bentónicos adultos en las tres estaciones de muestreo y los 4 meses de estudio.

Factor	gl	Suma de cuadrados	MS	Pseudo-F	P(perm)
Estación	2	10616	5308.1	5.7417	0.002
Mes	3	10662	3554.1	3.8444	0.002
Estación*Mes	5	15688	3137.5	3.3938	0.001
Residual	8	7395.9	924.49		
Total	18	48106			

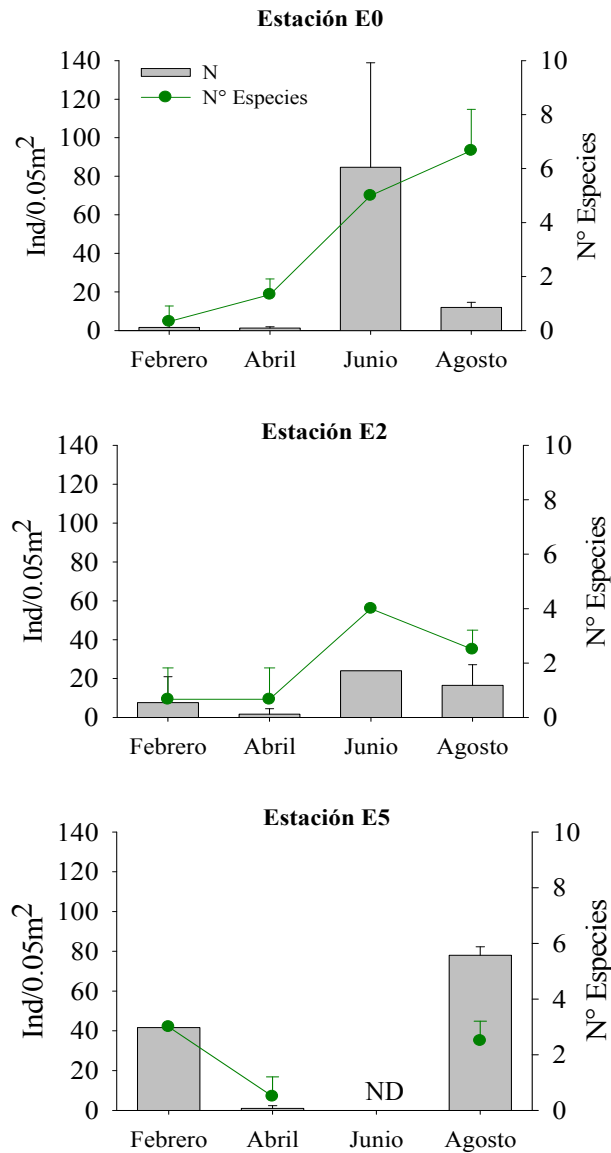


Figura 26. Abundancia y riqueza de poliquetos bentónicos de estadio adulto en las estaciones E0, E2 y E5 en el margen continental frente al Callao, durante el periodo de estudio.

4.4.4. Estructura de tallas de larvas de poliquetos bentónicos dominantes

El análisis de la comunidad del zooplancton para obtener las larvas de poliquetos bentónicos permitió determinar 2 especies dominantes en cada nivel de muestreo: *P. pinnata* y *M. phyllisae*. La estructura de tallas de las especies por estadio de desarrollo fue separada por mes de muestreo, agrupando todas

las mediciones realizadas en las estaciones de estudio (E0, E2 y E5). Las mediciones de juveniles y adultos no fueron suficientemente representativo para analizar diferencias temporales (Anexo 1).

4.4.4.1. *Paraprionospio pinnata*

La tabla muestra el promedio, mediana, mínimo y máximo de longitud total de larvas de superficie y fondo. Se evidencia diferencias significativas entre la longitud total de las larvas de superficie y fondo (Mann - Whitney, $p < 0.05$) en cada mes (Figura 27). Así como, entre los meses estudiados, la longitudes de las larvas de superficie y fondo presentaron diferencias significativas (prueba de Kruskal-Wallis, $p < 0.05$, Tabla 10)

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de las larvas de superficie (10m) y de fondo en los meses de febrero, abril, junio y agosto en el margen continental frente a Callao.

	Descriptivos (mm)	Febrero	Abril	Junio	Agosto
Larva Superficie (10m)	Promedio	1.15	1.04	-	0.9
	Mediana	1.11	0.96	-	0.83
	Mínimo	0.74	0.60	-	0.52
	Máximo	1.73	1.69	-	1.61
	N	66	45	-	42
Larva Fondo	Promedio	1.72	1.54	1.20	1.34
	Mediana	1.69	1.44	0.95	1.24
	Mínimo	1.14	0.80	0.68	0.76
	Máximo	2.88	3.58	2.27	2.20
	N	30	65	22	30

4.4.4.2. *Magelona phyllisae*

Las larvas de *M. phyllisae* se registraron solo en los muestreos de febrero y abril. La tabla muestra el promedio, mediana, mínimo y máximo de la longitud total de larvas de superficie y fondo. Se evidencia diferencias significativas entre la longitud total de las larvas de superficie y fondo ($U_2, p < 0.05$), donde las larvas de fondo presentan mayor longitud que las de superficie. Así mismo, se encontró mayores longitudes en abril ($U_2, p < 0.05$, Tabla 11, Figura 28).

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de las larvas de superficie (10m) y de fondo en los meses de febrero y abril en el margen continental frente a Callao.

		Descriptivos (mm)	Febrero	Abril
Larva Superficie (10m)	Larva	Promedio	0.48	0.62
	Superficie	Mediana	0.45	0.61
		Mínimo	0.22	0.26
		Máximo	1.35	1.04
		n	279	181
Larva Fondo	Larva	Promedio	0.96	1.14
	Fondo	Mediana	0.86	1.09
		Mínimo	0.12	0.38
		Máximo	2.45	2.33
		n	77	160

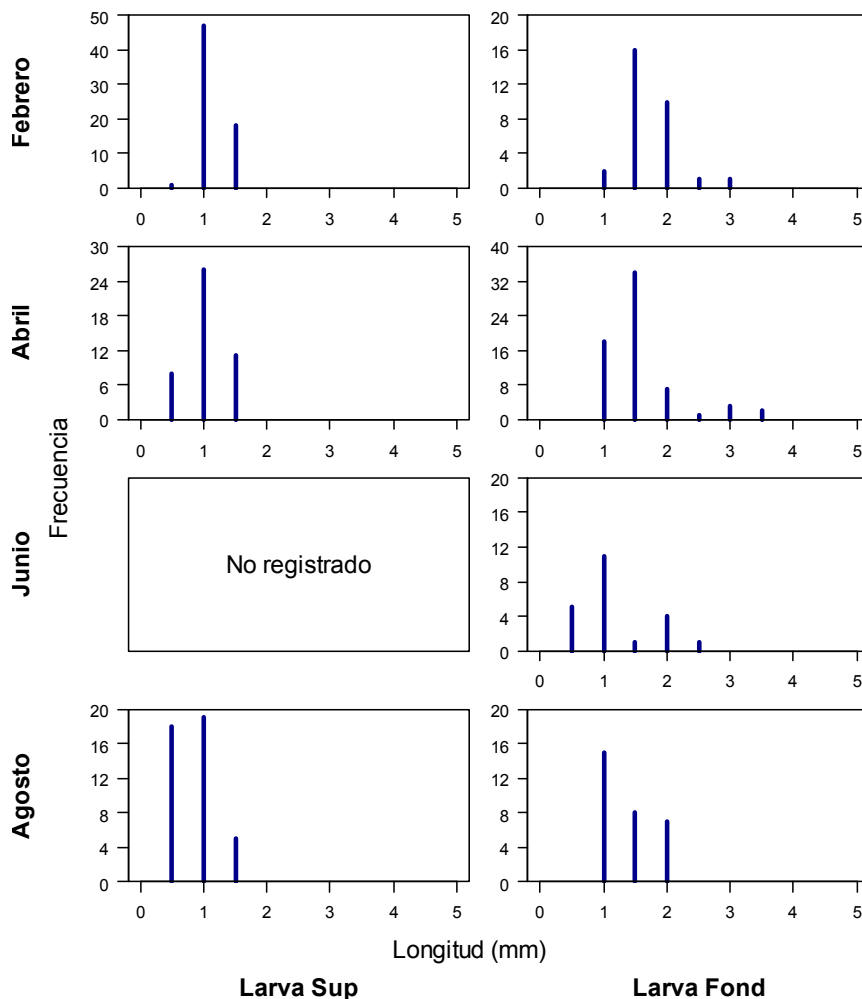


Figura 27. Estructura de tallas de *P. pinnata*, por estadios y mes de muestreo sobre el margen continental frente a Callao.

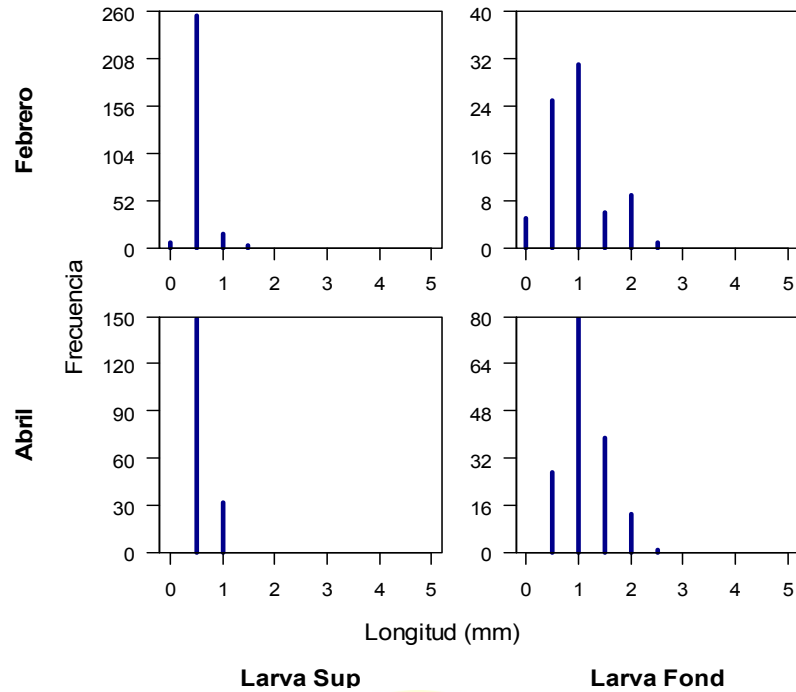


Figura 28. Estructura de tallas de *M. phyllisae*, por estadios y mes de muestreo sobre el margen continental frente a Callao.

4.5. Relaciones de los parámetros comunitarios de poliquetos bentónicos con los factores ambientales

4.5.1. Disponibilidad de larvas en el fondo

4.5.1.1. Correlaciones no paramétricas

La tabla 12 muestra que las correlaciones entre las variables, donde el oxígeno disuelto de fondo estuvo correlacionada directamente con la profundidad de la oxiclina ($p < 0.03$). La temperatura de fondo se correlacionó de manera positiva con la salinidad de fondo ($p < 0.01$).

Asimismo, la temperatura de fondo se correlacionó directamente con la abundancia, número de especies y el índice de diversidad de Shannon ($p < 0.05$) y específicamente con las abundancias de *Spiophanes* sp. y Sabellariidae. Así mismo, la salinidad de fondo presentó correlaciones positivas con el número de especies e Índice de diversidad de Shannon y específicamente con *B. chilensis*, *Polydora*

spp., Spiophanes sp. y Sabellariidae ($p < 0.05$). Sin embargo, el ODF no exhibió correlaciones significativas con ningún indicador de diversidad, aunque específicamente presentó una correlación directa con las abundancias de *B. chilensis*, *Polydora* spp. y *Spiophanes* sp.; y una correlación inversa con la abundancias de *M. phyllisae* ($p < 0.02$). Por otro lado, la profundidad de la oxiclina se correlacionó negativamente con la abundancia total de larvas, así como con la abundancia de *N. ferruginea* y *M. phyllisae* ($p < 0.01$, Tabla 12).

Tabla 12. Correlaciones Spearman entre los parámetros ambientales con la abundancia de las larvas de poliquetos cerca al fondo. Prof. oxiclina: Profundidad de la Iso-oxígeno; ODF: oxígeno disuelto de fondo; TempF: temperatura de fondo; SalF: salinidad de fondo; Cl-a. Sed: Clorofila -a de sedimento superficial; S: riqueza de especies; N: abundancia; H': índice de diversidad de Shannon. Valores de significancia después de la corrección por comparaciones múltiples ($p < 0.05$): coeficiente de correlación: r.

		ODF	TempF	SalF	Cl-a.sed	Prof. Oxiclina
TempF	R	0.273				
	p	0.417				
SalF	r	0.273	0.927			
	p	0.417	0			
Cl-a. Sed	r	-0.610	-0.464	-0.318		
	p	0.047	0.151	0.340		
Prof. Oxiclina	r	0.655	-0.091	-0.091	-0.255	
	p	0.029	0.790	0.790	0.45	
<i>B. chilensis</i> (N)	r	0.674	0.539	0.607	-0.499	0.108
	p	0.023	0.087	0.048	0.118	0.752
<i>M. phyllisae</i> (N)	r	-0.832	0.242	0.158	0.326	-0.769
	p	0.002	0.473	0.643	0.327	0.006
<i>N. ferruginea</i> (N)	r	-0.505	0.534	0.477	0.057	-0.706
	p	0.113	0.091	0.138	0.867	0.015
<i>P. pinnata</i> (N)	r	0.023	0.307	0.186	-0.121	-0.433
	p	0.946	0.358	0.584	0.723	0.184
<i>Polydora</i> spp. (N)	r	0.674	0.539	0.607	-0.499	0.108
	p	0.023	0.087	0.048	0.118	0.752
<i>Spiophanes</i> sp. (N)	r	0.775	0.676	0.752	-0.659	0.301
	p	0.005	0.022	0.008	0.027	0.369
Sabellariidae (N)	r	0.516	0.729	0.758	-0.297	0.144
	p	0.105	0.011	0.007	0.374	0.673
S	r	0.207	0.786	0.704	-0.372	-0.359
	p	0.542	0.004	0.016	0.259	0.279
N	r	-0.146	0.636	0.582	-0.009	-0.546
	p	0.670	0.035	0.060	0.979	0.083
H	r	0.220	0.789	0.743	-0.358	-0.248
	p	0.515	0.004	0.009	0.280	0.463
S(J/L)	r	-0.509	-0.185	-0.037	0.769	-0.639
	p	0.110	0.586	0.914	0.006	0.034

La razón del número de especies de juveniles respecto a las especies de larvas en el fondo, que puede explicar la supervivencia de las especies de larvas que llegaron al estadio juvenil, se correlacionó negativamente con la profundidad de la oxiclina ($p < 0.05$).

4.5.1.2. Análisis de Correspondencia Canónica

En la figura 29 se observa un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con los datos de abundancia de las larvas de poliquetos bentónicos en el fondo, y de las variables ambientales. Los dos primeros ejes representan el 83.57 % de la varianza de los datos (CCA-1 = 61.71% y CCA-2 = 21.86%). La Tabla 13 presenta los puntajes de los parámetros ambientales y de los dos primeros ejes del ACC. El eje CCA-1 estuvo explicado por el vector de ODF y mostró un comportamiento totalmente opuesto al vector de Cl-a de sedimento superficial. Mientras que el eje CCA-2 fue explicado principalmente por los vectores de salinidad y temperatura de fondo, los cuales varían con la profundidad, esta relación sugiere con las masas de agua subsuperficial, asociada al afloramiento. Así mismo, a menor profundidad, el agua es más salina y más cálida y viceversa a mayor profundidad. Según los vectores ambientales, los cuadrantes del ACC representaron periodos ambientales donde se agruparon las estaciones en los distintos meses (escalamiento 1) (Figura 29). El cuadrante I representa a los ambientes oxigenados y de baja concentración de materia orgánica de origen fitoplanctónico (Cl-a), donde se encontró la estación somera del mes de agosto; el cuadrante II representa aguas más frías y de menor salinidad como las Aguas Ecuatoriales Subsoperficiales (AESS) representados por la estación profunda del mes de abril; el cuadrante III simboliza un ambiente deficiente en oxígeno y alto contenido de Cl-a, como los casos de la estación somera e intermedia de junio. Mientras que el cuadrante IV se asoció a aguas más cálidas y salinas, como las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS).

Las asociaciones de especies encontradas estuvieron representadas en los distintos cuadrantes de condiciones ambientales. La asociación de *B. chilensis* y *Polydora* spp. se ubicó en el cuadrante I, donde la oxigenación fue importante; mientras que *N. ferruginea* y *M. phyllisae* estuvieron asociados a mayores contenidos de clorofila *-a* de sedimento superficial (Cuadrante III). Sin embargo en el cuadrante II, se ubicó *P. pinnata* y Spionidae sp1., asociados a las AESS; mientras que el cuadrante IV estuvo presentado por *Spiophanes* sp. y Sabellariidae.

Tabla 13. Resultados del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). Puntajes para las variables ordinales y las especies de larvas de poliquetos en el fondo de superficie y los ejes CCA 1 y CCA 2.

Variable ambientales	CCA1	CCA2
OD	0.99	0.07
T	0.65	-0.30
Sal	0.55	-0.69
Cl-a- Sed	-0.70	-0.27
Prof. Iso-oxígena	0.72	-0.15
Especies		
<i>B. chilensis</i>	1.1	0.07
<i>Polydora</i> spp.	1.09	0.09
<i>M. phyllisae</i>	-0.99	-0.38
<i>N. ferruginea</i>	-0.37	-0.25
<i>P. pinnata</i>	-0.18	0.47
Spionidae sp1	-0.33	0.86
<i>Spiophanes</i> sp	1.01	-0.34
Sabellariidae	0.35	-0.36

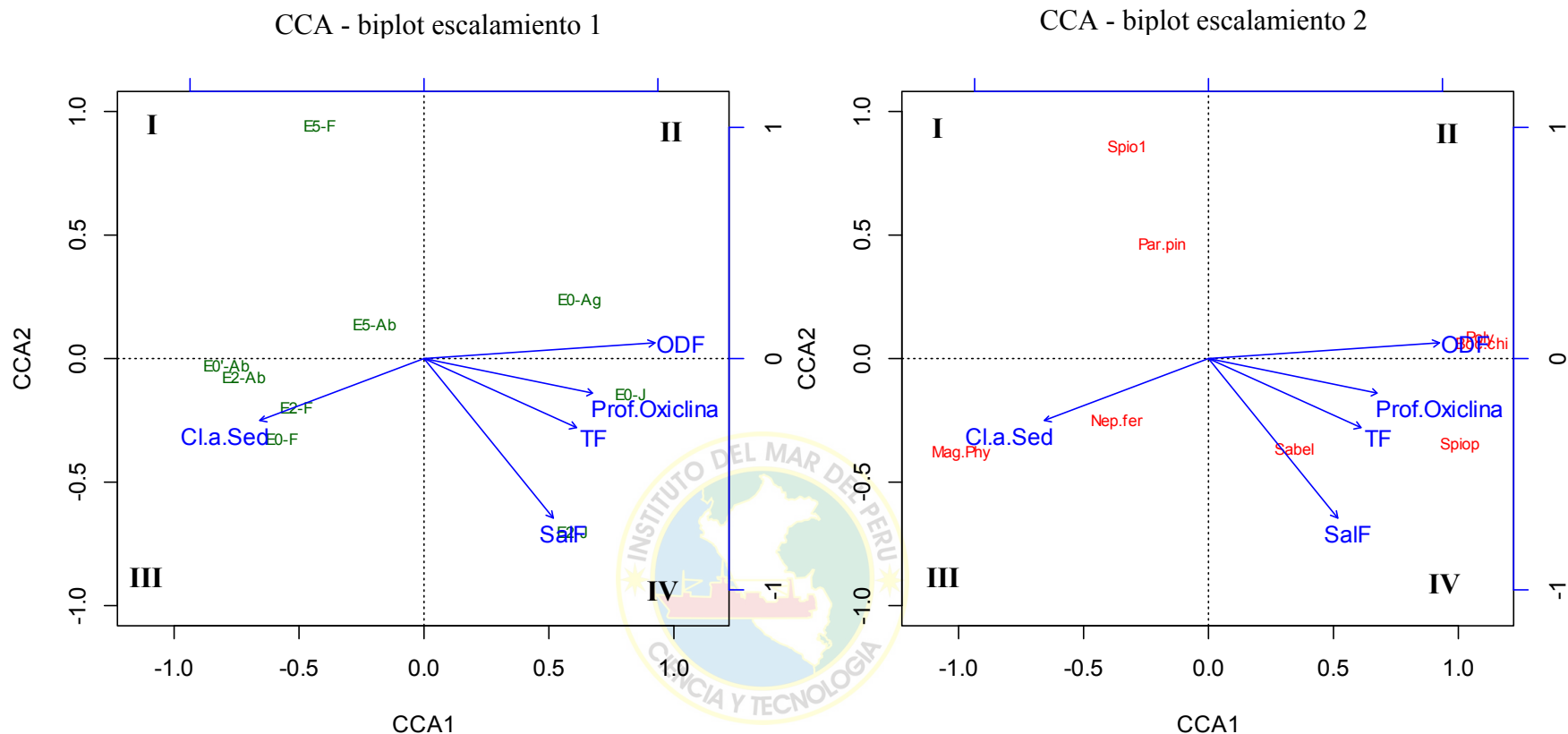


Figura 29. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC, escalamientos 1 y 2). Diagrama de los ejes CCA 1 y CCA 2 basados en abundancia de las especies de larvas más importantes cercanas al fondo en las estaciones del margen continental frente a Callao; las variables ambientales se muestran adicionalmente como vectores, TF = temperatura de fondo; ODF = oxígeno disuelto de fondo; SalF=Salinidad de fondo; Cla.Sed = Clorofila -a de sedimentos; Nep. fer = *Nephtys ferruginea*; Par pin = *Paraprionospio pinnata*; Mag. phy= *Magelona phyllisae*; Sabel = Sabellariidae; Boc chi = *Boccardia chilensis*; Poly = *Polydora* spp.; Spiop=*Spiophanes* sp.; Spio=Spionidae sp1.

4.5.2. Supervivencia de juveniles y adultos

4.5.2.1. Correlaciones no paramétricas

La Tabla 14 presenta las correlaciones de Spearman entre los parámetros ambientales asociados con el agua de fondo con los indicadores de diversidad: N, S y H' de las comunidades de juveniles y adultos.

La concentración de sulfuros del agua intersticial se correlacionó inversamente con el contenido de proteínas lábiles y lípidos totales ($p < 0.05$). Igualmente, la concentración de MOT se correlacionó negativamente con el contenido de sulfuros y directamente con las proteínas lábiles y lípidos totales ($p < 0.1$). Así mismo, el contenido de ODF se correlacionó inversamente con el clorofila - *a* del sedimento superficial ($p < 0.05$).

El contenido de MOT se correlacionó inversamente con los indicadores de diversidad de los juveniles ($p < 0.01$). Sin embargo, ningún indicador de materia orgánica biodisponible se correlacionó significativamente con las variables de diversidad. La correlación no significativa también se presentó con el ODF, inventario de sulfuros y Cl-*a* de sedimento superficial.

El ODF se correlacionó positivamente con el número de especies de poliquetos adultos, el índice de diversidad de Shannon y la abundancia total de *N. ferruginea* de estadio adulto ($p < 0.01$). El contenido de clorofila-*a* en el sedimento superficial (Cl-*a*) se correlacionó negativamente con la riqueza específica de los poliquetos adultos ($p < 0.01$).

La razón Cl -*a*/Feo se correlacionó inversamente con la razón entre el número de especies de poliquetos adultos y juveniles ($p < 0.03$). Así mismo, ningún indicador de materia orgánica biodisponible se correlacionó significativamente con las variables de diversidad.

Tabla 14. Correlaciones de Spearman entre los parámetros ambientales con las abundancias totales y específicas de los poliquetos juveniles y adultos. MOT: Materia orgánica total; ODF: oxígeno disuelto de fondo; Cl-a: Clorofila-a de sedimento superficial; H₂S: Sulfuros del primer centímetro; ΣH₂S_[0-2cm]: inventario de sulfuros de 0 a 2cm; Fito: Cl-a + Feopigmentos; LIP: Lípidos totales; CHOLa: Carbohidratos lábiles; PRT La: Proteínas lábiles; S: riqueza de especies; N: abundancia; H': índice de diversidad de Shannon, S(A/J): razón entre la riqueza de adultos y juveniles. Valores de significancia después de la corrección por comparaciones múltiples ($p < 0.05$): coeficiente de correlación: r.

		MOT	H2S	H2S[0-2]	Cl-a	Fito	Cl-a/Feop	PRTL a	CHOL a	ODF
H2S	r	-0.594								
	p	0.092								
H2S[0-2]	r	-0.567	0.845							
	p	0.112	0.004							
Cl-a	r	0.249	-0.234	0.1667						
	p	0.489	0.544	0.6682						
Fito	r	0.418	-0.276	-0.083	0.855					
	p	0.229	0.472	0.831	0.001					
Cl-a/Feop	r	-0.467	0.017	0.367	-0.155	-0.609				
	p	0.174	0.966	0.332	0.650	0.047				
PRTL a	r	0.967	-0.563	-0.595	0.152	0.467	-0.661			
	p	0.000	0.146	0.120	0.676	0.174	0.038			
CHOL a	r	0.159	0.337	0.395	0.565	0.827	-0.730	0.468		
	p	0.683	0.414	0.333	0.089	0.003	0.017	0.173		
LIP	r	0.833	-0.527	-0.714	0.152	0.442	-0.636	0.927	0.365	
	p	0.005	0.180	0.047	0.676	0.200	0.048	0.000	0.300	
ODF	r	0.006	-0.153	-0.254	-0.610	-0.344	0.009	0.050	-0.273	
	p	0.987	0.694	0.509	0.047	0.300	0.978	0.891	0.446	
S(J)	r	-0.862	0.462	0.515	-0.272	-0.419	0.452	-0.542	-0.096	-0.028
	p	0.001	0.211	0.156	0.419	0.199	0.163	0.106	0.793	0.934
N(J)	r	-0.789	0.263	0.262	-0.350	-0.502	0.410	-0.468	-0.102	-0.106
	p	0.007	0.495	0.497	0.291	0.115	0.210	0.173	0.780	0.756
H'(J)	r	-0.875	0.466	0.619	-0.160	-0.296	0.433	-0.418	0.018	0.049
	p	0.001	0.206	0.075	0.640	0.377	0.184	0.229	0.960	0.886
<i>M. phyllisae</i> (J)	r	-0.575	-0.030	-0.076	0.000	-0.138	0.229	-0.416	-0.104	-0.272
	p	0.082	0.940	0.847	1.000	0.687	0.498	0.232	0.774	0.418
<i>N. ferruginea</i> (J)	r	-0.542	0.617	0.835	0.417	0.222	0.164	-0.254	0.478	-0.419
	p	0.106	0.077	0.005	0.202	0.512	0.631	0.480	0.163	0.200
<i>P. pinnata</i> (J)	r	-0.242	0.369	0.624	0.330	0.233	0.168	0.192	0.416	-0.191
	p	0.501	0.328	0.072	0.321	0.491	0.623	0.595	0.232	0.575
S(A/J)	r	0.329	-0.021	-0.168	-0.005	0.343	-0.667	0.365	0.412	0.294
	p	0.353	0.957	0.666	0.989	0.303	0.025	0.300	0.237	0.379
S(A)	r	-0.241	0.176	-0.111	-0.725	-0.494	-0.037	-0.031	-0.276	0.738
	p	0.503	0.651	0.776	0.012	0.122	0.914	0.933	0.441	0.010
N(A)	r	0.298	0.143	-0.034	-0.374	-0.219	-0.128	0.171	-0.349	0.477
	p	0.403	0.714	0.932	0.257	0.517	0.708	0.637	0.324	0.138
H'(A)	r	-0.212	0.100	-0.200	-0.615	-0.342	-0.160	-0.012	-0.213	0.697
	p	0.556	0.797	0.606	0.044	0.304	0.640	0.973	0.554	0.017
<i>M. phyllisae</i> (A)	r	0.362	-0.283	-0.556	-0.518	-0.287	-0.221	0.450	-0.264	0.381
	p	0.305	0.460	0.120	0.103	0.392	0.513	0.192	0.462	0.248
<i>N. ferruginea</i> (A)	r	0.176	0.004	-0.227	-0.597	-0.320	-0.143	0.200	-0.285	0.788
	p	0.627	0.991	0.556	0.052	0.337	0.674	0.579	0.424	0.004
<i>P. pinnata</i> (A)	r	0.164	0.193	0.034	-0.443	-0.370	0.096	0.110	-0.422	0.514
	p	0.651	0.618	0.932	0.173	0.263	0.779	0.763	0.224	0.106

4.5.2.2. Análisis de Componentes Principales

Este análisis de ordenación permitió identificar los escenarios ambientales asociados a la oxigenación del fondo y a las condiciones biogeoquímicas del sedimento.

Los resultados mostraron que el primer componente principal (PC1) explicó el 52.5% del total de varianza, presentando una fuerte correlación positiva con %MOT, PRTL_a, CHOL_a y Cl-*a* del sedimento superficial (Figura 30, Tabla 15). El segundo componente (PC2) explicó el 25.2% de la varianza y estuvo correlacionado positivamente con el contenido de oxígeno disuelto e inversamente con la Clorofila-*a* del sedimento superficial. El cuadrante I mostró altos valores de materia orgánica asociado a altos valores de calidad de alimento, en forma de carbohidratos y proteínas lábiles, donde se ubicaron los muestreos de la estación más profunda (E5) en febrero, abril y agosto; mientras que en el cuadrante II, fue representado por ambientes costeros oxigenados con alta variación de sulfuros y bajo contenido de Cl-*a* de sedimento superficial. El cuadrante III, estuvo asociado a altos valores de la razón Cl-*a*/Feop y bajo contenido de MOT y el cuadrante IV presentó un escenario ambiental con el altas concentraciones de Clorofila – *a* de sedimento superficial y bajas concentraciones de oxígeno disuelto de fondo. Esto permitió determinar los grupos de ambientes asociados a las variables, donde las de la estación más profunda durante los meses de febrero, abril y agosto (E5-F, E5-Ab y E5-Ag) forman el Grupo 1 (G1); el Grupo 2 (G2), asociados a la estación costera e intermedia de junio y agosto (E0-Ag, E0-J, E2-J y E2-Ag) y el Grupo 3 (G3) asociado a la estación costera e intermedia de febrero (E0-F y E2-F).

En algunos casos, las estaciones costeras presentaron condiciones oxigenadas en el agua de fondo y al mismo tiempo altas concentraciones de sulfuros, como en agosto en la estación E2 (Figura 30a). En la Figura 30b se muestra la asociación de las variables sin E2 de agosto, observándose la misma agrupación de estaciones, pero más alejadas del centro de las ordenadas.

Tabla 15. Resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA). Puntajes para las variables ordinales y los ejes PC1 y PC2.

Variable abióticos	PC1	PC2
MOT	1.18	0.27
Sulfuros	-1.23	0.7
Cl-a	1.08	1.3
Cl-a/Feop	-1.01	-1.38
PRTL _a	1.15	1.12
CHOL _a	1.17	0.43
ODF	-0.75	1.66

Al analizar los 3 grupos (G1, G2 y G3) seleccionados en base al PCA, detecto que existió diferencias significativas en el número de especies de poliquetos juveniles ($H_2 = 9.38$, $p < 0.01$), donde la mayor diversidad se encontró en G2 y G3 y la menor en G1 (U_2 , $p < 0.05$) (Figura 31a). Así mismo, la abundancia promedio también presentó diferencia significativas entre los grupos ($H_2 = 8.98$, $p < 0.01$) y las mayores abundancias se encontraron en G2 y G3 (U_2 , $p < 0.05$) (Figura 31b).

En cuanto a los poliquetos adultos, existió diferencias significativas entre el número de especies ($H_2 = 7.86$, $p < 0.02$), donde G2 presentó los mayores valores (U_2 , $p < 0.05$) (Figura 32a); sin embargo, no se registró diferencias significativas entre las abundancias ($H_2 = 1.56$, $p > 0.05$) (Figura 32b).

La comparación entre la razón del número de especies de poliquetos adultos y juveniles, que puede explicar la supervivencia de las especies de un estadio a otro (reclutas), mostró que existen diferencias significativas entre los escenarios ambientales encontrados (grupos) (ANOVA de una vía, $p < 0.05$).

Entre estos grupos esta razón fue mayor en G1 y menor en G3 (HSD Tukey, $p < 0.05$) (Figura 33).

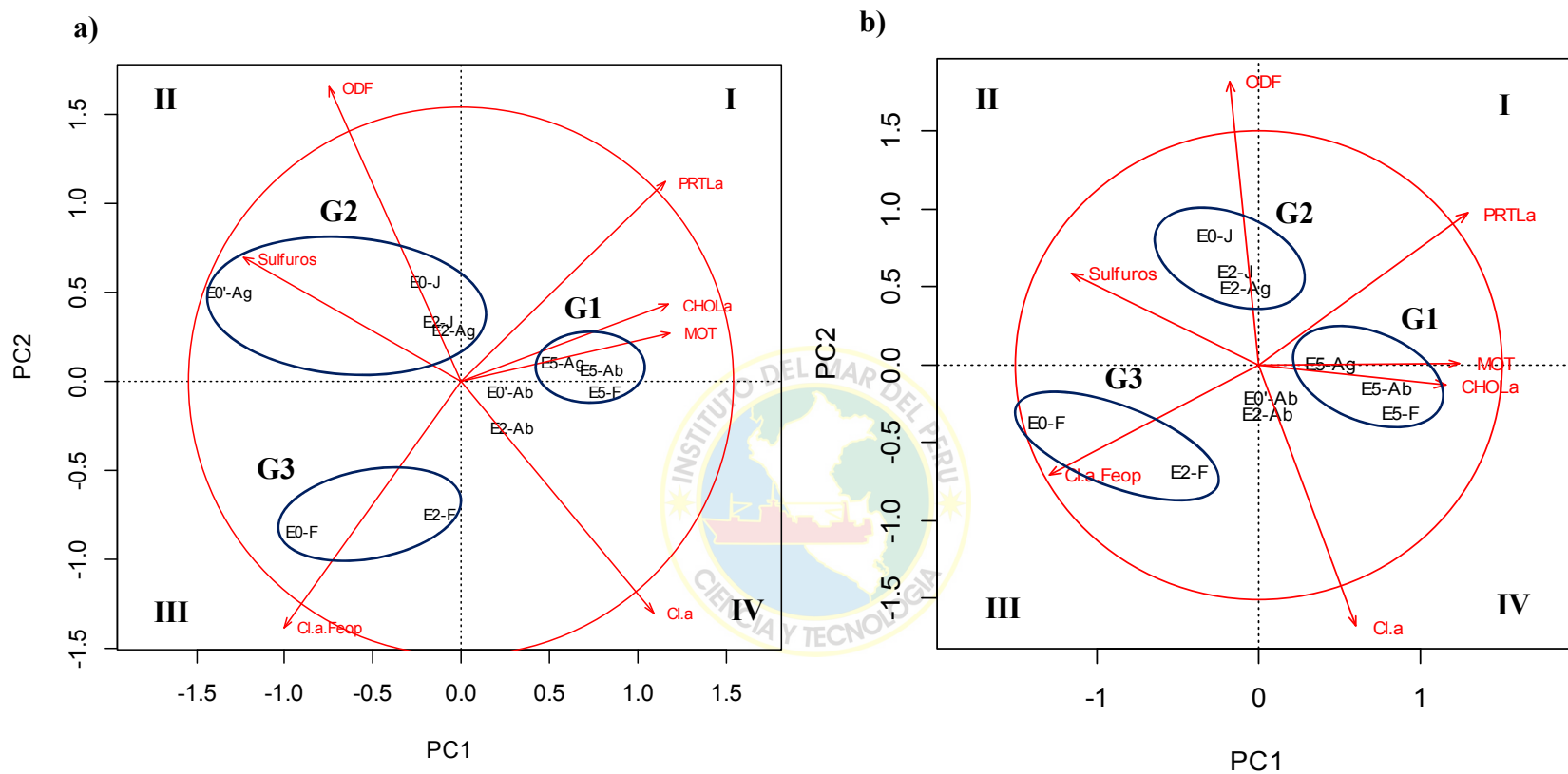


Figura 30. Análisis de Componente Principales (PCA, escalamiento 1). Diagrama de los ejes PCA 1 y PCA 2 basados en los factores abióticos del agua de fondo sobre el margen continental frente a Callao (febrero, abril, junio y agosto, 2015). MOT= Materia orgánica total; ODF = oxígeno disuelto de fondo; PRTL_a= proteínas lábiles, CHOL_a= carbohidratos lábiles; Cl.a = Clorofila -a; Cl.a.Feop = razón Clorofila -a /feopigmentos. a) PCA con todas los muestreos y b) sin el muestreo de la estación somera de agosto (E5).

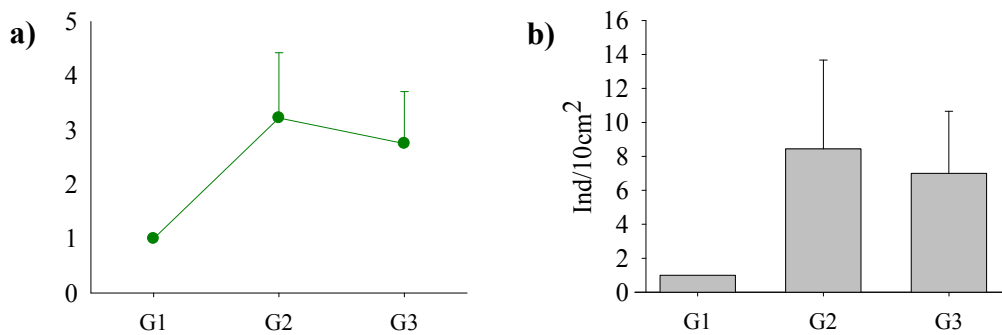


Figura 31. a) Número de especies y b) abundancia promedio de poliquetos juveniles bentónicos entre los grupos generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao.

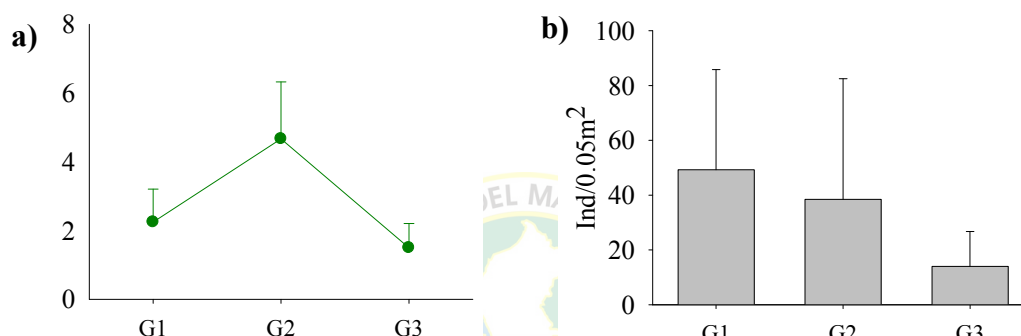


Figura 32. a) Número de especies y b) abundancia promedio de poliquetos adultos bentónicos entre los escenarios ambientales generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao.

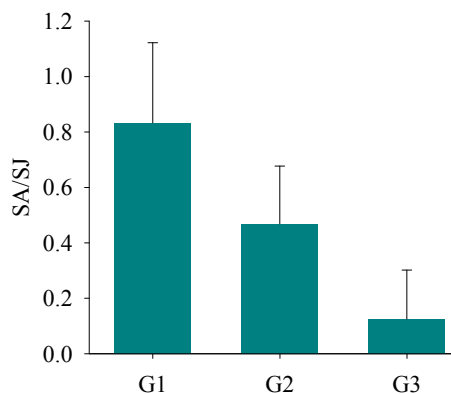


Figura 33. Razón entre número de especies de poliquetos adultos y juveniles (SA/SJ) entre los escenarios ambientales generados por el análisis de ordenación (PCA) del margen continental frente a Callao.

5. DISCUSIÓN

5.1. Condiciones oceanográficas durante el periodo de estudio

Los cambios causados por las variaciones de las condiciones oceanográficas, como la temperatura y oxígeno disuelto pueden modular la variación de las comunidades bentónicas de fondo blando (Arntz *et al.*, 1991; Gutiérrez *et al.*, 2008). Se han documentado los efectos de las fluctuaciones de oxígeno asociadas a EN sobre la estructura comunitaria bentónica frente a la costa central (Tarazona *et al.*, 1988; Arntz *et al.*, 1991; Arntz *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2008), dejando evidencia del efecto positivo de la oxigenación sobre la diversidad y biomasa del macrobentos (Tarazona *et al.*, 1999).

La Figura 34 muestra las series de tiempo de temperatura y oxígeno disuelto de la estación sobre la plataforma interna (E2, 94m), a 10 millas náuticas fuera del Callao, durante los años 1993 a 2015. En estas series se aprecia el desarrollo de los eventos Niño, como por ejemplo, El Niño de 1997-98, caracterizados por temperaturas altas y condiciones más oxigenadas en la columna de agua.

La figura 35 compara la evolución de índices climáticos y oceanográficos durante los 3 últimos años, usando el Índice de El Niño Oceánico asociado a las anomalías de temperatura en la región El Niño 3.4 (ONI, www.cpc.ncep.noaa.gov), el Índice Multivariado del ENSO (MEI, www.esrl.nvoaa.gov; Wolter y Timlin, 1998), así como el Índice Costero de El Niño (ICEN), basado en la anomalías de la TSM en la región El Niño 1+2 (Takahashi *et al.*, 2014). Según los índices mencionados, el evento cálido El Niño región 3.4 inició en el mes de marzo, según el MEI y ONI (Figura 35 a y b). Sin embargo, para ICEN, El Niño costero inició en abril, presentado una categoría de “cálido fuerte” (Takahashi *et al.*, 2014) a partir de junio del 2015 (Figura 35c). Estas condiciones fueron acompañadas por la propagación de sucesivas ondas Kelvin hacia las costas de Sudamérica, de las cuales la primera, arribó a la zona de Galápagos entre marzo y abril 2015 (Figura 35d). La estación E2 de Callao evidencia el impacto de esta onda, donde se puede asociar a la profundización de la

isoterma de 15°C, desde inicios del año (febrero); mientras que la iso-oxígena de 0.5mL/L se profundizó a más de 60m entre los meses de mayo a julio, para luego tender a ascender en la columna entre agosto y setiembre. Además, la figura 35b muestra también la llegada de la onda Kelvin en octubre que impacta con mayor intensidad en la termoclina (Figura 34e) que en la iso –oxiclina de 0.5mL/L (borde superior de la mínima de oxígeno).

Por lo tanto, El Niño 2015-16 mostró diferentes señales en las fluctuaciones de la profundidad de la oxiclina y de la termoclina. Así, la isoterma de 15 °C se profundizó a más de 100 m desde finales de febrero hasta inicios del 2016; sin embargo, la iso-oxígena, se profundizó a más de 100 m entre mayo y agosto. Gutiérrez *et al.*, (2008) atribuyen las diferencias en las fluctuaciones de la termoclina y de la oxiclina a la mayor importancia de factores locales, como vientos, afloramiento y formación de mareas rojas, en el régimen de oxígeno disuelto, que para el caso de la temperatura. Además, Tarazona *et al.*, (1988) también hicieron notar diferencias en la señal del oxígeno disuelto y temperatura de fondo, respecto a la llegada de las ondas Kelvin, donde el oxígeno disuelto revela cambios definidos antes de la llegada de la onda, que en la temperatura.

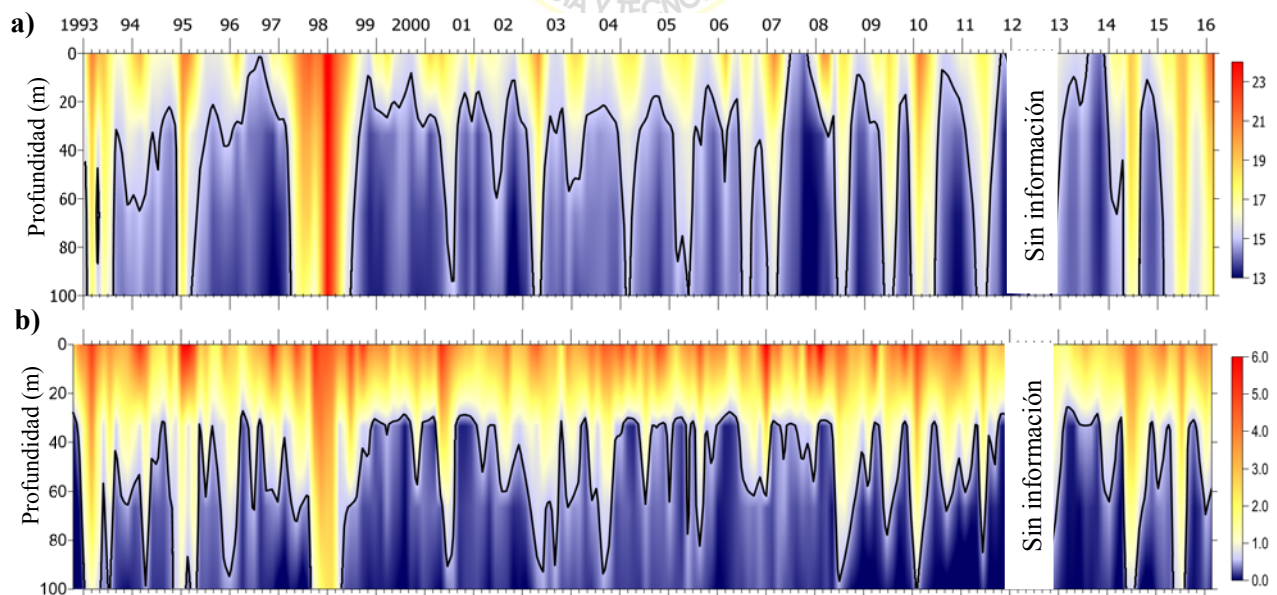


Figura 34. Variabilidad temporal de **a)** la temperatura, con una isolínea gruesa correspondiente a la isoterma de 15°C y **b)** oxígeno disuelto (mL/L), con una línea gruesa que delimita el límite superior de la ZMO (OD < 0.5 mL/L) en la Estación E2 de la plataforma continental frente al Callao del año 1993 al 2015.

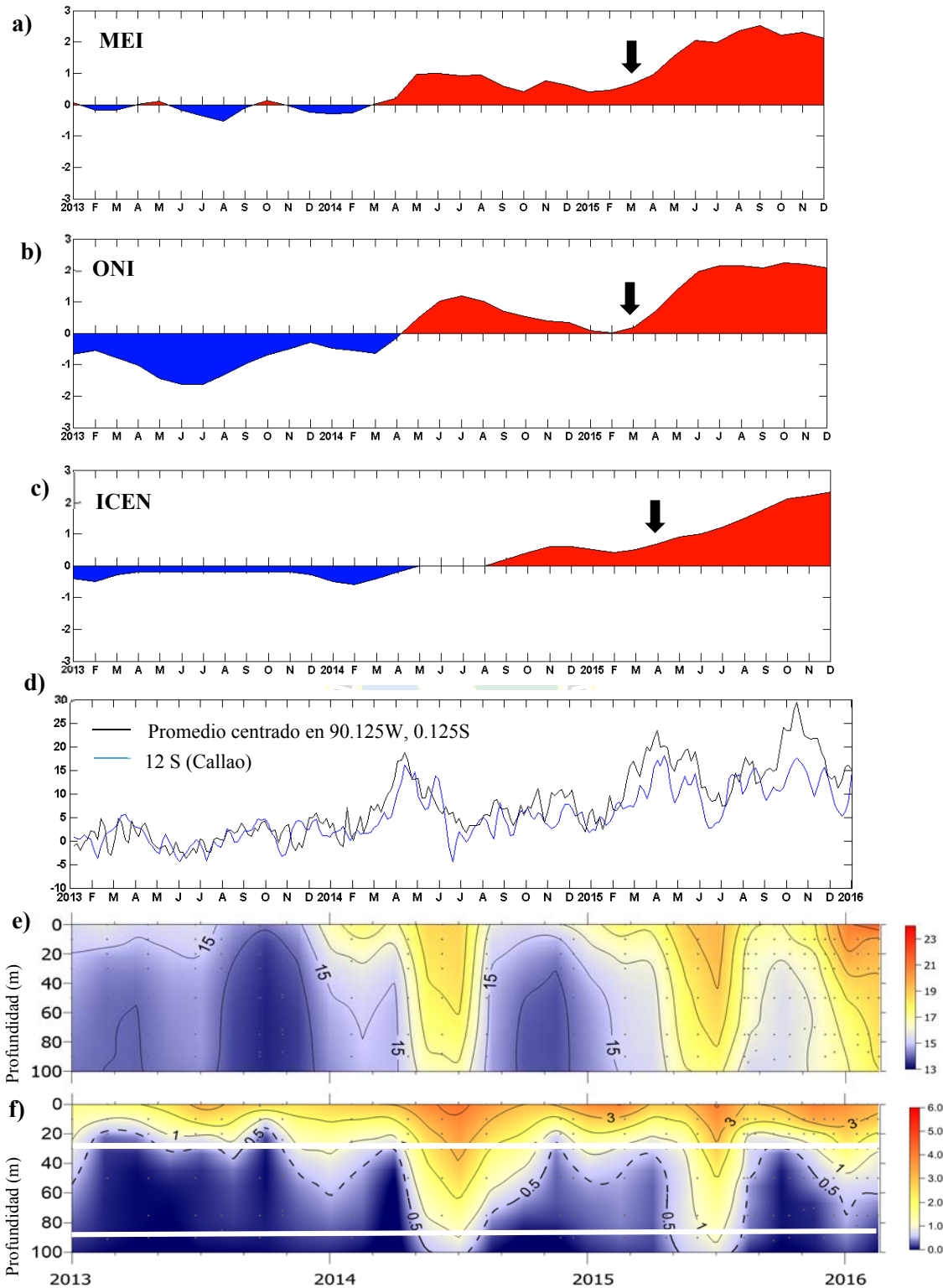


Figura 35. Serie de tiempo de **a)** MEI = Índice multivariado del ENSO, El Niño 3.4; **b)** ONI = Índice de El Niño Oceánico, El Niño 3.4; **c)** ICEN = Índice Costero El Niño, El Niño 1+2, **d)** Anomalía del nivel del mar en Galápagos y Callao; **e)** temperatura (°C), **f)** oxígeno disuelto (mL/L) de los años 2013 a 2015 de la Estación E2, frente a Callao; la línea blanca delimita las profundidades de 30m y 90m. Las fechas negras delimitan el inicio del El Niño en el año 2015.

5.2. Biodiversidad de poliquetos bentónicos en la columna de agua y sedimento de la plataforma continental central

El meroplancton está compuesto de larvas de crustáceos, braquiópodos, gasterópodos, pelecípodos, pterópodos, larvas de eufaúsidos y larvas de poliquetos (Ayón *et al.*, 2008). En tanto, las larvas de poliquetos meroplanctónicos son uno de los grupos más diversos del zooplancton en diversos ecosistemas marinos costeros, donde la familia Spionidae es la más representativa, en abundancia y número de especies; seguida de Magelonidae, Nephtyidae, Phyllodocidae, Polynoidae, Sabellidae, Terebellidae, Capitellidae, etc. (Carrasco, 1976; Belgrano *et al.*, 1990; Yokoyama, 1992; Powers, *et al.*, 2001; Omel'yanenko y Kulikova 2002; Rodriguez, 2003; Abe *et al.*, 2011, 2014). En nuestro estudio, la familia Spionidae también registró el mayor número de especies y abundancia relativa (Figura 20).

La abundancia relativa del total de poliquetos meroplanctónicos fue mayor en la capa de fondo que en la superficie, lo que sugiere la importancia de las familias y especies encontradas respecto a la comunidad del zooplancton (Figura 19). Así mismo, la abundancia y diversidad de larvas disminuyó desde la estación somera hacia la plataforma continental externa (Figura 22), evidenciado también en la investigación de Criales – Hernández *et al.*, (2007), donde la abundancia de la familia Magelonidae (*Magelona* sp) se redujo desde la estación E2 a E5, aunque temporalmente, presentó mayor abundancia en abril, a comparación de agosto, en el año 2006. Así mismo, en la presente investigación, las abundancias relativas de estas larvas de poliquetos en la columna de agua, también fueron mayores en febrero y abril del 2015, con dominancia de *M. phyllisae* y *P. pinnata* (Figura 19, 20).

En un estudio en el Pacífico Central, Scheltema (1986) encontró que las familias de poliquetos meroplanctónicos que más contribuyen en la abundancia en la superficie del agua son Spionidae,

Sabellariidae y Amphinomidae, las cuales fueron registradas en esta tesis (Figura 20). En el presente estudio, en la capa de fondo, las especies de Spionidae y Magelonidae fueron las más representativas, lo cual coincide en los estudios de Yokoyama (1992) y Abe *et al.* (2014) en la Bahía de Kumihama y Onagawa respectivamente, en el mar de Japón y Criales - Hernández *et al.* (2007), en el área en estudio. Así mismo, en relación a la composición de especies de larvas de poliquetos reportadas hasta la actualidad frente a la costa peruana, nuestro estudio registró el mayor número de especies de larvas de poliquetos (Criales – Hernández *et al.* 2007; Ayón *et al.*, 2008, Pinedo, 2014).

Cabe indicar que en el litoral y la plataforma continental central del Perú se han realizado diversos estudios ecológicos que reportan cambios frecuentes en la diversidad y abundancia de poliquetos bentónicos en estadio adulto. Estos están limitados por factores físico-químicos del agua y sedimento; así como por los eventos climáticos naturales, El Niño y La Niña (Tarazona *et al.*, 1988, 1999; Levin *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2008). Bajo condiciones oxigenadas, propias de eventos El Niño, se ha reportado la presencia y dominancias de especies pertenecientes a las familias Spionidae, Magelonidae, Nephtyidae, Cirratulidae, Cossuridae, Orbiniidae, Onuphidae y Pilargidae (Tarazona *et al.*, 1988, 1999 y Levin *et al.*, 2002; Gutiérrez *et al.*, 2008). En el presente estudio se evidencia la presencia de estas mismas familias, mostrando un aumento significativo del número de especies en los meses de desarrollo de El Niño (junio y agosto), respecto a los meses previos a este (febrero y abril) (Figura 26), durante los cuales predominaron condiciones de deficiencia de oxígeno disuelto de fondo; pero con presencia de *P. pinnata* y *M. phyllisae*. Además, en los fondos someros, usualmente hipóxicos (ej. Estaciones E0 y E2), donde la macrofauna es muy pobre o ausente, se registró la aparición de *Sigambra bassi* y *Hermundura fauveli*, especies previamente reportadas como indicadoras de El Niño en el Pacífico Sudeste (CPPS, 1993).

5.3. Factores que influyen la disponibilidad larval y asentamiento de los poliquetos bentónicos en la plataforma continental

El ciclo biológico de las comunidades bentónicas, con estadio larval en el plancton, se inicia con el desove de los adultos, generando larvas disponibles en la columna de agua, las cuales están sometidas a la dispersión larval, hasta ubicar un ambiente adecuado para el asentamiento, asociados a factores físicos, químicos y biológicos (Thorson, 1961; Bachelet, 1990; Pineda *et al.*, 2010; Morgan *et al.*, 2009).

Las relaciones entre los factores ambientales del mar y la diversidad de larvas de poliquetos han sido estudiadas continuamente desde 1970 (Bhaud, 1972). En Perú, los trabajos de Tarazona *et al.*, (1985); Ramos *et al.*, (1999); Peña *et al.*, (2006); Ciales – Hernández *et al.*, (2007) y Pinedo (2014) permitieron evaluar la variación de la abundancia y de la diversidad de los estadios tempranos de los algunas familias o especies de invertebrados y poliquetos bentopelágicos en relación a la variabilidad oceanográfica.

Las tres estaciones evaluadas estuvieron distribuidas en un gradiente batimétrico natural con diferente exposición a la oxigenación, la que se evidencia en la disminución de la concentración de oxígeno disuelto de fondo y de su rango de variación desde la estación somera hacia la plataforma externa (Figura 36). Particularmente durante el período de estudio, la estación más profunda no presentó una oxigenación significativa, mientras que la estación somera alcanzó valores normóxicos en el fondo (Figura 15). Si bien no se encontró una correlación significativa entre la diversidad de las larvas de poliquetos en la capa de fondo de la columna con el contenido de oxígeno disuelto de fondo en las prospecciones (Tabla 11), al evaluar la variación del número de especies de larvas respecto a la batimetría, sí se encontró que la mayor diversidad de larvas ocurrió en la estación somera (E0), disminuyendo hacia la estación más profunda de la plataforma externa (E5, Figura 22b). Por lo tanto,

al asociar las características batimétricas de las estaciones con el régimen de oxigenación (Figura 35f y 36), nuestra primera hipótesis sobre la relación positiva entre el contenido de oxígeno disuelto y la diversidad de larvas de poliquetos se verifica en términos globales.

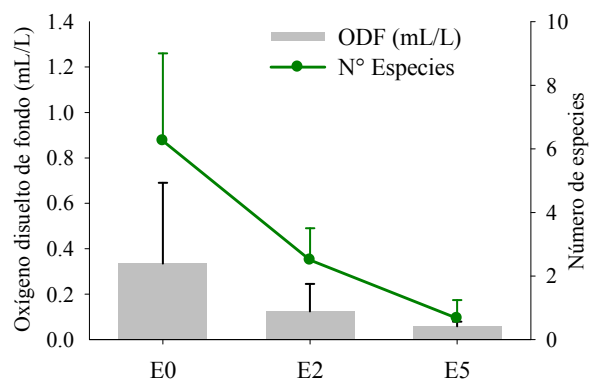


Figura 36. Promedio del contenido de oxígeno disuelto de fondo y número de especies de larvas de poliquetos en el agua de fondo en cada estación de la plataforma continental central del Perú durante el periodo de estudio.

Como se relató anteriormente, durante el estudio se presentó El Niño 2015-16, que manifestó un incremento del oxígeno disuelto y un calentamiento de la capa superficial y subsuperficial (Figura 11 y 13). Esto también permitió el aumento del número de especies de larvas de poliquetos de fondo (Figura 22), especialmente en ambientes someros como fue reportado anteriormente en condiciones similares (Tarazona *et al.*, 1985; Ramos *et al.*, 1999). Así mismo, la temperatura y salinidad de fondo exhibieron niveles significativos de asociación con la diversidad de larvas de poliquetos, donde a mayores valores se encontró mayor abundancia y número de especies (Tabla 12). En estudios experimentales, la exposición a condiciones de baja salinidad (≤ 20 ups) reduce la supervivencia y asentamiento del poliqueto *Hydroides elegans*, que habita en la zona costera de Hong Kong, sometida a cambios estacionales en el flujo de aguas continentales (Qiu y Qian, 1997). Sin embargo, en nuestra área de estudio las variaciones de salinidad fueron menores a 0.2 ups y estuvieron asociadas al acercamiento de aguas oceánicas de alta salinidad (ASS), por lo cual es poco probable que esta variable influya sobre la supervivencia larval. Así mismo, se ha planteado que en ambientes donde

las fluctuaciones estacionales de salinidad son menores, la dinámica poblacional puede ser más dependiente de la interacción de temperatura y la disponibilidad de alimento (plancton), lo que explica la aparición de picos de asentamiento en verano y otoño en muchos ambientes marinos (Reish 1961; Abe *et al.*, 2011).

A nivel específico el estudio encontró algunas diferencias, como en la especie *M. phyllisae*, cuya abundancia de larvas alcanzó mayores valores bajo condiciones de una oxiclina más somera. Estudios previos han reportado mayores abundancias de larvas de *M. phyllisae* en verano y otoño (Rodríguez, 2003, Criales – Hernández *et al.*, 2007), que coinciden con el ciclo estacional de la productividad del sistema, ya que en verano tiende a presentarse mayor productividad, más estratificación y una oxiclina somera (Calienes *et al.*, 1985; Pennington *et al.*, 2006). Así mismo, otros trabajos de Criales – Hernández *et al.*, (2007) y Pinedo (2014) mostraron que *M. phyllisae* presentó una reducción de la abundancia, asociada a la profundización de la oxiclina y a la proyección a la costa de las ASS, típicamente menos productivas, en el verano del 2003 y en EN débil de 2006/2007. En nuestro estudio, en junio y agosto, junto con la presencia de ASS en la zona costera, tampoco se registró larvas de *M. phyllisae* (Figura 12).

Por otro lado, Argüelles *et al.*, (2011) han descrito las condiciones ambientales alrededor de la Isla San Lorenzo, y registrado algunas especies de poliquetos bentónicos, aquellas que también fueron reportadas en la presente investigación, pero en estadio larval, como *Polydora* spp., *B. chilensis* y *Spiophanes* sp. En esta tesis, estas especies presentaron mayores abundancias asociadas al alto contenido de oxígeno disuelto en la estación somera (junio y agosto, Figura 21, 29), lo cual sugiere que su presencia obedece a procesos hidrodinámicos alrededor de la Isla San Lorenzo; que facilitan la dispersión larval, antes de ubicar el ambiente adecuado para asentarse (Pineda, 2000).

La especie *P. pinnata*, típicamente asociada a los sedimentos de la plataforma continental intersectada por la ZMO, fue encontrada en estadio larval a lo largo de todo el gradiente batimétrico, lo cual es consistente con adaptaciones morfo-fisiológicas a la hipoxia (Yokoyama 1992; Gonzales y Quiñonez, 2000; Powers *et al.*, 2001). La dominancia de esta especie en el conjunto de larvas de poliquetos durante todo el estudio evidencia que puede reproducirse todo el año (Figura 21, 29). Además, esta tolerancia a las condiciones desfavorables de algunas especies permitió que la supervivencia de las larvas en el fondo fue mayor en la estación de la plataforma externa (Figura 24b).

Otro factor a tomar en cuenta es la disponibilidad de alimento de las larvas de poliquetos planctotróficos. Yokouchi (1991) observó partículas no identificadas y tintínidos en los intestinos de larvas de *Magelona*; y larvas de bivalvos en las larvas de las familias Polynoidae, Phyllodocidae y Nephtyidae. Además, el aumento de la abundancia del fitoplancton puede proveer una señal positiva para la reproducción de poliquetos (Zajac, 1991; Abe *et al.*, 2011). Por lo tanto, la composición de especies y la abundancia del plancton podrían ser factores de la variación espacial y temporal de la diversidad y abundancia de larvas de poliquetos bentónicos de la plataforma continental del centro del Perú.

La diversidad de larvas de poliquetos bentónicos encontrada en las estaciones evaluadas podría evidenciar un suministro de individuos del área costera hacia la plataforma externa, debido a que algunas especies presentes en la estación somera E0, también son reportadas en la estación E2 (figura 21), lo cual es consistente con la estructura de circulación de un área de surgencia, como es el Callao, que ha sido confirmada por mediciones publicadas que muestran flujos superficiales hacia fuera de la costa (Arguelles *et al.*, 2011). Pero también se debe considerar, que el flujo y recambio de individuos también puede estar influenciado por los procesos de retención y los umbrales de tolerancia de las especies.

5.4. Influencia del ambiente sedimentario sobre el reclutamiento de los poliquetos bentónicos

Las larvas asentadas, post larvas, juveniles y adultos de poliquetos bentónicos están expuestos a las condiciones geoquímicas del sedimento permitiendo o retardando el éxito de la supervivencia (Rodríguez *et al.*, 1993; Cohen y Pechenik, 1999; Bhaud, 2000). Estas condiciones pueden limitar la diversidad y abundancia de las especies de poliquetos bentónicos adultos (Snelgrove *et al.*, 1999; Levin, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2008). Los resultados sugieren que la variación de la concentración del oxígeno disuelto de fondo puede influir en la preservación de la materia orgánica fresca en sedimento superficial (Cl-a), afectando las condiciones reductoras del sedimento (Gutiérrez *et al.*, 2008), las cuales a su vez podrían limitar la supervivencia de los juveniles (o del éxito del reclutamiento de los juveniles) en el sedimento.

El éxito relativo del asentamiento (inferido por la mayor abundancia de juveniles) estuvo asociado a ambientes someros y de la plataforma interna durante junio y agosto, bajo el efecto de la oxigenación pero también con presencia de sulfuros en el agua intersticial (Figura 31a), indicando una intensa remineralización bacteriana por el alto flujo de materia orgánica en la columna de agua (Rowe y Howart, 1985; Gutiérrez *et al.*, 2008). La concurrencia de oxigenación del fondo y sulfuros en el agua intersticial sugiere una condición no estable, propia de ambientes someros con fuerte carga y respiración de la materia orgánica que consume rápidamente el oxígeno y genera también tasas de altas de respiración anaeróbica (Middelburg y Levin, 2009).

Por otra parte, en la plataforma externa predomina una intensa deficiencia de oxígeno disuelto de fondo, aunque con condiciones menos reductoras que en fondos más someros (Figura 30). En este ambiente sedimentario la diversidad de los poliquetos juveniles y adultos es menor (Figura 31a y 32a). No obstante, la abundancia de individuos adultos y la proporción entre el número de especies

en estadio adulto y el estadio juvenil son mayores (Figura 32a, 33), sugiriendo un reclutamiento exitoso de las poblaciones presentes (Figura 26, 32a), pero que en su mayoría corresponden a la especie dominante *P. pinnata*, conocida por su tolerancia a condiciones hipóxicas (Yokoyama, 1992; Powers *et al.*, 2001).

Asimismo, la diversidad y la abundancia de los poliquetos adultos no evidenciaron ninguna relación significativa con el contenido de sulfuros en el agua intersticial (Tabla 14), sugiriendo la existencia de adaptaciones o presencia de especies oportunistas. Uno de los géneros frecuentes en los ambientes someros ha sido *Capitella* (Tarazona *et al.*, 1985; 1985) y según Cuomo (1985) se ha probado que las larvas asentadas de *Capitella* pueden llegar al estadio juvenil y reproducirse exitosamente en presencia de H₂S. Durante esta tesis, el estadio adulto de este género fue registrado bajo condiciones de producción de sulfuros, al igual que *P. pinnata*, por presentar un metabolismo aeróbico y anaeróbico (Dauer, 1985; Quiroga *et al.*, 2007). Entonces, se postula que estas especies pueden presentar una ventaja ecológica, debido a que el H₂S excluye a muchas especies de la macrofauna, permitiéndolas ser pioneras y ocupar espacios abiertos no competitivos. Por lo tanto, se infiere que las adaptaciones pueden determinar la presencia o abundancia de las especies bajo condiciones reductoras del sedimento.

Por lo tanto, nuestra segunda hipótesis de asociación negativa entre condiciones oxido - reductoras del sedimento con el éxito del reclutamiento, no se verifica; debido a que el oxígeno disuelto y las adaptaciones de las especies aparecen como factores principales para la supervivencia.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio es el primero que describe la diversidad de larvas de poliquetos bentónicos en la columna de agua sobre la plataforma continental frente a la costa central. La diversidad encontrada, correspondiente a las familias Spionidae, Magelonidae, Nephtyidae, Sabellariidae, Syllidae y Pilargidae, supera a la diversidad de juveniles asentados y adultos en los sedimentos de la plataforma, indicando la existencia de mecanismos de selección en los procesos de asentamiento y reclutamiento de los poliquetos bentónicos.

El estudio se llevó a cabo en un período fuertemente influenciado por el impacto de El Niño 2015-2016 en su fase inicial, el cual favoreció de forma significativa la oxigenación del fondo, en particular sobre los fondos más someros y la colonización de las comunidades bentónicas en el área de estudio.

Nuestros resultados permiten comprobar la hipótesis planteada de que la disponibilidad larval de poliquetos bentónicos en el agua de fondo está sujeta al régimen de oxigenación en el gradiente batimétrico de la plataforma continental del centro del Perú, donde el mayor número de especies en estadio larval se presenta en ambientes someros sujetos a una mayor frecuencia de episodios de oxigenación. Sin embargo, en el sedimento, la diversidad de los poliquetos juveniles y adultos es menor en la plataforma externa, caracterizada por una menor oxigenación del fondo aunque condiciones menos reductoras. En cambio, la mayor diversidad de especies se presenta en ambientes someros sometidos a oxigenación, aun cuando presenten condiciones reductoras en el sedimento, lo cual no verifica la hipótesis del control del reclutamiento por las condiciones de óxido-reducción.

En la plataforma externa, el reclutamiento es relativamente exitoso para las pocas especies que llegan a asentarse, como *Paraprionospio pinnata*, que es la única especie que se presenta en estadio larval y es la especie dominante de los sedimentos de la plataforma continental.

7. RECOMENDACIONES

Si bien esta tesis ha contribuido a conocer la diversidad de especies de larvas de poliquetos en la columna de agua; no obstante es necesario continuar el estudio de la biodiversidad de los estadios tempranos de los poliquetos meroplantónicos. Para ello es recomendable elaborar una lista de especies, que permita elaborar un catálogo taxonómico.

Para optimizar los estudios de los ciclos de desarrollo biológico de poliquetos es necesario realizar muestreos con mayor frecuencia, lo cual implica muestreos diarios, semanales y/o mensuales de acuerdo a la pregunta en estudio.

El seguimiento de la diversidad de poliquetos en el agua y sedimento reflejó la variación espacial del número de especies y de las abundancias por estadio de desarrollo biológico. Sin embargo, son necesarios estudios específicos sobre la duración del ciclo biológico, periodos de reproducción, estructura de tallas, competencia e interacción entre las especies, congéneres y familia, así como sobre la distribución y migración vertical, que permitan comprender las respuestas a nivel específico de la dispersión larval y el reclutamiento, a los cambios ambientales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe H, Sato-Okoshi W, Endo Y. Seasonal changes of planktonic polychaete larvae and chlorophyll a concentration in Onagawa Bay, northeastern Japan. *Ital J Zool.* 2011; 78 (November 2014): 255–66.
- Abe H, Sato-Okoshi W, Nishitani G, Endo Y. Vertical distribution and migration of planktonic polychaete larvae in Onagawa Bay, north-eastern Japan. *Mem Museum Victoria.* 2014; 71 (December): 1–9.
- Aller R. Transport and reactions in the bioirrigated zone. Oxford University Press, New York, pp. 2001, 269-301.
- Arguelles J, Quispe J, Ledesma J, León V, Sarmiento M, Bernales A, et al. Estudio línea base - ELBA Callao, primavera 2011. Informe-Instituto del Mar del Perú. 2012; 39.
- Arntz WE, Tarazona J, Gallardo V, Flores L, Salzwedel J. Benthos communities in oxygen deficient shelf and upper slope areas of the Peruvian and Chilean Pacific coast, and changes caused by El Niño. *Geol Soc Spec Publ Lond.* 1991. 58:131-154.
- Arntz WE, Gallardo V, Gutiérrez D, Isla E, Levin L, Mendo J, Neira C, Rowe G, Tarazona J, Wolff M. El Niño and similar perturbation effects on the benthos of the Humboldt, California, and Benguela Current upwelling ecosystems. *Adv Geosci.* 2006; 6 (1984): 243–65.
- Ayón P, Criales-Hernandez MI, Schwaborn R, Hirche HJ. Zooplankton research off Peru: A review. *Prog Oceanogr.* Elsevier Ltd; 2008; 79 (2-4): 238–55.
- Bachelet G. Recruitment of soft-sediment infaunal invertebrates: The importance of juvenile benthic stages. *Societe franco-japonaise d'oceanographie, Tokyo.* 1990; 28:199–210.

- Barnes H, Blackstock J. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of sulphophosphovanillin method for “total” lipids. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1973. 12: 103-118.
- Belgrano A, Vinex M, Dewarumez J, Richard A, Craeymeersch J, Heip C. Recruitment of meroplankton larvae in the Southern Bight of the North sea. *Océanis.* 1990; 16: 225–43.
- Bhaud MR. Quelques Données sur le Déterminisme Ecologique de la Reproduction des Annélides Polychaètes. *Mar. Biol.* 1972; 17:115.
- Bhaud MR. Some examples of the contribution of planktonic larval stages to the biology and ecology of polychaetes. *Bull Mar Sci.* 2000; 67(1): 345–58.
- Bhaud M, Duchêne J. Change from planktonic to benthic development : is life cycle evolution an adaptive answer to the constraints of dispersal? *Oceanol Acta.* 1995; 19: 335–46.
- Blake, J. A., 1994. Introduction to the Polychaeta. *Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel.* 1994; 4: 39–114.
- Blake J. Redescription of *Capitella capitata* (Fabricius) from West Greenland. *Zoosymposia.* 2009; 80: 55–80.
- Boltovskoy D. South Atlantic zooplankton. Leiden: Blackhuys Publishers. 1999.
- Böning P, Brumsack HJ, Böttcher ME, Schnetger B, Kriete C, Kallmeyer J, Borchert SL. Geochemistry of Peruvian near-surface sediments, *Geochim Cosmochim Acta.* 2004; 68:4429–4451.
- Butman C. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review.* 1987; 25, 113-165.

- Calienes R, Guillén O, Lostaunau N. Variabilidad espacio-temporal de clorofila y producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol Imarpe. 1985; 10(1): 44.
- Canfield, D.E. Sulfate reduction in deep-sea sediments. Am. J. Sci. 291:177-188; 1991.
- Canfield DE. Factors Influencing Organic-Carbon Preservation in Marine- Sediments. Chem Geol. 1994; 114(93): 315–29.
- Canfield DE, Thamdrup B. Towards a consistent classification scheme for geochemical environments, or, why we wish the term “suboxic” would go away: Editorial. Geobiology. 2009; 7: 385–92.
- Cardich J. Foraminíferos Bentónicos de la plataforma frente a Callao: variación espacial de la estructura comunitaria en relación a factores ambientales, disponibilidad de alimento y otros componentes del bentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2013. p.98.
- Carrasco FD. Larvas de la familia Spionidae (Polychaeta) en el plancton de la Bahía de Concepción, Chile. Gayana (Concepción). 1976; 38: 1–63.
- Carrasco F, Arcos D. Estimación de la Producción secundaria de Paraprionospio pinnata (Spionidae, Polychaeta) frente a Bahía de Concepción, Chile. Bolm Inst Ocean Paulo. 1980; 29(2):79–82.
- Cheung SG, Chan CYS, Po BHK, Li a. L, Leung JYS, Qiu JW, Ang PO, Thiagarajan V, Shin PKS, Chiu JM. Effects of hypoxia on biofilms and subsequently larval settlement of benthic invertebrates. Mar Pollut Bull. 2014; 85: 418–24.
- Clarke K, Ainsworth M. 1993. Method of linking multivariate community structure to environmental variables. Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993; 92: 205-219.

- Cline JD. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. *Limnol Oceanogr.* 1969; 14:454-458.
- Cohen R, Pechenik J. Relationship between sediment organic content, metamorphosis, and postlarval performance in the deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I. *J Exp Mar Bio Ecol.* 1999; 240: 1-18.
- CPPS (Comisión Permanente del Pacífico Sur). Curso Taller Internacional sobre indicadores biológicos del fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste. Colombia, marzo 1993. p. 38.
- Criales-Hernández M, Schwamborn R, Graco M, Ayón P, Hirche HJ, Wolff M. Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. *Helgol Mar Res.* 2007; 62:85-100.
- Cuomo MC. Sulphide as a larval settlement cue for *Capitella* sp I. *Biogeochemistry.* 1985; 1(463): 169-181.
- Dauer DM. Functional morphology and feeding behavior of *Paraprionospio pinnata* (Polychaeta: Spionidae). *Mar Biol.* 1985; 85: 143-51.
- Dean, W. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments by ignition: comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrology*, 44:242-248.
- Díaz RJ, Rosenberg R. Marine benthic hypoxia a review of its ecological effects and behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 1995; 33: 245-303.
- Dubois M, Gilles K, Hamilton JK; Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analyt. Chem.* 1956; 28(3): 350-356.

Fauchald K. The Polychaete Worms. Definitions and Keys to the Orders, Families and Genera, Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series. 1977; 28, p. 188.

Fraschetti S, Giangrande A, Terlizzi A, Boero F. Pre - and post-settlement events in benthic community dynamics Les événements de pré- et post-installation larvaire dans la dynamique des communautés benthiques. *Oceanol Acta*. 2003; 25: 285–95.

Fossing H. Sulfate reduction in shelf sediments in the upwelling region of Central Peru. *Continental Shelf Research*. 1990; 10, 355–367.

Fuenzalida R, Schneider, Garcés-Vargas J, Bravo L, Lange C. Deep-Sea Research II Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Research Part II*. 2009; 56: 992–1003.

Hannan CA. Planktonic larvae may act like passive particles in turbulent near bottom flows. *Limnol Oceanogr*. 1984; 29: 1108–16.

Hartnett H, Keil R, Hedges J, Devol A. Influence of oxygen exposure. Time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature*. 1998; 391:572-574.

Helly JJ y Levin LA. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research Part I*. 2004. 51: 1159-1168.

Holm-Hansen O, Lorenzen CJ, Holmes RW, Strickland JDH. Fluorometric Determination of Chlorophyll. *ICES J Mar Sci [Internet]*. 1965; 30(1): 3–15.

Instituto del Mar del Per. 50 años de Mar y Ciencia. 2014; p.215.

Gooday AJ, Levin LA, Aranda da Silva A, Bett BJ, Cowie GL, Dissard D, Gage JD, Hughes DJ, Jeffreys R, Lamont PA, Larkin KE, Murty SJ, Schumacher S, Whitcraft C, Woulds C. Faunal

responses to oxygen gradients on the Pakistan margin: A comparison of foraminiferans, macrofauna and megafauna. *Deep-Sea Research II*.2009; 56(6-7): 488-502.

Graco M, Ledesma J, Flores G, Girón M. Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev Peru Biol*. 2007; 14(August): 117–28.

Gutiérrez D. Bioperturbación y macrofauna en fondos sublitorales de un área de surgencia frente a Chile central (36° 30' S): variación espacial y temporal en El periodo 1997-1999. PhD thesis, Universidad de Concepción, Chile. 2000; p.221.

Gutiérrez D, Quipúzcoa L, Enríquez, E. Oxygen deficiency and benthic communities in the Peruvian upper continental margin. *Gayana (Concepción)*. 2006; 70 (supplement): 29–36.

Gutiérrez D, Enríquez S, Purca L, Quipúzcoa R, Marquina G, Flores, Graco M. Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*. 2008; 79:177-189.

Jensen RA, Morse D. Intraspecific facilitation of larval recruitment: Gregarious settlement of the polychaete *Phragmatopoma californica* (Fewkes). *J Exp Mar Bio Ecol*. 1984; 83:107–26.

Jorgensen BB. The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark). *Limnol Oceanogr*. 1977; 22: 814–32.

Karpinski. MG. Particularidades de la distribución del bentos en la región submarina del Perú. *Inst. Mar Perú, Informe especial*.1985; p.55.

- Kramer D, Kalin, MJ, Stevens EG, Thraillkill JR y Zweifel JR. Collecting and processing data on fish eggs and larvae in the California Current region. NOAA Technical Report NMFS Circ. 1972; 370: 1-38
- Ledesma J, Tam J, Graco M, León V, Flores G y Morón O. Caracterización de la Zona de mínimo de oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999-2009. Bol Imarpe. 2011; 26:49–57.
- Levin LA. Oxygen Minimum Zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. 2003; 41: 1-45.
- Levin LA. Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: Community structure and response to disturbance. *Ecology*. 1984; 65:185–200.
- Levin, L., Gutiérrez, D., Rathburn, A., Neira, C., Sellanes, J., Muñoz, P., Gallardo, V. A., and Salamanca, M.: Benthic processes on the Peru margin: a transect across the oxygen minimum zone during the 1997–98 El Niño, *Progr. Oceanogr.* 2002; 53: 1–27.
- Lowry OH, Rosenbrough NJ, Farr A, Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Exp. Mar. Ecol.* 1951; 12: 103-118.
- Mileikovsky S. Types of larval development in marine bottom invertebrates, their distribution and ecological significance: a re-evaluation. *Mar Biol.* 1971; 10:193–213.
- Morgan SG, Fisher JL, Miller S, McAfee S, Largier JL. Larval recruitment in a region of strong, persistent upwelling and recruitment limitation. *Mar Ecol Prog Ser.* 2009; 394(12): 79–99.

- Olafsson B, Peterson H, Ambrose G. Does recruitment limitation structure populations and communities of macro-invertebrates in marine soft sediments: The relative significance of pre- and post-settlement processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1994; 32: 65 - 109.
- Omel'yanenko VA, Kulikova VA. 2002. Composition, seasonal dynamics, and long-term fluctuations in the density of pelagic in Amurskii Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya* 28:348–355.
- Pawlik JR, Chemical ecology of the settlement of benthic marine invertebrates. *Oceanogr. Mar. Biol. Rev.* 1992; 30: 273–335.
- Pearson TH, Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 1978.16: 229-311.
- Pennington JT, Mahoney KL, Kuwahara VS, Kolber DD, Calienes R, Chavez FP. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Prog Oceanogr.* 2006; 69: 285–317.
- Peña T, Johst K, Grimm V, Arntz W, Tarazona J.: Population dynamics of a polychaete during three El Niño events: disentangling biotic and abiotic factors, *Oikos.* 2005; 111: 253–258.
- Peña TS, Johst K, Grimm V, Arntz WE, Tarazona J. Disentangling the effects of El Niño on a population of the polychaete *Sigambra bassi* in the Bay of Ancon, Peru. *Adv Geosci.* 2006; 6:161–6.
- Pérez A. Composición bioquímica y distribución de la materia orgánica sedimentaria y sus efectos sobre la estructura comunitaria de la meiofauna en la plataforma continental frente a Callao. 2012. p.166.

Pettibone MH. Annelida. Synopsis and Classification of Living Organisms, McGraw-Hill Book Co, New York.1982; 2:1-43.

Pineda J. Linking larval settlement to larval transport: assumptions, potentials, and pitfalls. Oceanography E Pacif 1. 2000. 84-105.

Pineda J, Hare JA, Sponaugle S. Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. Oceanography.2007. 20:22–39.

Pineda J, Porri F, Starczak V, Blythe J. Causes of decoupling between larval supply and settlement and consequences for understanding recruitment and population connectivity. J Exp Mar Bio Ecol. Elsevier B.V.; 2010; 392(1-2): 9–21.

Pinedo E. Estructura comunitaria del zooplancton de la costa peruana asociado a las masas de agua durante los veranos del 2000 y 2003. 2014. p.122.

Plate S y Husemann E. Identification guide to the planktonic polychaete larvae around the island of Helgoland (German Bight). Helgolinder Meeresuntersuchungen. 1994; 48:1–58.

Powers SP, Harper DE, Rabalais NN. Effect of Hypoxia / Anoxia on the Supply and Settlement of Benthic Invertebrate Larvae. 2001; 185–210.

Qian PY. Larval settlement of polychaetes. Hydrobiologia. 1999; 402: 239-253.

Qian PY, Chia FS. In situ measurement of recruitment, mortality, growth, and fecundity of *Capitella* sp. (Annelida: Polychaeta). Mar Ecol Prog Ser. 1994; 111:53–62.

Qiu JW, Qian PY. Combined effects of salinity, temperature and food on early development of the polychaete *Hydroides elegans*. Mar Ecol Prog Ser. 1997; 152:79–88.

- Quiroga E, Quiñones R, González RR, Gallardo V, Jessen G. Aerobic and anaerobic metabolism of *Paraprionospio pinnata* (Polychaeta: Spionidae) in central Chile. *J Mar Biol Assoc UK*. 2007; 87: 459.
- Ramos E, Indacochea A, Tarazona J. Impacto de “El Niño 1997-98” sobre el asentamiento larval de algunos invertebrados marinos bentónicos de la bahía independencia, Pisco - Perú. *Rev Peru Biol*. 1999; Vol. Extrao: 60–8.
- Reish D. The relationship of temperature and dissolved oxygen to the seasonal settlement of the polychaeta annelid *Hydroides norvegica* (Gunnerus). *Bull Sth Calif Acad Sci*. 1961; 60(A): 1-11
- Rice DL. The detritus nitrogen problem: New observations and perspectives from organic geochemistry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1982. 9: 153-162.
- Rhoads DC, Young DK. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *Journal of Marine Research*. 1970; 28:150–78.
- Rodriguez SR, Ojeda FP, Inestrosa NC. Settlement of benthic marine invertebrates. *Mar Ecol Prog Ser*. 1993; 97:193–207.
- Rodriguez J. Composition and dynamics in space and time of polychaete larvae in coastal waters of the North Sea. 2003.
- Rosenberg R, Nilsson HC, Diaz RJ. Response of Benthic Fauna and Changing Sediment Redox Profiles over a Hypoxic Gradient. *Estuar Coast Shelf Sci*. 2001; 53: 343–50.
- Roughgarden J, Iwasa Y, Blaxter C. Demographic theory for an open population with space-limited recruitment. *Ecology*. 1985; 66(1):54–67.

Rouse GW. Polychaetes have evolved feeding larvae several times. *Bulletin of Marine Science*. 2000. 67: 391-410.

Rouse G, Pleijel F. *Polychaetes*. Oxford University Press; 2001. p.325.

Rowe GT. Benthic production and processes off Baja California, northwest Africa and Peru: a classification of benthic subsystems in upwelling ecosystems. *Simp. Int. O Afr., Inst. Inv. Pesq., Barcelona*. 1985; 2:589-612.

Takahashi K, Mosquera K, Reupo J. El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. *Boletín Técnico*. 2012. p. 8–9.

Santander, H., Luyo, G., Carrasco, S., Veliz, M., Sandoval, O. Catálogo de zooplancton en el mar Peruano, primera parte: Area Pisco-San Juan. *Boletín Instituto del Mar del Perú*. 1981b; 6: 1–75.

Saudemont A, Dray N, Hudry B, Le Gouar M, Vervoort M, Balavoine G. Complementary striped expression patterns of NK homeobox genes during segment formation in the annelid *Platynereis*. *Dev Biol*. 2008; 317: 430–43.

Shain D. *Annelids in Modern Biology*. 2006. 359pp.

Shannon CE. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948; 27:379-423.

Snelgrove, P. V. R. Getting to the bottom of marine biodiversity: Sedimentary habitats: Ocean bottoms are the most widespread habitat on earth and support high biodiversity and key ecosystem services. *BioScience*. 1999; 49:129–138.

Sokal RR, Rohlf FJ. *Biometry*. W. H. Free-man, San Francisco, California, USA. 1969.

- Tarazona J, Paredes C, Romero L, Blascovich V, Guzman S, Sanchez S. Características de la vida planctónica y colonización de los organismos epilíticos durante el fenómeno "El Niño". El Fenómeno "El Niño" y su impacto en la fauna marina. Special Issue Boln Inst Mar Peru-Callao. 1985; pp 41-49.
- Tarazona J, Salzwedel H, Arntz WE. Oscillations of Macrobentos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by El Niño 1982-83. *Journal of Marine Research*. 1988; 46, 593-611.
- Tarazona J, Arntz WE, Canahuiere E. 1996. Impact of two El Niño events of different intensity on the hypoxic soft bottom macrobenthos off the central Peruvian coast. *Mar. Ecol*. 1996; 17: 425-446.
- Tarazona J, Indacochea A, Valle S, Córdova C, Ochoa N, Serrano W, et al. Impacto de "El Niño 1997-8" sobre el ecosistema marino somero de la costa central del Peru. *Rev Peru Biol*. 1999; Vol. Extr: 18-31.
- Thamdrup B, Canfield DE. Pathways of carbon oxidation in continental margin sediments off central Chile. *Limnol and Oceanogr*. 1996; 41(8):1629-1650.
- Thiyagarajan V, Soo L, Shin PKS, Qian PY. Spatio-temporal variation in sediment biochemistry alters larval habitat selection and juvenile performance in the polychaete *Capitella* sp. I. *Mar Ecol Prog Ser*. 2006; 327:207-22.
- Thorson G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biological Reviews*. 1950. 25: 1-45.
- Thorson G. Light as an ecological factor in the dispersal and settlement of larvae of marine bottom invertebrates. *Ophelia*. 1964; 1:167-208.

- Vegas M. Introducción a la ecología del bentos marino. OEA-PRDCT. Serie de Biología, Monografía. 1971; 9: 1- 98.
- Wiebe PH, Benfield MC. From the Hensen net toward four-dimensional biological oceanography. Prog Oceanogr. 2003; 56:7–136.
- Wieser W. Benthic studies in Buzzards Bay. II. The meiofauna Limnol. Oceanogr. 1960; 27: 576-584.
- Wilson WH. sexual reproductive modes in polychaetes : classification and diversity. Bull Mar Sci. 1991; 48 (2):500–16.
- Wolter K, Timlin MS. Measuring the strength of ENSO—how does 1997/98 rank? Weather. 1998; 53:315–324.
- Yentsch CS, Menzel DW. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. Deep Sea Res Oceanogr Abstr. 1963; 10 (1348): 221–31.
- Yokouchi K. Seasonal distribution and food habits of planktonic larvae of benthic polychaeta in Volcano Bay, southern Hokkaido, Japan. Ophelia (Suppl) 1991; 5:401–410.
- Yokoyama H. Larval development of a spionid polychaete *Paraprionospio pinnata* (Ehlers). Publications of the Seto Marine Biological Laboratory. 1981; 26: 157–170.
- Yokoyama H. Occurrence of *Paraprionospio* sp. (Form A) Larvae (Polychaeta: Spionidae) in Hypoxic Water of an Enclosed Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1995; 40: 9-19.
- Yupanqui W. Estudio del macrozoobentos en la Ensenada de Sechura, Piura. 2002. p.66.

Yupanqui W, Quipúzcoa L, Marquina R, Velazco F, Gutiérrez D, Perú M, et al. Composición y distribución del macrobentos en la Ensenada de. Rev Peru Biol. 2007; 14 (1):75–85.

Zajac R. Population ecology of *Polydora ligni* (Polychaeta:Spionidae). I. Seasonal variation in population characteristics and reproductive activity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 1991; 77:197-206.

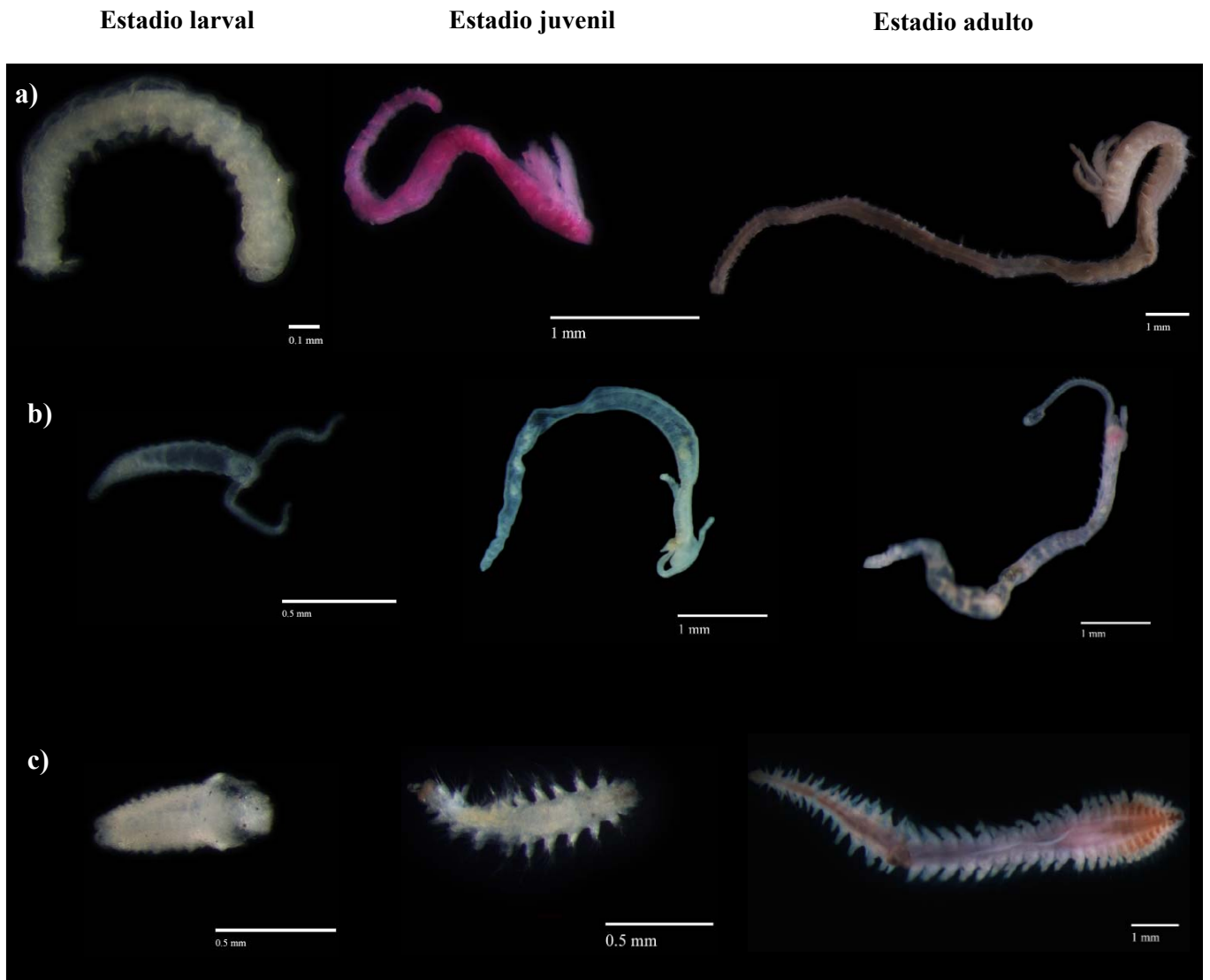
Zar JH. Biostatistical Analysis. 3rd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 1996.

Zuta S, Guillén OG. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Boletín del Instituto del Mar del Perú. 1970; 2:157-324.



9. ANEXOS

Anexo 1. Estadios de desarrollo biológico: larval, juvenil y adulto de: a) *Paraprionospio pinnata*, b) *Magelona phyllisae* y c) *Nephtys ferruginea*, sobre el margen continental frente a Callao.



Anexo 3. Abundancia de los estadios de especies de poliquetos bentónicos en las estaciones del margen continental frente al Callao, durante el mes de febrero del 2015.

Estadio Especie	Larval						Juvenil			Adulto		
	Superficie			Fondo			E0	E2	E5	E0	E2	E5
	E0	E2	E5	E0	E2	E5						
<i>Hermundura fauveli</i>												7±12
<i>Magelona phyllisae</i>	88363	29400		25875	54.1		1±1	3±1	1±1			20
<i>Nephtys ferruginea</i>				287.5	54.1			1				6
<i>Paraprionospio pinnata</i>	79594			11213		27		1		2±3	1±1	13
<i>Sigambra bassi</i>					54.1		1±1					
<i>Syllis magdalena</i>	4721.7											
<i>Polydora spp.</i>	3372.6											
<i>Spiophanes sp.</i>				56.6								
Amphinomidae		51.1										
Pilargidae							6±5	3±1				
Sabellariidae	1686.3	153.4			162.4							

Anexo 4. Abundancia de los estadios de especies de poliquetos bentónicos en las estaciones del margen continental frente al Callao, durante el mes de abril del 2015.

Estadio Especie	Larval						Juvenil			Adulto		
	Superficie			Fondo			E0	E2	E5	E0	E2	E5
	E0	E2	E5	E0	E2	E5						
<i>Boccardia chilensis</i>	1525											
<i>Magelona phyllisae</i>	407179			30691	453.6		4±4	1±1	1±1			1 ± 1
<i>Nephtys ferruginea</i>	762.5	797.2		282.9	151.2		1±1	6±1				
<i>Paraprionospio pinnata</i>	40794			15699		3875.7	1±1	2±1	1±1	1	1 ± 2	1
<i>Sigambra bassi</i>							1±1	1±1				
<i>Syllis magdalena</i>	381.3											
<i>Polydora spp.</i>	381.3											
<i>Spiophanes sp.</i>							2±1					
<i>Tharyx sp.</i>								1±1		1±1		
Hesionidae								1±1				
Pilargidae								9±3				
Sabellariidae	381.3			141.4								
Spionidae sp1				141.4								

Anexo 5. Abundancia de los estadios de especies de poliquetos bentónicos en las estaciones del margen continental frente al Callao, durante el mes de junio del 2015.

Estadio Especie	Larval						Juvenil			Adulto		
	Superficie			Fondo			E0	E2	E5	E0	E2	E5
	E0	E2	E5	E0	E2	E5						
<i>Boccardia chilensis</i>				869.6								
<i>Capitella capitata</i>										2 ± 4		
<i>Cossura chilensis</i>										1 ± 1		
<i>Diopatra cf. chilensis</i>										43 ± 36		
<i>Hermundura fauveli</i>											1	
<i>Magelona phyllisae</i>								1 ± 1		1 ± 1	5	
<i>Nephtys ferruginea</i>	18.8			144.9			1 ± 1				2	
<i>Paraprionospio pinnata</i>				2971.3			1 ± 1	1 ± 1		33 ± 21	16	
<i>Sigambra bassi</i>										1 ± 1		
<i>Mediomastus sp.</i>								1 ± 1				
<i>Polydora spp.</i>				1232								
<i>Prionospio sp.</i>				72.5								
<i>Spiophanes sp.</i>				144.9	71.9							
Harmothoinae										1 ± 1		
Pilargidae							1 ± 1	4 ± 4				
Sabellariidae				2826.3	143.7							
Syllidae				72.5								

Anexo 6. Abundancia de los estadios de especies de poliquetos bentónicos en las estaciones del margen continental frente al Callao, durante el mes de agosto del 2015.

Estadio Especie	Larval						Juvenil			Adulto		
	Superficie			Fondo			E0	E2	E5	E0	E2	E5
	E0	E2	E5	E0	E2	E5						
<i>Boccardia chilensis</i>	144.2			184								
<i>Capitella capitata</i>										1±1		
<i>Cossura chilensis</i>											1±1	
<i>Diopatra cf. chilensis</i>							1 ± 2			3±2		
<i>Magelona phyllisae</i>							1 ± 1		1±1	1±1	4±6	20±20
<i>Nephtys ferruginea</i>				30.7				2± 2		1±1	1±1	3±4
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1586.5	97		1134.4	111		1 ± 1			2±1	11±14	55±20
<i>Sigambra bassi</i>							1 ± 1			1±2		
<i>Leitoscoloplos chilensis</i>							6 ± 4			2±1		
<i>Polydora spp.</i>				367.9								
<i>Spiophanes sp.</i>	1615.3			582.6				1 ± 1		2±1		
<i>Tharyx sp.</i>							1 ± 1			1±1		
Dorvilleidae				30.7								
Glyceridae				30.7			1 ± 1					
Hesionidae												
Pilargidae							2 ± 3	6 ± 5				
Sabellariidae	358.2			459.9								
Spionidae sp1				30.7	4.6							

Anexo 7. Indicadores biológicos de las larvas de poliquetos bentónicos en la columna de agua (a 10m de superficie y fondo) en el margen continental frente a Callao. S = número total de especies, d = índice de Riqueza de Margalef, H' (log₂) = índice de diversidad de Shannon y J' = índice de Equitatividad de Simpson.

Estadio		Larval									
Estación	Mes	Superficie (10m)					Fondo				
		S	N	d	J'	H'(log2)	S	N	d	J'	H'(log2)
E0-F	Febrero	6	194601	0.41	0.64	1.64	3	37375	0.19	0.59	0.94
E2-F	Febrero	3	29604	0.19	0.04	0.07	4	325	0.52	0.9	1.79
E5-F	Febrero	1	57	0	****	0	1	27	0	****	0
E0'-Ab	Abril	7	451405	0.46	0.18	0.52	5	46956	0.37	0.44	1.02
E2-Ab	Abril	1	797	0	****	0	2	605	0.16	0.81	0.81
E5-Ab	Abril	0	0	****	****	0	1	3876	0	****	0
E0-J	Junio	1	19	0	****	0	8	8334	0.78	0.71	2.13
E2-J	Junio	0	0	****	****	0	2	216	0.19	0.9	0.92
E0'-Ag	Agosto	4	3704	0.37	0.78	1.55	9	2851	1.01	0.74	2.34
E2-Ag	Agosto	1	97	0	****	0	2	116	0.21	0.24	0.24
E5-Ag	Agosto	0	0	****	****	0	0	0	****	****	0

Anexo 8. Indicadores biológicos de poliquetos bentónicos juveniles y adultos del sedimento en el margen continental frente a Callao. S = número total de especies, d = índice de Riqueza de Margalef, H' (log₂) = índice de diversidad de Shannon y J' = índice de Equitatividad de Simpson.

Estadio		Juvenil					Adulto				
Estación	Mes	S	N	d	J'	H'(log2)	S	N	d	J'	H'(log2)
E0-F	Febrero	3	7	1.03	0.59	0.95	1	2	0	-	0
E2-F	Febrero	4	7	1.54	0.93	1.86	2	8	0.49	0.26	0.26
E5-F	Febrero	1	1	-	-	0	3	39	0.54	0.91	1.44
E0'-Ab	Abril	5	8	1.99	0.8	1.86	2	1	3.48	0.81	0.81
E2-Ab	Abril	7	18	2.08	0.68	1.92	2	2	1.96	0.72	0.72
E5-Ab	Abril	2	1	-	1	1	1	1	-	-	0
E0-J	Junio	3	2	4.93	1	1.59	8	85	1.58	0.53	1.58
E2-J	Junio	4	7	1.60	0.86	1.73	4	24	0.94	0.68	1.35
E0'-Ag	Agosto	8	12	2.85	0.76	2.28	9	12	3.22	0.91	2.89
E2-Ag	Agosto	3	8	0.94	0.64	1.02	4	17	1.07	0.64	1.28
E5-Ag	Agosto	1	0	-	-	0	3	78	0.46	0.66	1.04

Anexo 9. Resumen del análisis de similitud (SIMPER) de las larvas de poliquetos a 10 m de superficie respecto a las estaciones y meses. SM: Similitud media, AM: Abundancia media, Contrib%: Porcentaje de contribución, Cum%: Porcentaje acumulado.

ESTACIONES					
E0 (SM: 30.14 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	7.32	9.2	0.91	30.51	30.51
<i>Sabellariidae</i>	4.82	6.59	0.9	21.86	52.37
<i>Nephtys ferruginea</i>	4.84	5.36	0.91	17.79	70.16
<i>Magelona phyllisae</i>	6.08	3.4	0.41	11.27	81.43
<i>Boccardia chilensis</i>	3.08	2.05	0.41	6.8	88.23
<i>Syllis magdalena</i>	3.6	1.77	0.41	5.88	94.12
E2 (SM: 0 %)					
E5 (SM: 0 %)					
MESES					
Febrero (SM: 13.50%)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Magelona phyllisae</i>	7.23	9.06	0.58	67.12	67.12
<i>Sabellariidae</i>	4.16	4.44	0.58	32.88	100
Abril (A.M: 7.13%)					
<i>Nephtys ferruginea</i>	4.44	7.13	0.58	100	100
Junio (A.M: 0%)					
Agosto (A.M: 10.12%)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	3.98	10.12	0.58	100	100

Anexo 10. Resumen del análisis de similitud (SIMPER) de las larvas de poliquetos a 10 m de superficie respecto a las estaciones y meses. SM: Similitud media, AM: Abundancia media, Contrib%: Porcentaje de contribución, Cum%: Porcentaje acumulado.

ESTACIONES					
E0 (SM: 51.45 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	8.5	20.74	3.85	40.31	40.31
<i>Nephtys ferruginea</i>	4.94	11.67	2.88	22.69	63
<i>Sabellariidae</i>	4.76	6.24	0.91	12.12	75.12
<i>Magelona phyllisae</i>	5.12	5.58	0.41	10.84	85.96
<i>Polydora spp.</i>	3.26	2.12	0.41	4.12	90.09
E2 (SM: 15.74 %)					
<i>Sabellariidae</i>	2.52	6.28	0.41	39.93	39.93
<i>Magelona phyllisae</i>	2.53	4.73	0.41	30.04	69.96
<i>Nephtys ferruginea</i>	2.26	4.73	0.41	30.04	100
E5 (SM: 19.16 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	3.86	19.16	0.58	100	100
MESES					
Febrero (SM: 20.44%)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	4.22	7.8	0.58	38.14	38.14

<i>Magelona phyllisae</i>	4.72	6.32	0.58	30.93	69.07
<i>Nephtys ferruginea</i>	3.22	6.32	0.58	30.93	100
Abril (SM: 28.48%)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	5.97	12.57	0.58	44.14	44.14
<i>Magelona phyllisae</i>	5.48	8.73	0.58	30.67	74.81
<i>Nephtys ferruginea</i>	3.56	7.17	0.58	25.19	100
Junio (SM: 32.14%)					
Sabellariidae	6.46	17.26		53.7	53.7
<i>Spiophanes</i> sp.	4.64	14.88		46.3	100
Agosto (SM: 8.44%)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	3.92	6.18	0.58	73.2	73.2
Spionidae sp1	1.73	2.26	0.58	26.8	100

Anexo 11. Resumen del análisis de similitud (SIMPER) de las larvas de poliquetos juveniles respecto a las estaciones y meses. SM: Similitud media, AM: Abundancia media, Contrib%: Porcentaje de contribución, Cum%: Porcentaje acumulado.

ESTACIONES					
E0 (SM: 29.12 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Magelona phyllisae</i>	0.74	11.35	0.99	38.99	38.99
Pilargidae	0.74	5.55	0.45	19.05	58.04
<i>Tharyx</i> sp.	0.45	4.35	0.49	14.93	72.97
<i>Leitoscoloplos chilensis</i>	0.66	2.88	0.34	9.89	82.86
<i>Sigambra bassi</i>	0.31	2.43	0.32	8.34	91.2
E2 (SM: 51.56 %)					
Pilargidae	1.64	27.11	1.65	52.58	52.58
<i>Magelona phyllisae</i>	0.8	12.44	1.08	24.14	76.72
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.55	7.55	0.84	14.64	91.36
E5 (SM: 50.0 %)					
<i>Magelona phyllisae</i>	0.52	50	0.91	100	100
MESES					
Febrero (SM: 36.17 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Magelona phyllisae</i>	0.86	19.71	1.14	54.51	54.51
Pilargidae	1.04	12.52	0.62	34.62	89.12
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.28	1.97	0.32	5.44	94.56
Abril (SM: 29.20 %)					
<i>Magelona phyllisae</i>	0.69	9.3	0.78	31.84	31.84
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.59	7.38	0.85	25.27	57.11
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.91	5.9	0.56	20.19	77.3
Pilargidae	0.95	4.43	0.39	15.18	92.49
Junio (SM: 41.55 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.69	27.44	2.51	66.05	66.05
Pilargidae	0.88	7.43	0.58	17.87	83.92
<i>Magelona phyllisae</i>	0.6	6.68	0.58	16.08	100
Agosto (SM: 36.47 %)					
<i>Magelona phyllisae</i>	0.73	17.96	1.28	49.23	49.23
Pilargidae	1.11	13.9	0.77	38.12	87.35
<i>Leitoscoloplos chilensis</i>	0.76	3.84	0.4	10.53	97.88

Anexo 12. Resumen del análisis de similitud (SIMPER) de las larvas de poliquetos adultos respecto a las estaciones y meses. SM: Similitud media, AM: Abundancia media, Contrib%: Porcentaje de contribución, Cum%: Porcentaje acumulado.

ESTACIONES					
E0 (SM: 35.50 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1.66	23.74	1.27	66.86	66.86
<i>Diopatra cf. chilensis</i>	1.4	5.78	0.63	16.28	83.14
<i>Tharyx</i> sp.	0.32	1.94	0.37	5.45	88.6
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.62	1.76	0.38	4.96	93.56
E2 (SM: 24.82 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1.32	8.29	0.51	33.39	33.39
<i>Magelona phyllisae</i>	0.94	8.11	0.58	32.68	66.07
<i>Capitella capitata</i>	0.95	5.25	0.32	21.15	87.22
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.44	1.94	0.32	7.83	95.06
E5 (SM: 51.17 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	2.93	32.41	3.33	63.34	63.34
<i>Magelona phyllisae</i>	2.14	14.91	0.89	29.14	92.48
MESES					
Febrero (SM: 12.68 %)	A.M	Av. Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1.48	12.68	0.58	100	100
Abril (SM: 44.39 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.64	44.39	1.11	100	100
Junio (SM: 57.52 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	3.17	29.17	5.51	50.72	50.72
<i>Nephtys ferruginea</i>	1.55	13.19	6.57	22.94	73.66
<i>Diopatra cf. chilensis</i>	2.53	12.49	0.85	21.72	95.37
Agosto (SM: 35.64 %)					
<i>Paraprionospio pinnata</i>	2.09	19.72	1.52	55.33	55.33
<i>Magelona phyllisae</i>	1.2	6.5	0.51	18.23	73.56
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.59	2.34	0.39	6.57	80.14
<i>Diopatra cf. chilensis</i>	0.55	2.08	0.37	5.85	85.98
<i>Leitoscoloplos chilensis</i>	0.45	1.87	0.39	5.24	91.22



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
ESCUELA DE POSGRADO VICTOR ALZAMORA CASTRO

Declaración del Autor

La presente tesis es un trabajo original y no es el resultado de trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.

Título del trabajo de Investigación:

Asentamiento y reclutamiento de poliquetos bentónicos en la plataforma continental frente a Callao desde verano a invierno de 2015

Nombre del Autor: Bach. Analí Jiménez Campeán

Programa: Maestría en Ciencias del Mar

Firma del autor
DNI: 44513312

Fecha: 06/06/2016