

DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES PARA LA MARICULTURA ENTRE NUEVA ESPERANZA Y HUACURA, REGIÓN TUMBES

DETERMINATION AND CHARACTERIZATION OF POTENTIAL AREAS FOR MARICULTURE BETWEEN NUEVA ESPERANZA AND HUACURA, TUMBES REGION

Paola Cisneros¹Percy Montero¹

RESUMEN

CISNEROS P, MONTERO P. 2020. *Determinación y caracterización de áreas potenciales para la maricultura entre Nueva Esperanza y Huacura, Región Tumbes. Inf Inst Mar Perú. 47(1): 15-36.-* Aplicando una Evaluación de multi-criterio se determinaron zonas aptas para maricultura de moluscos bivalvos en la zona media de la Región Tumbes. Se realizaron tres campañas bio-oceanográficas para caracterizar el área de estudio, evaluándose la variabilidad estacional de diferentes parámetros físico-químicos y de contaminación. Se cartografiaron las restricciones legales y sociales comprendidas en el área de estudio. Los parámetros evaluados fueron categorizados en tres factores (i) crecimiento y supervivencia, (ii) aceptabilidad física, y (iii) calidad de producto; al establecer rangos de idoneidad de cultivo, se asignó puntuación de "1" (adecuado) a los valores que estuvieron dentro del rango aceptable y "0" (no adecuado) a valores fuera del rango. Los tres factores fueron cartografiados generando una base de datos con la modalidad de capas SIG. Las tres capas obtenidas se elaboraron excluyendo las áreas que presentan restricciones legales y sociales. Se superpusieron las tres capas para obtener una cuarta capa (área en común entre los tres factores), resultando dos polígonos con un área total de 64,74 km² o 67,33% del área total de estudio, la que se propone como área apta para la maricultura de moluscos bivalvos con especial énfasis en la ostra nativa *Striostrea prismatica*.

PALABRAS CLAVE: acuicultura, moluscos bivalvos, Tumbes, SIG, evaluación multi-criterio

ABSTRACT

CISNEROS P, MONTERO P. 2020. *Determination and characterization of potential areas for mariculture between Nueva Esperanza and Huacura, Tumbes Region. Inf Inst. Mar Peru. 47(1): 15-36.-* A "Multi-Criteria Evaluation" was applied to identify potential areas for the mariculture of bivalves in the intermediate area of the Tumbes Region. The seasonal variability of different physical-chemical and pollution parameters was evaluated in three bio-oceanographic campaigns to characterize the study area. Legal and social restrictions in the study area were mapped. The evaluated parameters were categorized in three factors (i) growth and survival, (ii) physical acceptability, and (iii) product quality; when establishing ranges of culture suitability, values within the acceptable range were assigned a score of "1" (adequate) and values outside the range were assigned a score of "0" (not adequate). A GIS layer database was generated for all three factors; the three layers obtained were elaborated excluding the areas that present legal and social restrictions. These layers were overlapped to obtain a fourth layer (the common area between the three factors), resulting in two polygons with a total area of 64.74 km² or 67.33% of the total study area, which is proposed as an area suitable for mariculture of bivalve mollusks with particular focus on the rock oyster *Striostrea prismatica*.

KEYWORDS: aquaculture, bivalve mollusks, Tumbes, GIS, Multi-Criteria Evaluation

1. INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Desarrollo Acuícola 2010-2021 (PNDA) (Decreto Supremo N° 001-2010-PRODUCE 2010), descansa en el principio de aplicación de medidas de producción sostenible indicando, entre otros, "... la aplicación del enfoque ecosistémico para la acuicultura a fin de promover que la acuicultura genere crecimiento económico y simultáneamente contribuya a la equidad en el acceso a sus beneficios, sin dañar significativamente el ambiente...". De acuerdo

con AGUILAR-MANJARREZ *et al.* (2017) se considera que es importante seguir un proceso que incluya la revisión/recopilación de la legislación existente en temas acuícolas, zonificación del área de interés, selección del sitio, diseño de áreas de manejo acuícola, y la elaboración de los planes de la gestión acuícola.

HUAMANÍ ALFARO *et al.* (2016) indican que la clasificación del cuerpo de agua marino-costero realizado por el ANA, señala que el mar de Tumbes ha sido dividido en 4 sectores y clasificado

¹ IMARPE-Laboratorio Costero de Tumbes, Calle José Olaya S/N, C.P. Nueva Esperanza, Zorritos, Contralmirante Villar, Tumbes. pcisneroslinares@gmail.com

según el tipo de actividad que se podría desarrollar. El área de estudio, comprendida en el tramo 44, ha sido categorizada para desarrollar actividades de extracción y cultivo de moluscos bivalvos desde la línea de baja marea (cota cero) hasta los mil metros. A pesar de esta clasificación y en comparación con otras zonas marino-costeras, en Tumbes se han desarrollado pocas actividades económicas.

Esta situación resulta una oportunidad para el desarrollo ordenado y sostenible de la maricultura, y para minimizar la probabilidad de algún tipo de conflicto social, generado por el uso del espacio marino (AGUILAR-MANJARREZ *et al.*, 2017). Esto se complementa con lo sugerido por Ordinola *et al.* (Inf Int no pub.), quienes resaltan que zonas de pesca artesanal y áreas con presencia de bancos naturales no constituyen áreas indicadas para realizar cultivos marinos.

En la Región Tumbes, la actividad acuícola está orientada al cultivo del langostino blanco *Penaeus vannamei* (Boone, 1931), en áreas que se encuentran, en su mayoría, dentro de la zona de amortiguamiento del Santuario Nacional los Manglares de Tumbes (SNMT), mientras que las áreas disponibles/habilitadas para la maricultura son escasas (Catastro Acuícola Nacional). Esta situación, sumada a los vacíos de información sobre el potencial acuícola de otras especies marinas nativas y la falta de información sobre las características de la zona marino-costera para fines acuícolas, han limitado el desarrollo de otros tipos de cultivos y la posibilidad de realizar proyectos pilotos de maricultura con enfoque sostenible. En ese sentido, el IMARPE ha realizado algunos estudios relacionados a esos vacíos de información, MONTERO (2013) y ALEMÁN *et al.* (2016) en el litoral Tumbesino han evaluado las características físico-químicas, batimétricas, corrientes, parámetros bacteriológicos e identificación de bancos naturales en áreas con poca o nula información.

Estos estudios han servido para caracterizar parte de la zona marino-costera, pero la información recopilada estuvo limitada a un tiempo y espacio determinado, sin poder evaluar la variación estacional de los parámetros analizados y si esta variación estaría dentro de los rangos aceptables para actividades de maricultura. El desarrollo de actividades

acuícolas no sólo depende del conocimiento biológico de las especies a cultivar, sino también de la capacidad de la zona marino-costera para soportar cultivos acuícolas y de evaluar si las variaciones estacionales propias del ecosistema podrían afectar, o no, los cultivos.

La visión futura para desarrollar maricultura con enfoque ecosistémico en Tumbes sólo podrá ejecutarse cuando se considere y entienda la dinámica e interacción entre los diferentes factores bióticos, abióticos, usos y usuarios presentes en la zona marino-costera. Es por ello que, caracterizando las condiciones físico-químicas, biológicas, de contaminación, restricciones legales y sociales, y aplicando una evaluación de criterios múltiples, este estudio tuvo como objetivo determinar áreas potenciales para realizar maricultura de moluscos bivalvos entre Nueva Esperanza y Huacura, en la Región Tumbes.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó considerando dos fases: caracterización del área de estudio (fase I), y determinación de zonas potenciales para la maricultura de moluscos bivalvos (fase II). La fase I consistió en la obtención de datos de carácter bio-oceanográfico. Los datos obtenidos a partir de la fase I fueron empleados para ejecutar la fase II, la cual consistió en la recopilación de información sobre normativas y limitaciones sociales y, en la determinación de zonas aptas para la maricultura de moluscos bivalvos empleando una evaluación multi-criterio.

Área de estudio

El área de estudio abarcó la zona submareal entre Nueva Esperanza ($3^{\circ}38'43,2''\text{S}-80^{\circ}37'17,9''\text{O}$ – $3^{\circ}34'11,6''\text{S}-80^{\circ}38'54,4''\text{O}$) y el sector Huacura ($3^{\circ}45'19,5''\text{S}-80^{\circ}47'43,6''\text{O}$ – $3^{\circ}43'58,2''\text{S}-80^{\circ}48'16,1''\text{O}$), Provincia de Contralmirante Villar, Tumbes, con una longitud del litoral de 25 km, aproximadamente (Fig. 1). El criterio para no considerar la zona norte de la región Tumbes en la selección del área de estudio se basó en la ubicación de la desembocadura del Río Tumbes y su influencia en aguas marino-costeras adyacentes, alta actividad pesquera y tránsito marítimo, y la pendiente débil del relieve submarino (Ordinola *et al.*, Inf Int no pub.).

Fase I: caracterización del área de estudio

Se realizaron tres campañas bio-oceanográficas en el año 2017. La primera campaña se efectuó en abril, coincidiendo con la temporada de avenida y Alerta de Niño Costero/condiciones cálidas moderadas (ENFEN, 2017a). La segunda en julio, coincidiendo en la temporada de estiaje y Alerta No Activo/condiciones neutras (ENFEN, 2017b). La tercera campaña se realizó en octubre, que correspondió al tiempo previo a la siguiente estación cálida y Alerta de Vigilancia de La Niña Costera/condición fría entre débil y moderada (ENFEN, 2017c). En cada campaña se realizaron 48 estaciones de muestreo dispuestas a lo largo de nueve transectos perpendiculares a la línea de costa, dentro de las 5 millas náuticas (mn), hasta 30 metros de profundidad (Fig. 1).

Las estaciones se georreferenciaron empleando un navegador GPS Garmin Etrex-Vista. Algunos de los parámetros fueron evaluados *in situ* (transparencia, temperatura, profundidad, corrientes superficiales); mientras que, la determinación de otros parámetros implicó la recolección de muestras. Las muestras de superficie de agua de mar se recolectaron con un balde plástico de 20 L y las de fondo con

una botella Niskin de 6 L de capacidad. La recolección de muestras de sedimento marino se ejecutó con una draga van Veen de acero inoxidable con área de mordida de 0,05 m². Las muestras de sedimento marino, para análisis del potencial hidrógeno (pH), materia orgánica total y sulfuros, fueron recolectadas en frascos de plástico de 300 mL. Todas las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis.

La profundidad en cada estación se obtuvo utilizando una ecosonda Garmin GPS Map 178C Sounder. Con el método de Lagrange (HIDRONAV-5138-2013) se obtuvo información para la determinación de dirección y el cálculo de velocidad de la corriente superficial (Cs), empleando un cronómetro y correntómetro metálico de deriva dotado de una boya y banderín.

Parámetros físicos.- La transparencia se midió con un disco Secchi; la temperatura se registró con un termómetro digital Hanna (modelo HI935002) con sensibilidad de 0,1 °C. Para la salinidad se aplicó el método de inducción, utilizando un equipo Portasal Guildline 8410A. El pH se determinó con un potenciómetro WTW (modelo pH 3210 Set 2).

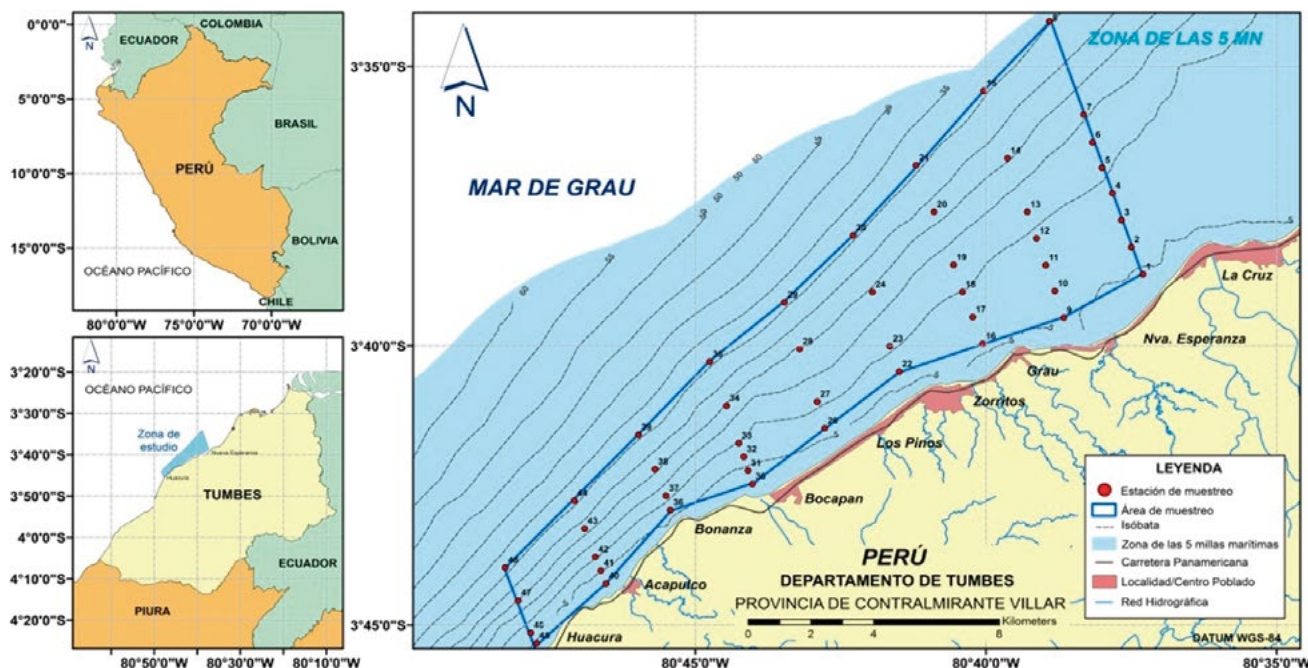


Figura 1.- Carta de ubicación de la zona de estudio y estaciones de muestreo entre Nueva Esperanza y Huacura, Provincia de Contralmirante Villar, Tumbes

Parámetros químicos.- Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se utilizó el método titulométrico de Winkler (CARRIT & CARPENTER 1966). Las concentraciones de nutrientes (fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos) en agua de mar se obtuvieron con la técnica espectrofotométrica (STRICKLAND & PARSONS, 1972), con un espectrofotómetro VIS Unico (modelo 1205) y las concentraciones de clorofila-a (Clo-a) con el método ISO 10260. 1992. Parte 7.1, 7.3, 7.4, 8.1 y 8.4.

Se recolectaron muestras de agua para la determinación de algunos parámetros indicadores de contaminación, tales como sólidos suspendidos totales (SST), cuyas concentraciones se obtuvieron empleando el método gravimétrico APHA-AWWA-WPCF-Part. 2540D. En las estaciones más cercanas a la costa se recolectaron muestras de agua superficial para determinación de bacterias coliformes totales y termotolerantes (CT-CF), empleando la técnica de fermentación en tubos múltiples, Número Más Probable (NMP). La concentración de aceites y grasas (AyG) superficiales se obtuvo por el método gravimétrico de extracción EPA-Methods-1664-Revision-B-2010. Para las concentraciones de sulfuros en agua de fondo se empleó el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 4500-S (2⁻).

El pH en sedimentos marinos se determinó con el método AS-02 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 utilizando un potenciómetro WTW (modelo pH 3210 Set 2). Para la materia orgánica total (MOT) se siguió a DEAN (1974) empleándose una balanza analítica Ohaus y una mufla Thermolyne Type 47900 Furnace. La concentración de sulfuros en sedimentos se estableció según el método EPA-Method-9030B-1996.A. Además se determinó el tipo de sedimento según su textura por medio de análisis sensorial.

Se recolectaron muestras de macro-zoobentos, a partir del sedimento superficial, con dos réplicas, las que fueron tamizadas en mallas nyltal de 500 μ . Los organismos fueron enjuagados con agua de mar y luego preservados en alcohol etílico al 70%. En el laboratorio, los componentes del bentos fueron identificados taxonómicamente hasta Clase consultando los trabajos de MÉNDEZ (1981) y KEEN (1971) y se calculó la densidad y

biomasa por estación de muestreo. En zonas rocosas del sub-mareal con antecedentes de presencia de bancos naturales de ostra *Striostrea prismatica* (Gray, 1825), se realizaron muestreos al azar con la finalidad de corroborar la presencia y el estado de estos bancos.

Las cartas de concentración correspondientes a los parámetros analizados se obtuvieron con un programa libre para interpolación, empleando los métodos *Kriging* e *Inverse Distance to a Power* (IDP) y para las cartas de zonas de pesca según captura total y frecuencia, así como densidad y biomasa de macro-zoobentos, se empleó el programa cartográfico libre QuantumGIS (ver. 2.18). Para determinar el tipo y grado de asociación entre las variables oceanográficas se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson "r", seleccionando los resultados estadísticamente significativos, empleando una prueba de hipótesis con base al error estándar de "r" y al estadístico de prueba t-student ($t_{n-2; \alpha/2}$) con un nivel de confiabilidad del 95%; además se calcularon los intervalos de confianza (CAMACHO-SANDOVAL, 2008).

Fase II: determinación de zonas potenciales para la maricultura

Se empleó una adaptación del diagrama de flujo para la selección de zonas para acuicultura de moluscos bivalvos propuesta por SILVA *et al.* (2011) (Fig. 2).

La Evaluación multi-criterio, tal como muestra el diagrama de flujo, comenzó con la identificación de limitaciones legales, se realizó una recopilación de información existente sobre zonas con presencia de bancos naturales y parches de recursos comerciales (ALEMÁN *et al.*, 2016). Además, a partir de las informaciones del Google Earth Pro, mapas del Catastro Acuícola Nacional y recorrido por carretera, se georreferenciaron e identificaron áreas habilitadas y áreas de derechos acuícolas otorgados, huellas naturales (bosques, montañas, quebradas, ríos, humedales, etc.) y sitios ecológicamente sensibles (áreas marinas protegidas) comprendidas dentro de la zona de estudio hasta 1 km con referencia a la carretera Panamericana norte.

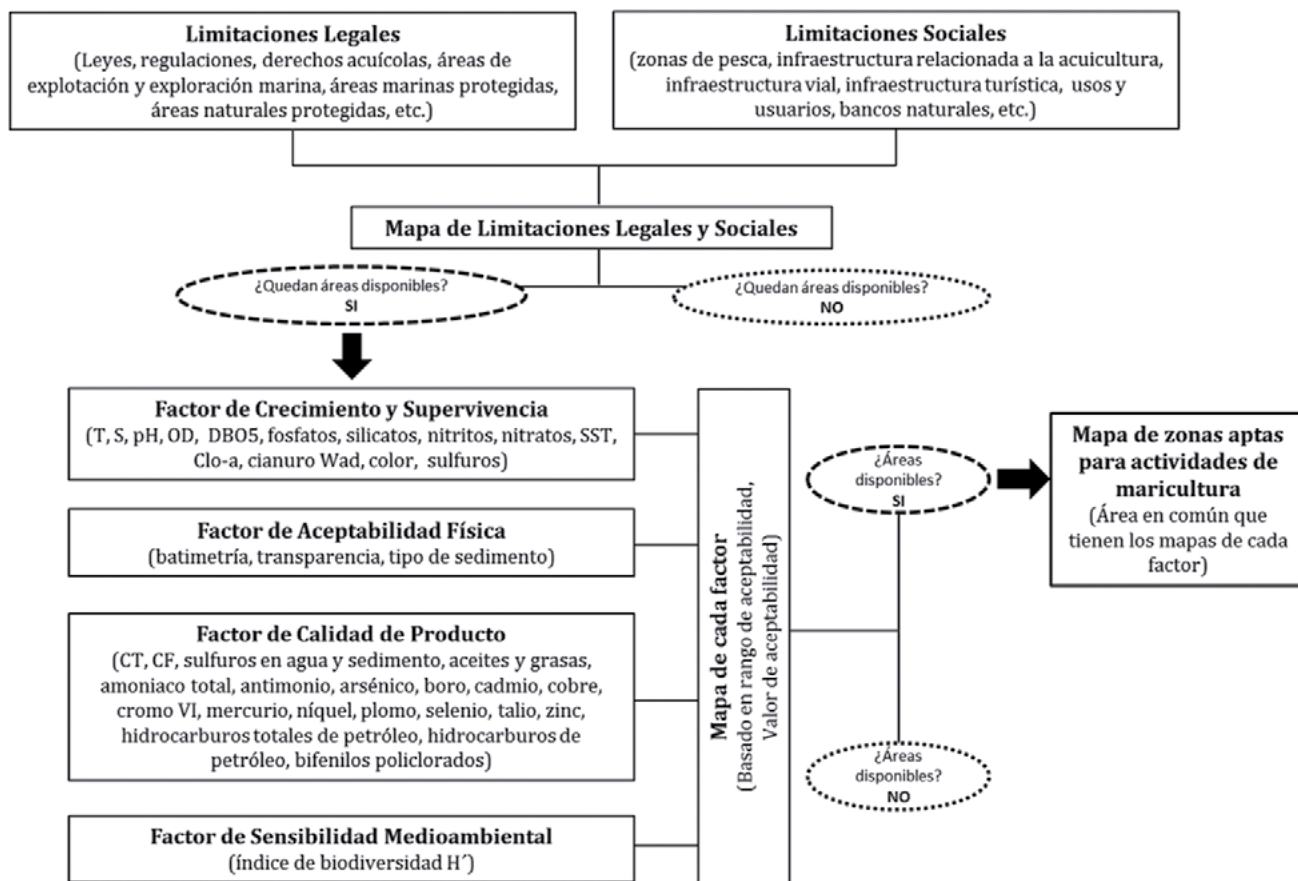


Figura 2.- Diagrama de flujo para la determinación de zonas aptas para la maricultura y selección de sitio, modificado a partir de SILVA *et al.* (2011)

La identificación de las limitaciones sociales se realizó mediante recorrido por carretera y georreferenciación de infraestructuras básicas asociadas a actividades de pesca y acuicultura (muelles, carreteras, plantas de hielo, plantas procesadoras, etc.), tipos de usos del espacio marino-costero (zonas pobladas, agrícolas, turísticas, etc.). Asimismo, se obtuvo información georreferenciada del Sistema Informático de IMARPE (IMARSIS) referida a zonas de pesca en función a la captura total de recursos hidrobiológicos y frecuencia de pesca en el período 2007 - 2017. Para sectorizar las áreas de pesca según la captura total, se elaboró una grilla en la cual se seleccionaron las celdas con un valor total entre 100 y 2.250 toneladas (t); mientras que, para sectorizar las áreas de pesca según la frecuencia de pesca, se seleccionaron las celdas con un valor total entre 3.000 a 30.000 veces. Con la información obtenida se elaboró un mapa temático (QuantumGIS 2.18, modalidad de capas), para representar todas las restricciones legales y sociales existentes en el área de estudio.

Los parámetros evaluados fueron clasificados en tres factores: (i) de crecimiento y supervivencia, (ii) de aceptabilidad física y (iii) de calidad de producto. Los parámetros considerados dentro del factor de crecimiento y supervivencia fueron: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, fosfatos, silicatos, nitritos, nitratos, sólidos suspendidos totales, y clorofila-a. Dentro del factor de aceptabilidad física se evaluaron: batimetría, transparencia y textura del sedimento. El factor de calidad de producto incluyó los parámetros: aceites y grasas, coliformes fecales y termotolerantes, y sulfuros en agua y sedimento marino.

Para establecer los rangos de idoneidad para cultivo de moluscos bivalvos se consideraron los Estándares de Calidad Nacional del Agua-ECA (MINAM, 2017) que establecen valores óptimos de parámetros físico-químicos, inorgánicos, orgánicos, biológicos y organolépticos para actividades de extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados (Categoría 2, Subcategoría 1). Para el caso de los SST (ECA, SST=80 mg.L⁻¹) se decidió evaluar este parámetro con base en los datos históricos

locales, los que presentaron un rango de variación más amplio registrados en bancos naturales de recursos bivalvos comerciales saludables de la región (Ordinola *et al.* Inf Int no pub.; ALEMÁN *et al.* 2016) (Tabla 1)

Considerando que al existir limitaciones locales en términos de desarrollo tecnológico de sistemas de cultivo (AGUILAR-MANJARREZ *et al.* 2017) y sobre la distribución de los bancos de moluscos bivalvos, especialmente de *S. prismatica* (Ordinola *et al.* Inf Int no pub.; ALEMÁN *et al.*, 2016; LOOR 2012), es preferible desarrollar maricultura costera por lo que se estableció el rango de batimetría asociado a cultivos de moluscos bivalvos (Tabla 1)

La clasificación del tipo de sedimento se basó en el estudio realizado por LONGDILL *et al.* (2007), quienes establecieron que "...hábitats con sedimentos marinos blandos, como el limo y el fango, con bajo contenido orgánico, son los ambientes bentónicos más adecuados para desarrollar cultivos suspendidos de moluscos bivalvos." Finalmente, el rango adecuado para sulfuros en sedimento marino se fundamentó en "... la clase de enriquecimiento orgánico de sedimentos establecido para rangos mínimos y máximos de sulfuros totales S²⁻ (nivel óxido A y B, nivel hipóxico A y B, y nivel anóxico)" (HARGRAVE *et al.*, 2008a, b) (Tabla 1).

Tabla 1.- Rangos de aceptabilidad por parámetro evaluado

VARIABLES	Medio	Rango de aceptabilidad	Valor de aceptabilidad	Referencia
Factor de crecimiento y supervivencia				
Temperatura (°C)	AM	20 - 31 <20 ó >31	1 0	1,2
Salinidad (ups)	AM	24 - 35 <24 ó >35	1 0	1,2
Potencial hidrógeno	AM	7 - 8,5 <7 ó >8,5	1 0	3
Oxígeno disuelto (mL.L ⁻¹)	AM	≥2,8 <2,8	1 0	3
Fosfatos (µM)	AM	0,1 - 26 <0,1 ó >26	1 0	1,2
Silicatos (µM)	AM	1 - 130 <1 ó >130	1 0	1,2
Nitritos (µM)	AM	0 - 2 >2	1 0	1,2
Nitratos (µM)	AM	0,01 - 14 <0,01 ó >14	1 0	1,2
Sólidos suspendidos totales (mg.L ⁻¹)	AM	<600 >600	1 0	1,2
Clo-a (ug.L ⁻¹)	AM	≥0,5 <0,5	1 0	4
Factor de aceptabilidad física				
Transparencia (m)	AM	≥0,5 <0,5	1 0	1,2
Textura de sedimento	SM	Arcilloso, areno-arcilloso, Arenoso	1 0	5
Batimetría (m)	-	5 - 30 <5	1 0	1,2,6,7
Factor de la calidad del producto				
Coliformes termotolerantes (NMP.100 mL ⁻¹)	AM	≤14 >14	1 0	3
Aceites y grasas (mg.L ⁻¹)	AM >1	≤1 0	1 0	3
Sulfuros (mg.L ⁻¹)	AM >0,05	≤0,05 0	1 0	3
Sulfuros (mg.kg ⁻¹)	SM	0-102,2 mg.kg ⁻¹ >102,2 mg.kg ⁻¹	1 0	8,9

AM: agua de mar; SM: sedimento marino; 1: Ordinola *et al.* (Inf Int no pub.), 2: ALEMÁN *et al.* (2016), 3: MINAM (2017), 4: LOOR & SONNENHOLZNER (2014), 5: LONGDILL *et al.* (2007), 6: LOOR (2012), 7: AGUILAR-MANJARREZ *et al.* (2017), 8: HARGRAVE *et al.* (2008a), 9: HARGRAVE *et al.* (2008b)

Se les asignó puntuación de "1" (adecuado) a los valores que estuvieron dentro del rango aceptable y puntuación de "0" (no adecuado) a los que estuvieron fuera del rango (Tabla 1). Los valores de los parámetros que incluían datos de superficie y fondo fueron promediados en cada periodo de estudio antes de asignársele el valor "1" o "0". El criterio final para considerar adecuado fue obtener valor de "1" en los tres valores representativos de cada periodo de estudio. Después de la asignación de "1" y "0", los tres factores fueron cartografiados independientemente, empleando el programa QuantumGIS 2.18, para generar una base de datos con la modalidad de capas.

Las tres capas obtenidas se elaboraron considerando los recortes de área por efecto de la capa que representó las restricciones legales y sociales. Finalmente, se superpusieron las tres capas para obtener una cuarta capa. El área en común entre las tres capas se consideró como zona apta para la maricultura de moluscos bivalvos con especial énfasis en *S. prismaticus* dentro del área estudiada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase I: caracterización del área de estudio

Temperatura.- La temperatura superficial en abril varió de 27 a 29,8 °C; en julio entre 24,3 y 25,4 °C; y en octubre entre 24,3 y 26,4 °C. En julio las temperaturas superficiales mostraron valores más homogéneos. En fondo varió de 19,4 a 27,9 °C en abril, en julio entre 18,4 y 25,0 °C y en octubre entre 18 y 26 °C. En abril hubo altas temperaturas cerca de la costa entre Grau y Bocapán disminuyendo conforme aumentó la profundidad, a 30 m de profundidad la temperatura estuvo cercana a 19 °C (julio y octubre) (Fig. 3).

Salinidad.- La salinidad superficial, en abril fluctuó de 26,935 a 31,662 ups, en julio entre 32,115 y 34,106 ups, en octubre se registró valores entre 33,317 y 35,546 ups. En abril, la salinidad superficial presentó valores bajos frente a la quebrada Bocapán; en julio y octubre los valores fueron más homogéneos. En el fondo, la salinidad presentó valores de 30,904 a 35,002 ups en abril; en julio varió de 32,347 a 35,505 ups y en octubre de 33,306 a 34,847 ups (Fig. 4).

Oxígeno disuelto.- Las concentraciones en superficie variaron de 4,10 a 6,11 mL.L⁻¹ en abril, entre 4,17 y 6,67 mL.L⁻¹ en julio y en octubre entre 4,59 y 5,51 mL.L⁻¹; en esta capa las concentraciones se hicieron más homogéneas de julio a octubre. El OD de fondo varió de 1,39 a 4,71 mL.L⁻¹ en abril, de 1,01 a 4,54 mL.L⁻¹ en julio y de 1,42 a 5,03 mL.L⁻¹ en octubre; en abril y julio se obtuvieron valores altos cerca de la costa entre Los Pinos y Bocapán y en octubre las concentraciones aumentaron en gran parte del área de estudio (Fig. 5).

Potencial Hidrógeno.- El pH en superficie varió de 8,13 a 8,33 en abril, entre 8,32 y 8,87 en julio, entre 8,2 y 8,3 en octubre; los valores fueron más homogéneos en abril y octubre, en julio se obtuvo un núcleo de alto valor frente a la quebrada Bocapán. En fondo varió de 7,78 a 8,21 en abril, de 7,87 a 8,70 en julio y de 7,86 a 8,26 en octubre; también se obtuvo un pequeño núcleo de máximo valor frente a la quebrada Bocapán, disminuyendo uniformemente hacia zonas profundas.

Fosfatos.- Los fosfatos superficiales fluctuaron entre 0,13 y 0,49 µM en abril, de 0,22 a 1,33 µM en julio y en octubre de 0,22 a 0,75 µM; en abril las concentraciones de fosfatos fueron las más homogéneas. En fondo, varió de 0,49 a 2,39 µM en abril, de 0,66 a 2,39 µM en julio y de 0,44 a 4,25 µM en octubre; la mayor variación de fosfatos de fondo respecto a otras zonas se presentó frente a Acapulco, especialmente en abril y octubre.

Silicatos.- Los silicatos superficiales en abril variaron entre 9,34 y 40,4 µM, de 2,05 a 10,32 µM en julio, y de 2,58 a 7,21 µM en octubre. En julio y octubre mostraron valores similares, caso contrario a los niveles de abril. Los silicatos de fondo fluctuaron entre 9,43 y 22,7 µM en abril, de 3,11 a 25,80 µM en julio, y de 4,63 a 17,26 µM en octubre. Las concentraciones de silicatos de fondo disminuyeron sus valores de abril a octubre.

Nitritos.- Los nitritos superficiales variaron entre 0,02 y 0,10 µM en abril, de 0,02 a 0,26 µM en julio y entre 0,02 y 0,28 µM en octubre. No se registró variación significativa en los periodos evaluados. Los nitritos de fondo en abril, julio y octubre estuvieron entre 0,08 y 1,07 µM, de 0,12 a 0,81 µM, y de 0,08 a 0,79 µM, respectivamente.

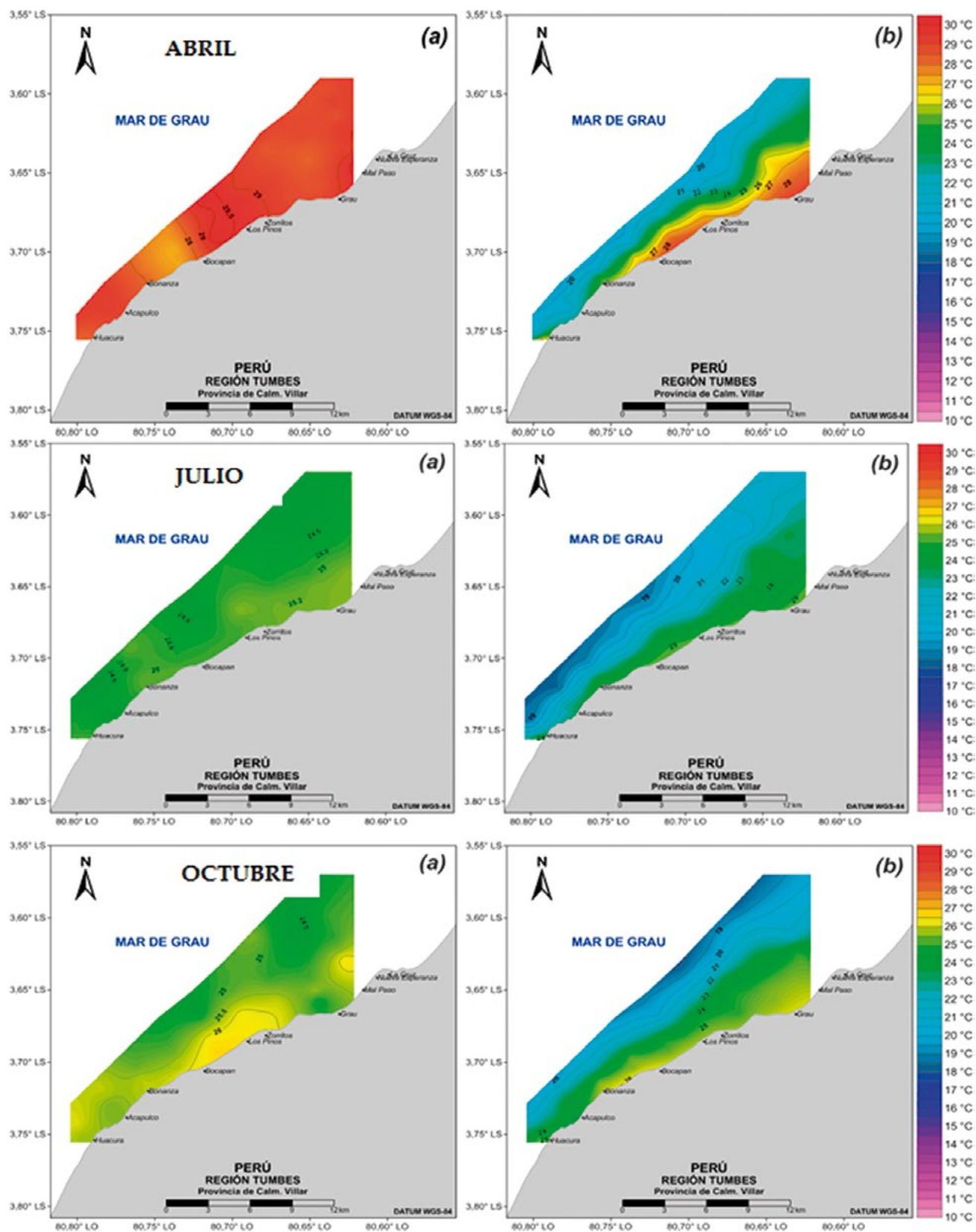


Figura 3.- Temperatura superficial (a) y de fondo (b) entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

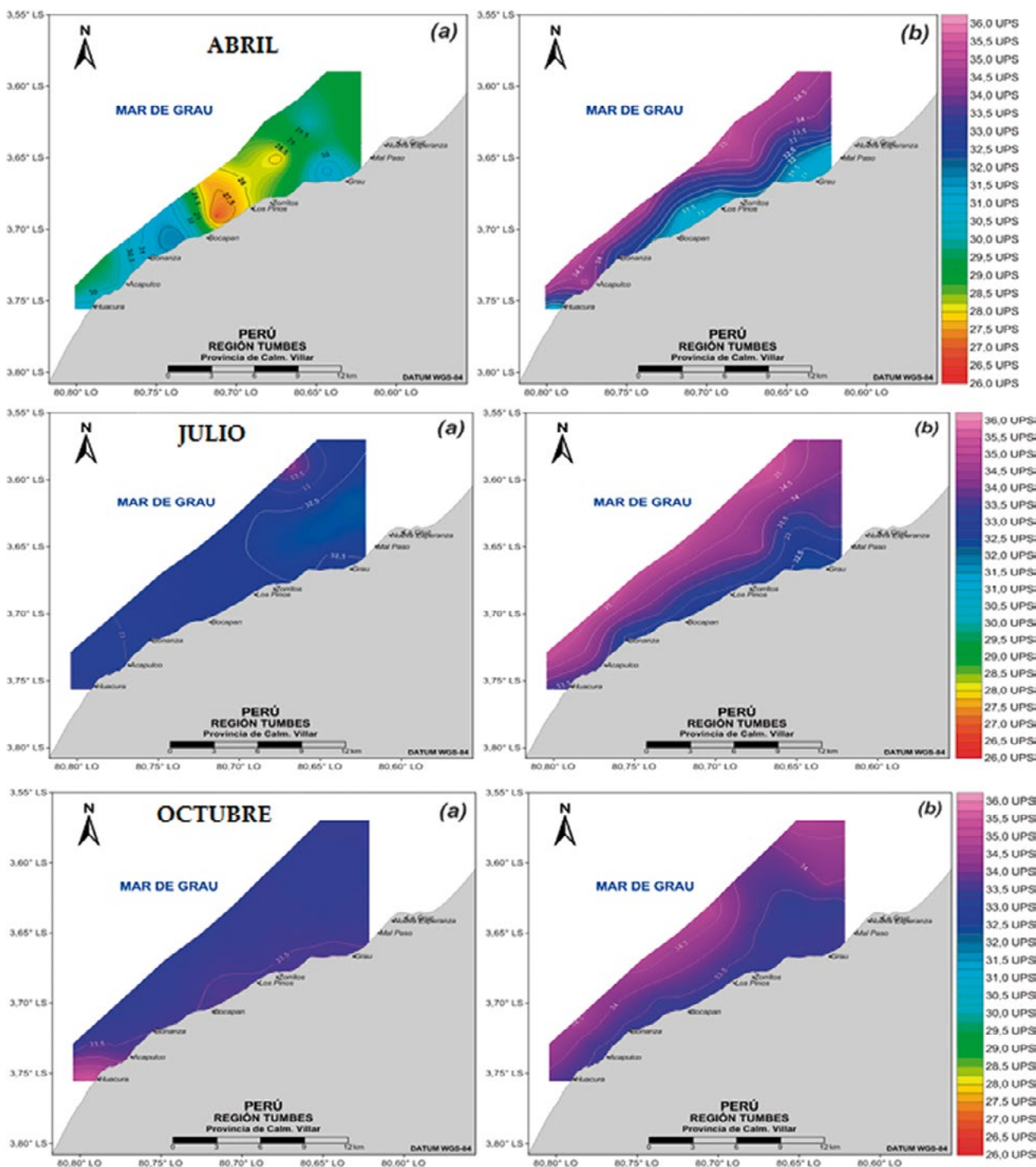


Figura 4.- Salinidad superficial (a) y de fondo (b) entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Nitratos.- Los nitratos de superficie variaron entre 0,02 y 0,51 μM en abril, entre 0,06 y 1,03 μM en julio y entre 0,01 y 0,52 μM en octubre. Los nitratos de fondo, en abril estuvieron entre 0,01 y 13,56 μM , en julio entre 0,52 y 9,89 μM , y en octubre entre 0,01 y 8,21 μM . Los nitratos superficiales mostraron valores más homogéneos y bajos, mientras que los nitratos en fondo

tuvieron mayor variación que los registrados en superficie.

Clorofila-a.- Las concentraciones de Clo-a tuvieron similar fluctuación tanto en julio como en octubre, registrando valores entre <1,5 y 5,86 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y de <1,5 a 5,0 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. Concentraciones alrededor de 5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ se

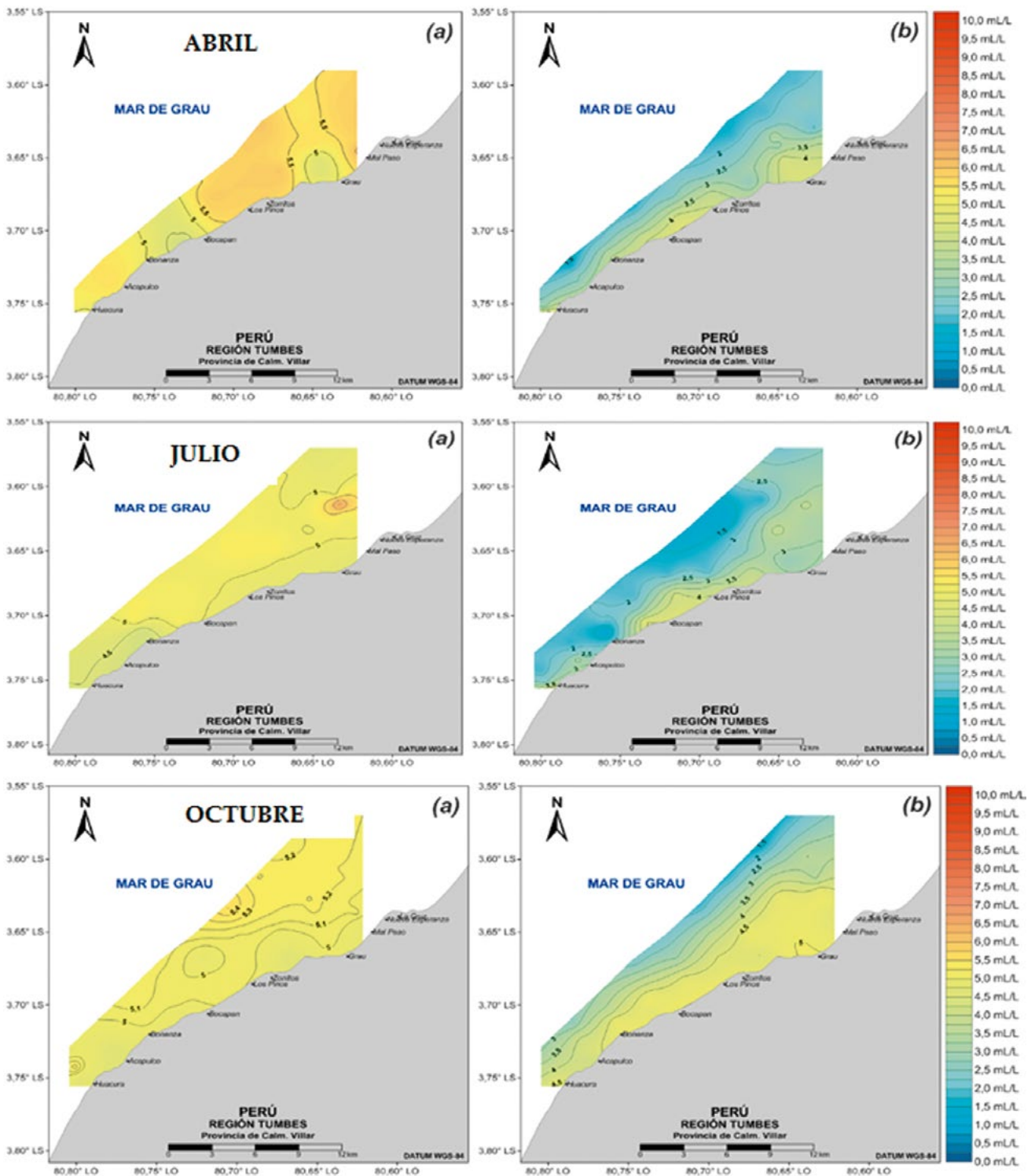


Figura 5.- Oxígeno disuelto superficial (a) y de fondo (b) entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

registraron frente a Zorritos en julio y frente a Huacura en octubre (Fig. 6).

Los resultados obtenidos muestran que las mejores condiciones, en cuanto a disponibilidad de alimento en el área de estudio, se produjeron durante julio ($Clo-a > 1,5 \mu g.L^{-1}$) comparado con octubre ($Clo-a < 1,5 \mu g.L^{-1}$). FLORES *et al.* (1998) determinaron que fuera

de 30 millas náuticas frente a Tumbes, predominan concentraciones bajas de Clo-a ($< 0,5 \mu g.L^{-1}$), mientras que las mayores concentraciones se presentan dentro de las 10 millas náuticas. Las concentraciones de clorofila "a" obtenidas en este estudio, corroboran en cierta forma lo antes mencionado, mostrando que éstas pueden ser mayores y que inclusive, en áreas costeras, existe variación estacional.

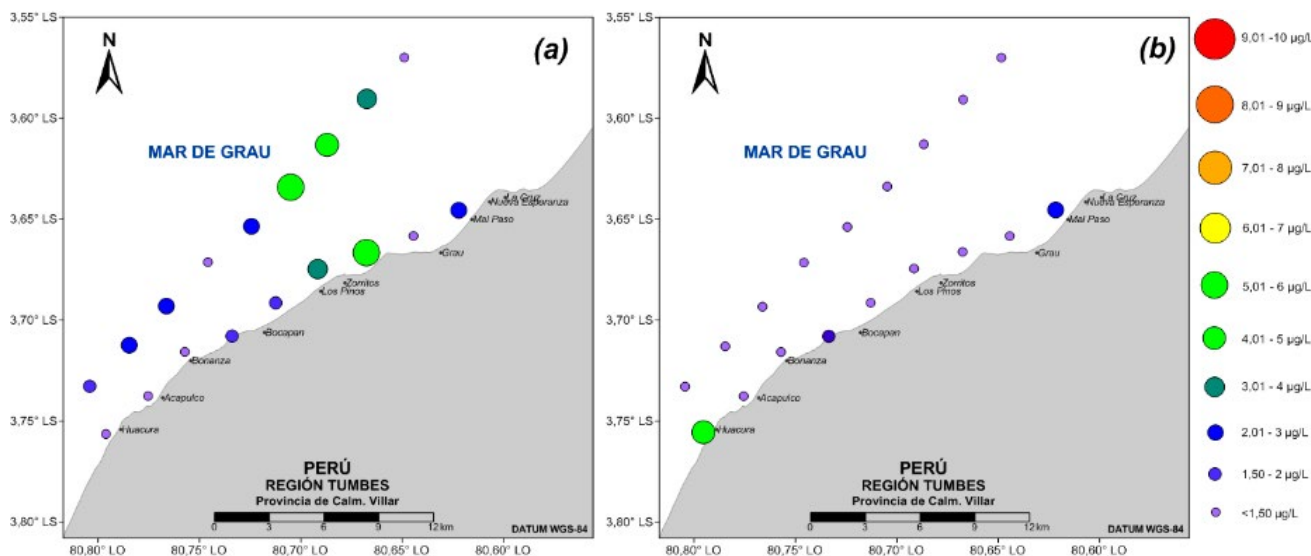


Figura 6.- Clorofila "a" en superficie, en julio (a) y octubre (b) entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Corrientes superficiales (Cs).- La velocidad en abril estuvo entre $3,3$ y $148,1 \text{ cm.s}^{-1}$, en julio entre $0,9$ y $53,3 \text{ cm.s}^{-1}$, y en octubre entre $1,5$ y $81,0 \text{ cm.s}^{-1}$. Durante los tres periodos de evaluación la velocidad de la corriente fue muy similar en toda el área de estudio. En abril y julio las Cs presentaron dos direcciones predominantes, oeste-sur-oeste (OSO) y sur-oeste (SO); en octubre las Cs presentaron la menor variabilidad de su dirección, siendo más frecuente sur-oeste (SO) (Fig. 7).

Batimetría.- Las estaciones de muestreo se realizaron hasta la isobata de 30 m . El relieve submarino registró una pendiente suave entre Nueva Esperanza hasta Los Pinos, lo que resultó en mayor distancia entre la primera estación de muestreo con la última en cada transecto (máxima distancia respecto a la línea de costa $3,5 \text{ mn}$) (Fig. 8). AGUILAR-MANJARREZ *et al.* (2017) señalan que los cultivos de moluscos, deben realizarse en sistemas suspendidos en mar abierto, pero que, de no contar con recursos tecnológicos necesarios para ejecutar este tipo de cultivos, es viable utilizar zonas marinas más costeras. Es por ello la necesidad de georreferenciar las profundidades para tener mayor información al momento de seleccionar el lugar y el tipo de infraestructura de cultivo.

Transparencia.- La transparencia registrada en abril estuvo entre $0,5$ y $4,4 \text{ m}$, con mayor

transparencia en un par de núcleos ubicados cerca de zonas con profundidad de 30 m . Por otro lado, tanto en julio como en octubre varió entre $0,5$ y $8,5 \text{ m}$, indicando mejor visibilidad en zonas más profundas. Estudios previos muestran que bancos de moluscos bivalvos en el ecosistema marino costero de Tumbes, presentaron transparencia mínima de $0,5 \text{ m}$ (Ordinola *et al.* Inf Int no pub.; ALEMÁN *et al.*, 2016), lo que sugeriría que, en zonas con transparencia a partir de este valor, contarían con la cantidad de luz necesaria para la fotosíntesis y en consecuencia para la alimentación de los bivalvos.

Sólidos Suspendedos Totales (SST).- En superficie mostraron valores homogéneos, en abril fluctuaron entre $79,6$ y $171,7 \text{ mg.L}^{-1}$, en julio entre $76,5$ y $157,6 \text{ mg.L}^{-1}$ y en octubre entre $80,8$ y $125,8 \text{ mg.L}^{-1}$. En fondo, en abril estuvieron entre $93,9$ y $333,3 \text{ mg.L}^{-1}$, en julio entre $92,9$ y $341,0 \text{ mg.L}^{-1}$, y en octubre entre $93,9$ y $223,2 \text{ mg.L}^{-1}$. En abril y julio los SST de fondo, entre Zorritos y Bonanza, mostraron incremento a mayores profundidades; en Acapulco se registró un pequeño núcleo de máximo valor en todos los periodos analizados.

Aceites y grasas.- Los resultados para julio y octubre mostraron valores menores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

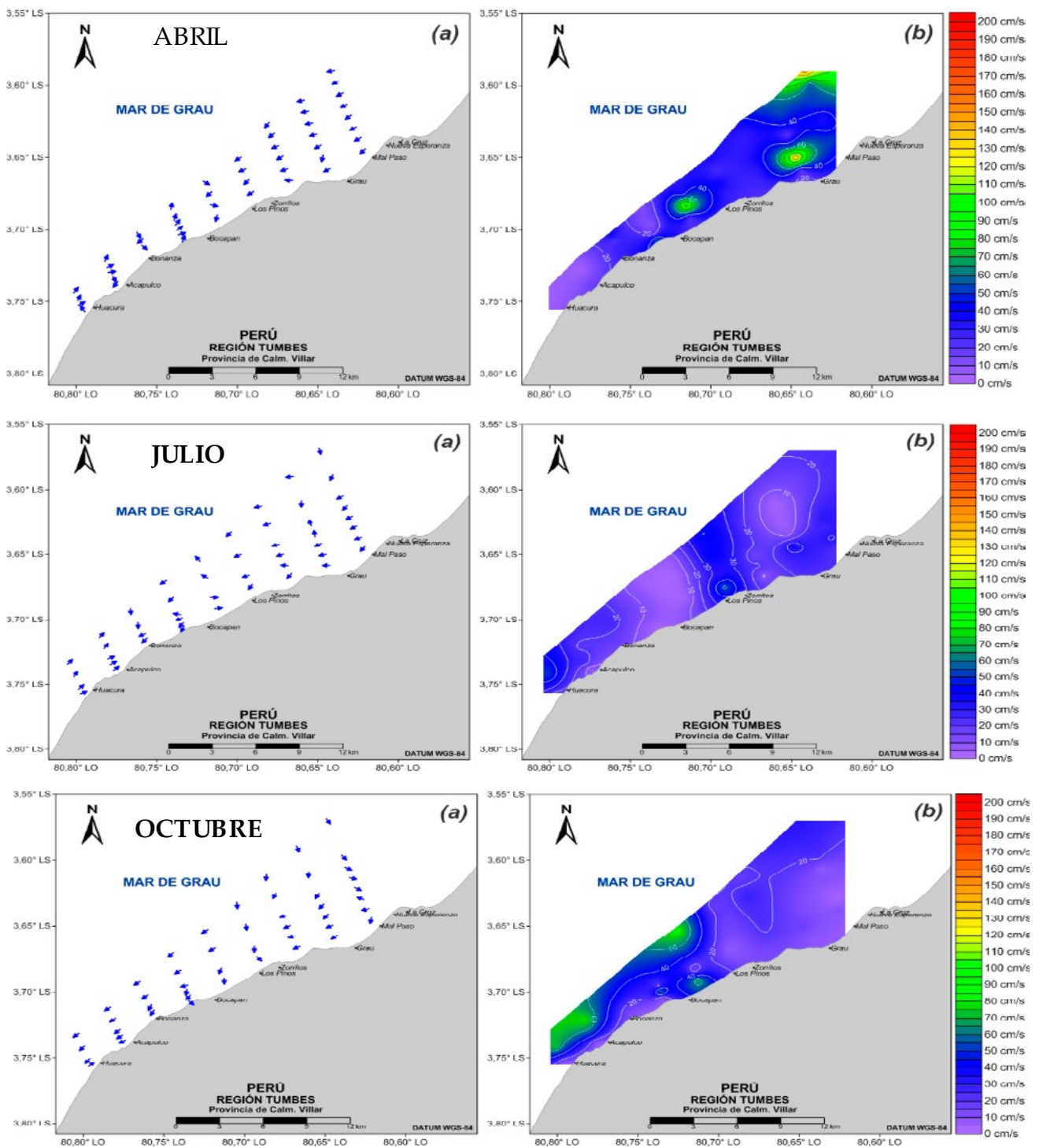


Figura 7.- Dirección (a) y velocidad (b) de las corrientes superficiales entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Coliformes totales (CT) y Termotolerantes (CF).- Sus concentraciones en abril fluctuaron entre <3 y >2.400 NMP.100 mL⁻¹, en julio entre 4 y 11 NMP.100 mL⁻¹, y en octubre entre 4 y 430 NMP.100 mL⁻¹. Los CT y CF en abril oscilaron

entre <3 y >2.400 NMP.100 mL⁻¹, en julio entre <3 y 11 NMP.100 mL⁻¹, y en octubre entre <3 y 280 NMP.100 mL⁻¹. En abril se registraron los valores máximos de CT y CF entre Los Pinos y Bocapán (Fig. 9).

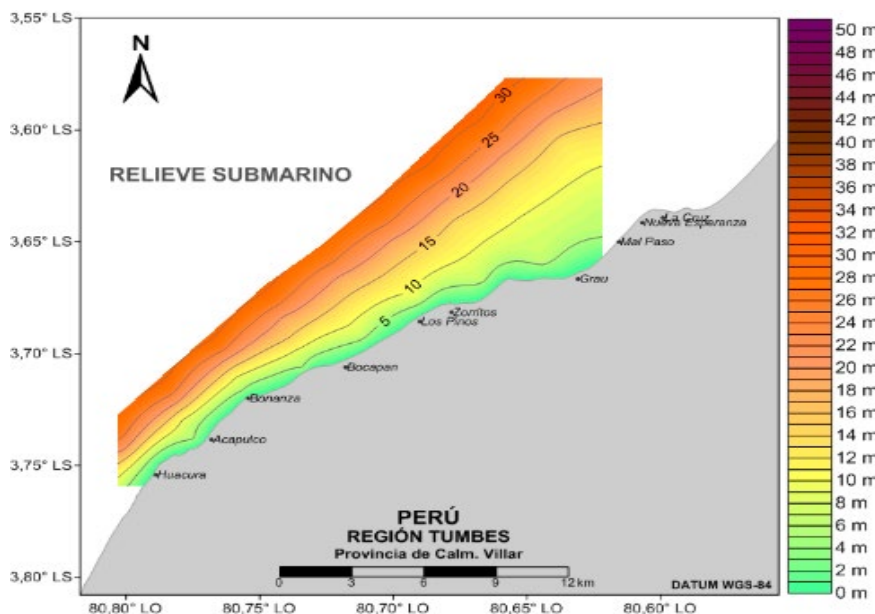


Figura 8.- Configuración del relieve submarino entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Algunas localidades asentadas en la zona de estudio, cuentan con una red de agua y alcantarillado, pero en su mayoría no existe tratamiento adecuado, e incluso, en varias zonas donde se carece de sistemas de alcantarillado, las aguas residuales domésticas son dispuestas en fosas sépticas. No obstante, los valores de CT y CF registrados, en su mayoría, se encontraron debajo del valor límite permitido por la legislación (ECA). Los valores máximos ($>2.400 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) se registraron durante la temporada de avenida y cerca de los centros poblados Los Pinos y Bocapán, lo que indicó que en este sector existió una entrada constante de aguas continentales provenientes de la quebrada Bocapán y de las aguas de desecho de dichos centros poblados, con elevada concentración de CT y CF. “El ubicar granjas de cultivo no cerca de la costa es una medida para evitar la contaminación de los cultivos por aguas de escorrentías, afluencia de aves marinas, y actividades de los caseríos” (RIVAS *et al.*, 2010).

Sulfuros en agua de fondo.- En julio variaron entre $0,02$ y $0,032 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, mientras que en octubre estuvieron entre $0,024$ y $0,035 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. En ambos periodos las concentraciones presentaron una distribución homogénea.

Sulfuros en sedimento.- En julio y octubre fluctuaron entre 12 - $122 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $43,2$ - $229,8$

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente. En julio, los sulfuros presentaron distribución homogénea en la zona de estudio, con la distinción de un pequeño núcleo con concentraciones superiores al resto del área, a mayores profundidades a la altura de Acapulco. En octubre, las concentraciones de sulfuros fueron variadas en toda la zona de estudio y a diferentes profundidades (Fig. 10).

Los datos de sulfuros en el sedimento superficial y agua de fondo presentaron correlación directa media (Tabla 5), lo cual indicaría que hay intercambio de este componente entre los sedimentos y el agua de fondo de la columna de agua. Cuando los sulfuros se asocian con iones como el hierro o la pirita, generan subproductos no tóxicos para el sedimento, de no ser así, los sulfuros totales acumulados en el sedimento resultan ser tóxicos, repercutiendo en la calidad del sedimento marino (HARGRAVE *et al.*, 2008b).

Materia Orgánica Total.- El rango de MOT en julio fue de $2,92$ a $10,23\%$; mientras que en octubre fluctuó entre $0,86$ y $7,18\%$; comparado con octubre, en julio se registró mayor porcentaje de MOT a mayores profundidades, caso contrario a lo observado en octubre cuando el porcentaje fue más homogéneo en casi toda la zona de estudio.

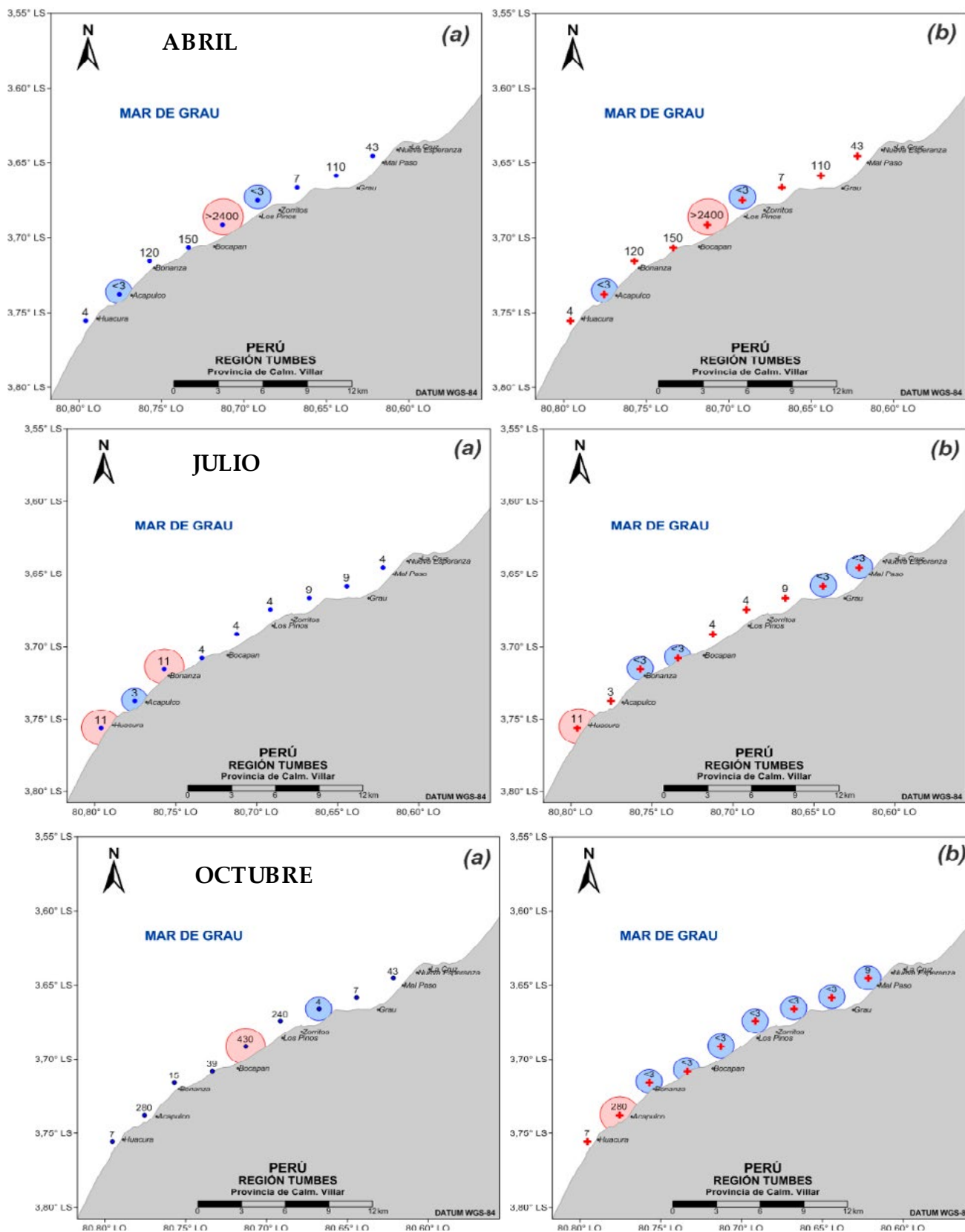


Figura 9.- Coliformes totales (a) y termotolerantes (b) superficiales (NMP.100 mL⁻¹) entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

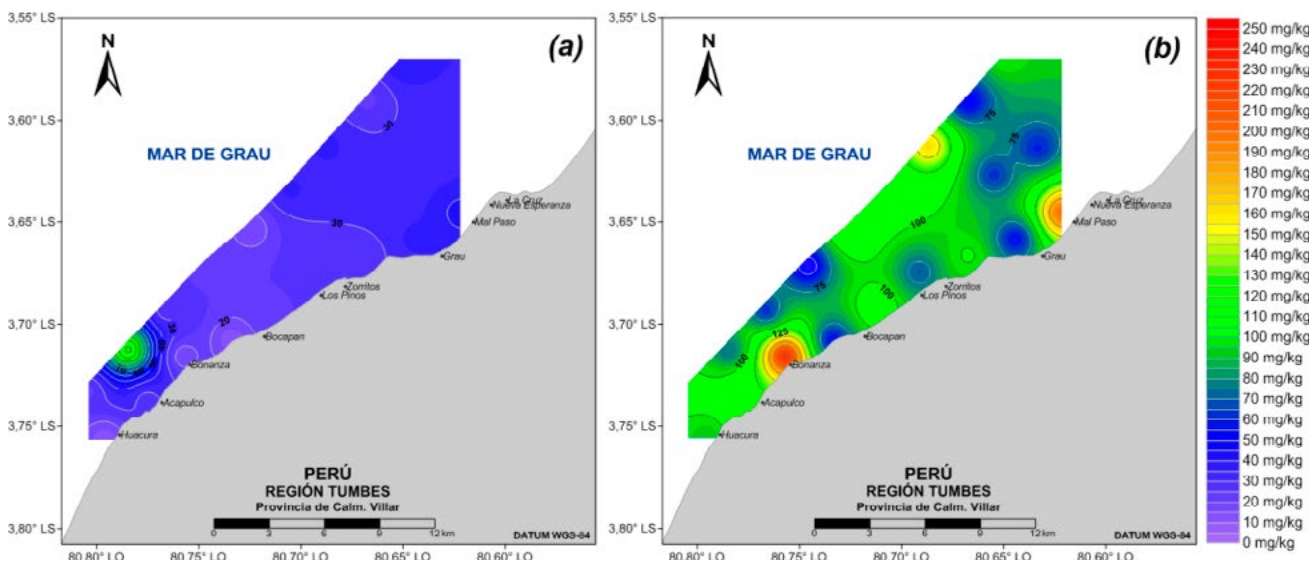


Figura 10.- Sulfuros del sedimento, en julio (a) y octubre (b), entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

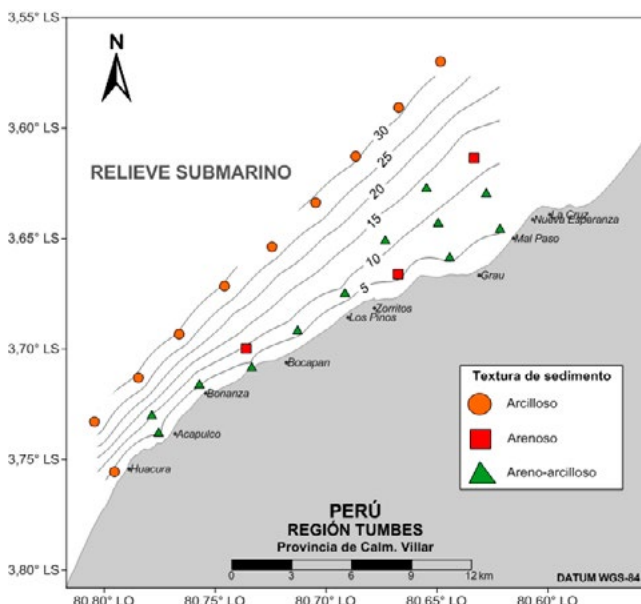


Figura 11.- Tipo de sedimento según textura entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Textura del sedimento.- Se encontraron sedimentos tipo arcilloso en las estaciones ubicadas, en su mayoría, en zonas con profundidad aproximada de 30 m. Los de tipo areno-arcilloso fueron los más frecuentes y se registraron desde estaciones cerca de la costa. También se encontró sedimentos arenosos, en menor frecuencia, a diferentes profundidades (Fig. 11). Diferentes estudios afirman que sedimentos blandos (limo y arcilla) con poco contenido orgánico resultarían ser los tipos de hábitats ideales para realizar maricultura de moluscos bivalvos (LONGDILL *et al.*, 2008). Por otro lado, MARTÍNEZ-GARCÍA *et al.*

(2015) señalaron que, en sedimentos arenosos bajo contenido de enriquecimiento orgánico y presencia de poliquetos, el tamaño del grano no sería un parámetro trascendental cuando se seleccionan zonas para desarrollar acuicultura.

Organismos macro-zoobentónicos.- La biomasa total estuvo mayormente representada por moluscos, de los cuales la clase Bivalvia (71,3%) prevaleció sobre la Gasterópoda (28,7%). La biomasa presentó mayores valores (240 - 420 g.m⁻²) frente a Nueva Esperanza (5 m), Grau (5-10 m) y Huacura (30 m) (Fig. 12a). Los anélidos (Clase: Polychaeta) presentaron la mayor densidad total (52%) en contraste con los equinodermos (6%). En la mayoría de las estaciones se encontró densidad total entre 150 y 300 ind.m⁻²; la estación con menor densidad total se ubicó frente a Huacura (Fig. 12b).

Además de establecer el grado de biodiversidad presente en el área (BOESCH, 1972; JIAO *et al.*, 2011), es importante determinar el tipo de macro-zoobentos, porque algunas especies han sido catalogadas como bioindicadores y, como en el caso de los poliquetos, como especies oportunistas y no-oportunistas (FERNÁNDEZ y LODOÑO, 2015; RAZ-GUZMÁN, 2000). Por otra parte, determinar el tipo de organismos macro-zoobentónicos presentes en los sedimentos marinos ha sido sugerido en evaluaciones acuícolas porque estos contribuirían a la resiliencia del sedimento ante actividades de acuicultura por medio del incremento de su capacidad metabólica (BANTA

et al., 1999) y porque ayudarían a estimular la bioturbación y bio-irrigación (MARTÍNEZ-GARCÍA et al., 2015).

Áreas de pesca artesanal.- El análisis de las zonas de pesca, determinadas a partir de las capturas totales dentro del período 2007-2017, mostró que a pesar de haberse registrado capturas mayores a 100 t cerca de la costa (isobata 5 m), la mayor recurrencia de este tipo de capturas se presentó a partir de la isobata 15 m en toda la zona de estudio (Fig. 13a). Al evaluar las capturas en función de la frecuencia de pesca se registró mayor frecuencia a lo largo del tramo frente a Grau dentro de la zona de estudio (Fig. 13b).

Correlación lineal entre parámetros.- En superficie destacaron las asociaciones inversas y moderadas altas entre los valores de temperatura y salinidad, así como entre salinidad y concentraciones de silicatos (Tabla 2). En fondo, la salinidad, pH, OD y los nutrientes presentaron valores asociados a la temperatura en mayor grado que en la superficie. Además, en el fondo destacaron las asociaciones inversas y moderadas altas entre los valores de temperatura y la salinidad, así como entre la temperatura y silicatos (Tabla 3). Los parámetros de fondo mayormente asociados a la profundidad fueron temperatura, salinidad y OD (Tabla 4).

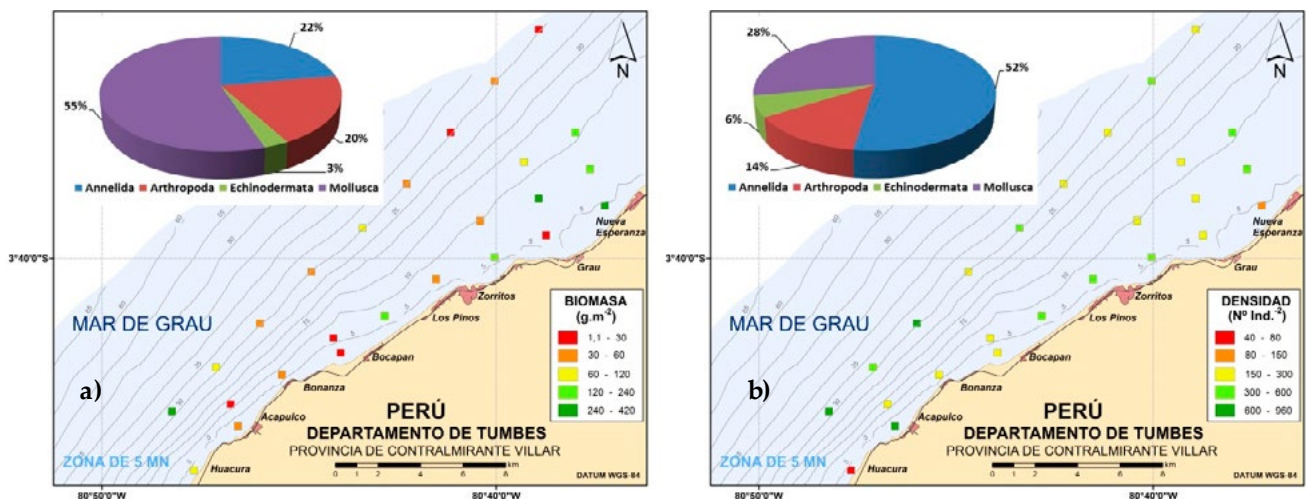


Figura 12.- Biomasa total (a) y densidad total (b) del macro-zoobentos entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

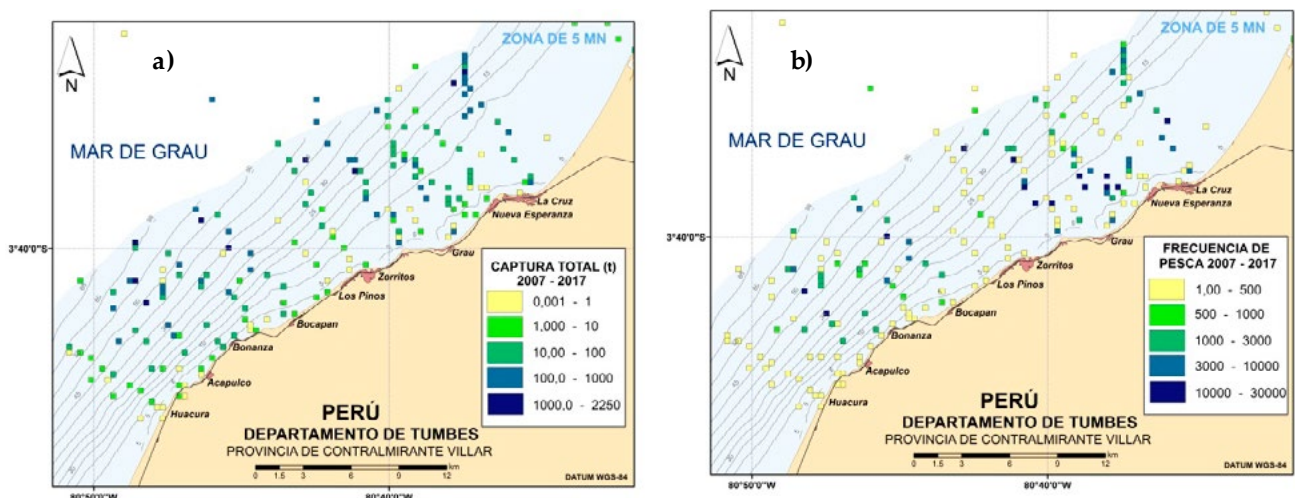


Figura 13.- Captura total (a) y frecuencia total (b) por áreas de pesca artesanal, del 2007 al 2017, entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes (Fuente: IMARSIS, 2007-2017)

Tabla 2.- Índice de correlación lineal de Pearson "r", (95%; tn-2; $\alpha/2$) entre parámetros oceanográficos de superficie, entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Variables	T (°C)	Sal. (ups)	pH	OD (mL.L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (μM)	SiO ₂ ⁻² (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	SST (mg.L ⁻¹)
T (°C)	1,000								
Sal. (ups)	-0,886±0,051	1,000							
pH	-0,390±0,141	E.N.S.	1,000						
OD (mL.L ⁻¹)	0,498±0,124	-0,564±0,157	E.N.S.	1,000					
PO ₄ ³⁻ (μM)	-0,433±0,186	0,502±0,172	E.N.S.	-0,615±0,144	1,000				
SiO ₂ ⁻² (μM)	0,663±0,130	-0,844±0,068	-0,360±0,202	0,318±0,205	-0,302±0,207	1,000			
NO ₂ ⁻ (μM)	E.N.S.	E.N.S.	-0,334±0,206	-0,469±0,179	0,551±0,161	E.N.S.	1,000		
NO ₃ ⁻ (μM)	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	-0,384±0,195	0,516±0,169	E.N.S.	0,268±0,212	1,000	
SST (mg.L ⁻¹)	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	-0,399±0,195	0,278±0,213	E.N.S.	E.N.S.	0,316±0,208	1,000

E.N.S.: Estadísticamente no significativo

Tabla 3.- Índice de correlación lineal de Pearson "r", (95%; tn-2; $\alpha/2$) entre parámetros oceanográficos de fondo, entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Variables	T (°C)	Sal. (ups)	pH	OD (mL.L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (μM)	SiO ₂ ⁻² (μM)	NO ₂ ⁻ (μM)	NO ₃ ⁻ (μM)	HS ⁻ (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)
T (°C)	1,000									
Sal. (ups)	-0,860±0,062	1,000								
pH	0,627±0,102	-0,527±0,170	1,000							
OD (mL.L ⁻¹)	0,739±0,075	-0,631±0,140	0,735±0,078	1,000						
PO ₄ ³⁻ (μM)	-0,661±0,131	0,643±0,137	-0,605±0,149	-0,646±0,135	1,000					
SiO ₂ ⁻² (μM)	-0,879±0,054	0,233±0,217	-0,726±0,112	-0,584±0,152	0,438±0,185	1,000				
NO ₂ ⁻ (μM)	-0,625±0,141	0,524±0,168	-0,695±0,122	-0,705±0,117	0,701±0,118	0,686±0,123	1,000			
NO ₃ ⁻ (μM)	-0,598±0,149	0,552±0,162	-0,619±0,145	-0,654±0,133	0,507±0,171	0,493±0,174	0,564±0,157	1,000		
HS ⁻ (mg.L ⁻¹)	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	1,000	
SST (mg.L ⁻¹)	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	1,000

E.N.S.: Estadísticamente no significativo

En los sedimentos superficiales, destacaron algunas asociaciones de parámetros con el agua de fondo. Entre ellas la asociación directa y moderada entre los valores de pH del sedimento superficial y los de pH del agua de fondo. También destacaron las asociaciones inversas y moderadas altas entre MOT-temperatura y MOT-OD. Las concentraciones de sulfuros del sedimento superficial presentaron correlación directa y moderada con la salinidad de fondo, así como directa y media con los sulfuros del agua de fondo (Tabla 5).

Tabla 4.- Índice de correlación lineal de Pearson "r", (95%; tn-2; $\alpha/2$) entre parámetros oceanográficos de fondo y la profundidad, entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Variables	P (m)
T (°C)	-0,825±0,076
Sal. (ups)	0,732±0,078
pH	-0,553±0,115
OD (mL.L ⁻¹)	-0,601±0,148
PO ₄ ³⁻ (μM)	E.N.S.
SiO ₂ ⁻² (μM)	0,414±0,190
NO ₂ ⁻ (μM)	0,580±0,153
NO ₃ ⁻ (μM)	0,519±0,168
HS ⁻ (mg.L ⁻¹)	E.N.S.
SST (mg.L ⁻¹)	E.N.S.

E.N.S.: Estadísticamente no significativo

Tabla 5.- Índice de correlación lineal de Pearson "r", (95%; tn-2; $\alpha/2$) entre parámetros oceanográficos de fondo y en sedimento superficial, entre Nueva Esperanza y Huacura, Tumbes

Variables	T (°C)	Sal. (ups)	pH	OD (mL.L ⁻¹)	HS ⁻ (mg.L ⁻¹)	pH*	MOT (%)*	HS ⁻ (mg.kg ⁻¹)*
T (°C)	1,000							
Sal. (ups)	-0,828±0,092	1,000						
pH	0,822±0,068	-0,711±0,143	1,000					
OD (mL.L ⁻¹)	0,770±0,084	-0,627±0,174	0,701±0,106	1,000				
HS ⁻ (mg.L ⁻¹)	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	E.N.S.	1,000			
pH*	0,655±0,174	-0,533±0,216	0,713±0,151	0,455±0,237	-0,380±0,270	1,000		
MOT (%)*	-0,806±0,109	0,690±0,160	-0,662±0,171	-0,809±0,108	E.N.S.	-0,401±0,250	1,000	
HS ⁻ (mg.kg ⁻¹)*	E.N.S.	0,701±0,311	E.N.S.	E.N.S.	0,580±0,214	-0,470±0,248	E.N.S.	1,000

E.N.S.: Estadísticamente no significativo

* valor en sedimento superficial

Fase II: determinación de zonas potenciales para la maricultura

La zona de estudio comprendió ocho centros poblados: Nueva Esperanza, Grau, Zorritos, Los Pinos, Bocapán, Bonanza, Acapulco, y Huacura. En estos centros poblados se encontraron tres puntos de desembarque pesquero artesanal significativos, y los alrededores de los centros poblados se emplean como puntos de desembarque casuales. De los tres puntos de desembarque solo Acapulco presentó infraestructura propia de un desembarcadero (muelle y terminal pesquero artesanal). La infraestructura vial del área de estudio incluyó la carretera Panamericana norte y, los puntos de desembarque oficial cuentan con caminos asfaltados y de terreno asentado para su acceso. Se identificó una amplia infraestructura turística (hoteles y alojamientos) a lo largo de la costa del área de estudio, especialmente a partir de la zona denominada Los Pinos en dirección sur. Como infraestructura de procesos, solo se registró una planta procesadora, que centra sus operaciones en el recurso langostino y una planta de hielo que está inoperativa. No se registraron zonas agrícolas, tampoco área marina protegida. Existen 21 quebradas, por las que fluye el agua dulce según la intensidad de la temporada de lluvias (Fig. 14).

Tomando en cuenta los sectores donde se identificaron capturas a partir de 100 t y frecuencia de pesca mayores a 3.000 veces, se establecieron las áreas de pesca dentro del área de estudio, las cuales fueron consideradas como áreas no adecuadas para desarrollar actividades de maricultura. Con base en la información provista en el Catastro Acuícola Nacional, en la actualidad, sólo se encontró un área de derecho acuícola, habilitada para actividades de maricultura del tipo concesión acuícola con fecha de vigencia hasta el año 2024. Se corroboró y georreferenció la presencia de bancos de ostra del intermareal y submareal, así como otros bancos de otras especies comerciales bentónicas identificados por Ordinola *et al.* (Inf Int no pub.) y ALEMÁN *et al.* (2016) (Fig. 14).

El área disponible para continuar con la evaluación multi-criterio se determinó descartando todas las restricciones legales y sociales georreferenciadas e ilustradas en capas, la cual resultó ser 76,67 km², es decir el 79,7% del total de área de estudio (96,15 km²) (Fig. 15). Evaluar zonas de manera integral, considerando este tipo de restricciones, ha sido

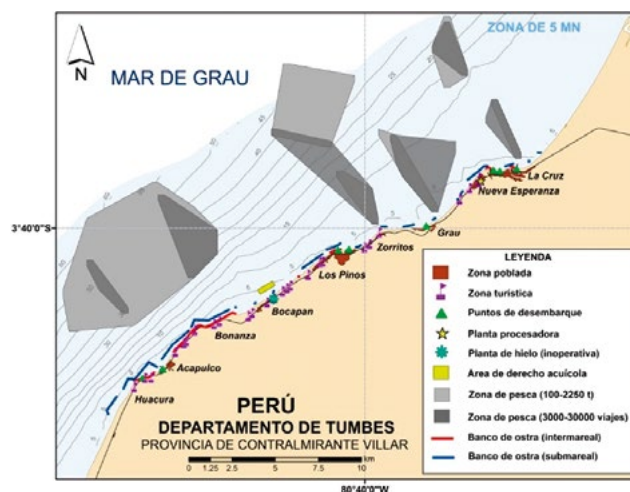


Figura 14.- Restricciones legales y sociales en el litoral y zona marino-costera, entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

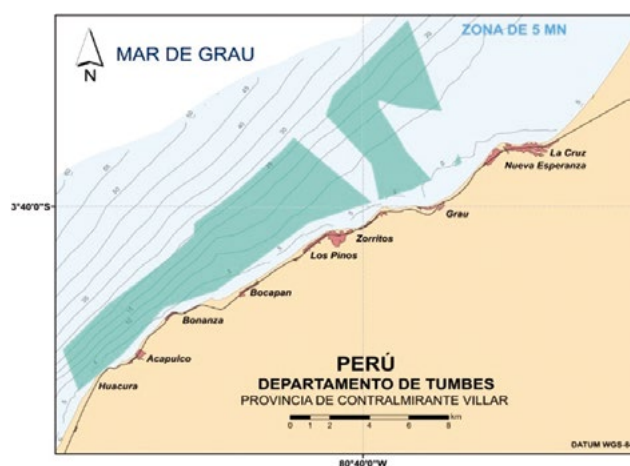


Figura 15.- Área disponible descartando las restricciones legales y sociales identificadas en el área de estudio

destacado por la FAO (AGUILAR-MANJARREZ *et al.*, 2017), e incorporado en modelos ecosistémicos aplicados a la acuicultura (SILVA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2011; RADIARTA *et al.*, 2008). Además, al incluir diferentes tipos de parámetros, genera una evaluación confiable e integral, características claves para la aceptación y apoyo de actividades de maricultura en una región emergente.

En el análisis de los parámetros correspondientes al factor de crecimiento y supervivencia (temperatura, salinidad, pH, OD, fosfatos, silicatos, nitritos, nitratos, SST, y Clo-a), a excepción de algunos valores de pH, todos los parámetros mostraron valores dentro de los rangos aceptables. Tomando en cuenta este factor, se determinó que en 73,7 km² (76,7%) del área de estudio podrían realizarse cultivos de moluscos bivalvos (Fig. 16).

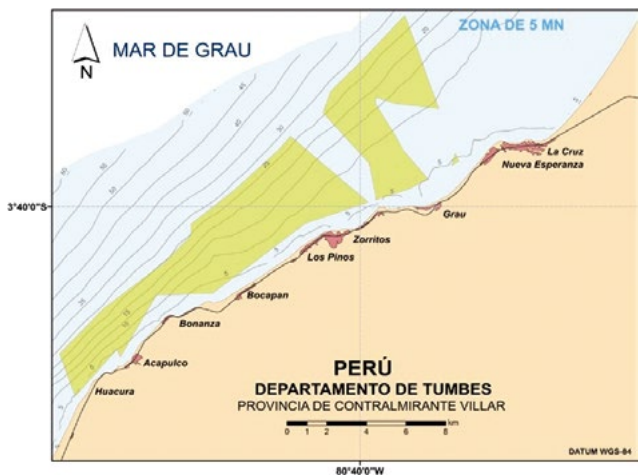


Figura 16.- Área disponible basada en los parámetros evaluados en el factor de crecimiento y supervivencia entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

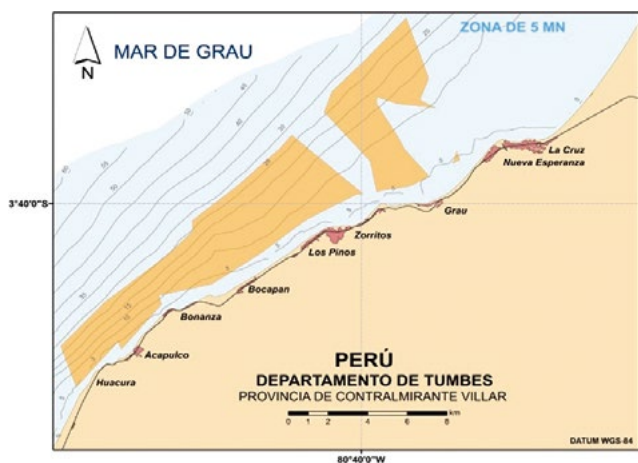


Figura 18.- Área disponible basada en los parámetros evaluados en el factor de calidad de producto entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

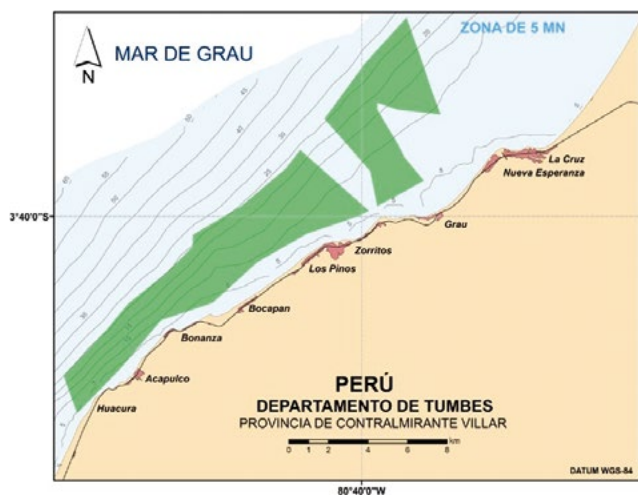


Figura 17.- Área disponible basada en los parámetros evaluados en el factor de aceptabilidad física entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

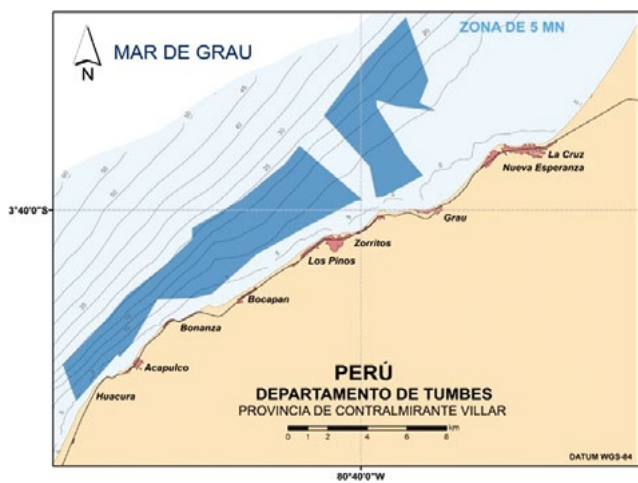


Figura 19.- Zonas aptas para desarrollar maricultura de moluscos bivalvos entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

Para el factor de aceptabilidad física, por el cual se evaluó batimetría, transparencia y textura del sedimento, se determinó que los dos primeros parámetros mostraron, en su mayoría, distribución dentro de los rangos aceptables, la textura del sedimento fue un parámetro que influyó en la disponibilidad de áreas adecuadas. El análisis mostró que, para este factor, en 73 km² (75,9%) del área de estudio podrían ejecutarse actividades de maricultura de moluscos bivalvos (Fig. 17).

Para el caso del factor de calidad de producto (coliformes totales y termotolerantes, aceites y grasas, y sulfuros en agua y sedimento marino) fueron los valores de CT y CF durante la época

de lluvias los que restringieron parte del área de estudio a zonas no adecuadas. Asimismo, el análisis de los sulfuros en sedimento marino, limitó algunos sectores del área en evaluación. Los otros parámetros evaluados se mantuvieron dentro de los rangos adecuados, por lo que 67,8 km² (70,5%) del área total fueron considerados como aptos para actividades de maricultura de moluscos bivalvos (Fig. 18).

Las áreas aptas del área total evaluada, determinadas a partir del análisis individual de cada factor (factor de crecimiento y supervivencia 73,7 km², factor de aceptabilidad física 73 km², factor de calidad de producto 67,8 km²) evidencian que una zona no puede ser

Tabla 6.- Coordenadas geográficas de polígono 1 propuesto como zona apta para la maricultura de moluscos bivalvos entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

POLÍGONO 1						
Punto	Latitud S			Longitud O		
1	03°	42'	29,643"	80°	45'	32,469"
2	03°	43'	42,857"	80°	46'	13,654"
3	03°	44'	07,799"	80°	46'	34,715"
4	03°	44'	01,693"	80°	46'	36,872"
5	03°	45'	20,644"	80°	47'	45,083"
6	03°	44'	19,628"	80°	48'	07,314"
7	03°	43'	04,894"	80°	46'	57,089"
8	03°	42'	22,548"	80°	46'	22,004"
9	03°	41'	38,266"	80°	45'	26,652"
10	03°	41'	19,813"	80°	45'	06,973"
11	03°	40'	48,720"	80°	44'	35,880"
12	03°	40'	29,703"	80°	44'	35,213"
13	03°	39'	43,626"	80°	43'	17,524"
14	03°	38'	42,156"	80°	42'	04,335"
15	03°	38'	11,624"	80°	41'	40,522"
16	03°	39'	42,749"	80°	39'	57,155"
17	03°	39'	44,760"	80°	40'	09,220"
18	03°	41'	14,084"	80°	42'	50,387"
19	03°	42'	20,488"	80°	44'	03,575"
20	03°	42'	27,793"	80°	44'	33,562"
21	03°	42'	29,643"	80°		32,469"

Tabla 7.- Coordenadas geográficas de polígono 2 propuesto como zona apta para la maricultura de moluscos bivalvos entre Nueva Esperanza y Huacura. Tumbes

POLÍGONO 2						
Punto	Latitud S			Longitud O		
1	03°	38'	45,960"	80°	39'	45,720"
2	03°	37'	20,409"	80°	41'	00,577"
3	03°	35'	49,685"	80°	39'	54,248"
4	03°	34'	35,469"	80°	38'	46,610"
5	03°	35'	37,967"	80°	38'	24,407"
6	03°	36'	21,457"	80°	38'	09,842"
7	03°	36'	58,815"	80°	38'	24,325"
8	03°	37'	12,516"	80°	37'	58,118"
9	03°	37'	05,520"	80°	39'	01,080"
10	03°	36'	54,360"	80°	39'	34,560"
11	03°	37'	05,520"	80°	39'	34,560"
12	03°	38'	01,320"	80°	39'	01,080"
13	03°	38'	23,640"	80°	38'	49,920"
14	03°	39'	01,266"	80°	38'	18,565"
15	03°	39'	37,102"	80°	39'	23,538"
16	03°	39'	39,016"	80°	39'	35,103"
17	03°	39'	39,017"	80°	39'	35,109"
18	03°	38'	45,960"	80°	39'	45,720"

asignada para efectos de maricultura basados en un solo criterio. Se sabe que hay parámetros que podrían ser catalogados como críticos en la desestimación de zonas para la maricultura (por ejemplo: sulfuros en sedimentos), y por ello, se requiere que las evaluaciones sean lugar-específico y que evalúen múltiples criterios en simultáneo.

De un total de 17 parámetros evaluados, en los que se consideraron tres restricciones legales y sociales (zonas de pesca, área de derecho acuícola, bancos naturales de recursos bentónicos comerciales), identificación de limitaciones (infraestructura y lugar de desembarque, infraestructura vial, turística y de procesos, huellas naturales) y aplicando el análisis de evaluación multi-criterio, se determinaron las zonas aptas para desarrollar actividades de maricultura de moluscos bivalvos entre Nueva Esperanza y Huacura (Fig. 19), proponiéndose un área de 64,74 km² (67,33%) conformado por un polígono de 41,70 km² (43,37%) y otro de 23,04 km² (23,96%). Las coordenadas geográficas de ambos polígonos se muestran en las Tablas 6 y 7.

4. CONCLUSIONES

La Evaluación multi-criterio aplicada en este estudio puede emplearse como una herramienta de evaluación/re-evaluación de zonas aptas/concesionadas para cultivos marinos.

Esta evaluación permitió determinar, bajo un enfoque ecosistémico, que el área marino-costera entre Nueva Esperanza y Huacura, Región Tumbes, hasta la isobata de 30 m, presenta un alto potencial para desarrollar actividades de maricultura de moluscos bivalvos, resultando apto 64,74 km² o 67,33% del área total de estudio.

Los resultados de este estudio muestran que, al menos en la zona evaluada, gran parte de las actividades económicas están localizadas en la costa, mientras que la mayor actividad económica en el mar está representada por la pesca artesanal, en su mayoría en zonas con profundidades mayores a 30 m.

Es importante caracterizar la batimetría, el sedimento marino y la fauna macro-zoobentónica cuando se evalúen zonas aptas para realizar maricultura, ya que su equilibrio químico-ecológico regula los efectos generados a partir de las actividades acuícolas.

Fue determinante georreferenciar con exactitud los bancos naturales de recursos comerciales y todas las limitaciones legales y sociales del área marina de interés para evitar el traslape espacial y evitar conflicto por usos.

REFERENCIAS

- AGUILAR-MANJARREZ J, SOTO D, BRUMMETT R. 2017. Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. A handbook. Report ACS18071. Rome, FAO, and World Bank Group, Washington, DC. 62 pp.
- ALEMÁN A, MONTERO P, VERA M, LUQUE C, ORDINOLA E. 2016. Bancos naturales de invertebrados bentónicos comerciales y zonas de pesca artesanal, Tumbes, Perú, otoño 2014. *Inf Inst Mar Perú*. 43(3): 275 - 297.
- BANTA G T, HOLMER M, JENSEN M H, KRISTENSEN E. 1999. Effects of two polychaete worms, *Nereis diversicolor* and *Arenicola marina*, on aerobic and anaerobic decomposition in a sandy marine sediment. *Aquatic Microbial Ecology*. 19: 189 - 204.
- BOESCH D F. 1972. Species diversity of marine macrobenthos in the Virginia area. *Chesapeake Science*. 13(3): 206 - 211. <https://doi.org/10.2307/1351065>
- CAMACHO-SANDOVAL J. 2008. Asociación entre variables cuantitativas: análisis de correlación. *Acta Médica Costarricense*, 50(2): 94 - 96. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022008000200005 Obtenido el 26/09/2017
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and Evaluation of the Winkler Method for determination Dissolved Oxygen in Seawater. *Journal of Marine Research*. 24: 286 - 318.
- ENFEN-COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO. 2017a. Comunicado Oficial ENFEN 09-2017. 5 pp. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/09-2017.pdf>. Obtenido el 14/01/2018
- ENFEN-COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO. 2017b. Comunicado Oficial ENFEN 12-2017. 6 pp. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/12-2017.pdf>. Obtenido el 14/01/2018
- ENFEN-COMITÉ MULTISECTORIAL ENCARGADO DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO. 2017c. Comunicado Oficial ENFEN 15-2017. 6 pp. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/oceanografia/enfen/comunicado-oficial/15-2017.pdf>. Obtenido el 14/01/2018
- DEAN W E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*. 44 (1): 242 - 248.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ V, LODOÑO MESA M H. 2015. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) como indicadores biológicos de contaminación marina: casos en Colombia. *Gestión y Ambiente*. 18(1): 189 - 204.
- FLORES G, CORDOVA J, LEDESMA J, ROBLES C. 1998. Características químicas y de clorofila "a" del mar peruano durante el otoño 1998. *Crucero BIC Humboldt 9803-05 de Tumbes a Tacna. Inf Inst Mar Perú*. 35: 67 - 78.
- HARGRAVE B T, HOLMER M, NEWCOMBE C P. 2008a. Towards a classification of organic enrichment in marine sediment based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin*. 56: 810 - 824. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.02.006
- HARGRAVE B T, DOUCETTE L I, CRANFORD P J, LAW B A, MILLIGAN T G. 2008b. Influence of mussel aquaculture on sediment organic enrichment in a nutrient-rich coastal embayment. *Marine Ecology Progress Series*. 365: 137 - 149. doi: 10.3354/meps07636
- HUAMANÍ ALFARO F, RUIZ RÍOS R I, VENTURA CHUQUIPUL E E, VERGARA MANRIQUE DE LARA C A, QUISPE QUISPE W, COLQUE GRANDA R A, BOCCHIO NIEVES B. 2016. Clasificación del cuerpo de agua marino-costero. Autoridad Nacional del Agua. <http://www.ana.gob.pe/publicaciones/clasificacion-del-cuerpo-de-agua-marino-costero>. Obtenido el 15/03/2018.
- JIAO H, PENG X, YOU Z, SHI H, LOU Z, LIU H. 2011. Species diversity of macrobenthos in the rocky intertidal zone of Yushan Island. *Biodiversity Science*. 19(5): 511 - 518.
- KEEN A M. 1971. Sea shells of tropical west America marine mollusks from Baja California to Peru. Segunda Edición. Stanford University. 1064 pp.
- LONGDILL P C, HEALY T R, BLACK K P, MEAD S T. 2007. Integrated sediment habitat mapping for aquaculture zoning. *Journal of Coastal Research, Special Issues*. 50: 173 - 179.
- LONGDILL P C, HEALY T R, BLACK K P. 2008. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean & Coastal Management*. 51: 612 - 624.
- LOOR A. 2012. Desarrollo de protocolos de manejo para la inducción al desove y larvicultura de la ostra nativa *Crassostrea iridescens* (Hanley, 1854). Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 115 pp.
- LOOR A, SONNENHOLZNER S. 2014. Reproductive cycle of the rocky oyster, *Striostrea prismatica* (Gray, 1825) from two locations on the southern coast of Ecuador. *Aquaculture Research*. 47(5): 1432 - 1442.
- MARTÍNEZ-GARCÍA E, SUNDSTEIN CARLSSON M, SÁNCHEZ-JEREZ P, SANCHEZ-LIZASO J L, SANZ-LAZARO C, HOLMER M. 2015. Effect of sediment grain size and bioturbation on decomposition of organic matter from aquaculture. *Biogeochemistry*. 125(1): 133 - 148. doi: 10.1007/s10533-015-0119-y
- MÉNDEZ M. 1981. Claves de identificación y distribución de los langostinos y camarones (Crustacea: Decapoda) de mar y ríos de la costa del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. (5): 170 pp.
- MINAM. 2017. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de Calidad Ambiental

- (ECA) para Aguas y establecen Disposiciones Complementarias. El Peruano. Lima, Perú, 7 de junio de 2017. <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>. Obtenido el 13/03/2018.
- MONTERO P. 2013. Calidad Ambiental de los Ecosistemas Acuáticos de la Región Tumbes, 2007. Inf Inst Mar Perú. 40 (3-4): 240 - 253.
- RADIARTA I N, SAITOH S, MIYAZONO A. 2008. GIS-based multicriteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture*. 284(1-4): 127 - 135. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.07.048
- RAZ-GUZMÁN A. 2000. Crustáceos y Poliquetos. En G. Dela Lanza-Espino, S. Hernández Pulido, J.L. Carbajal Pérez (Eds.), *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)* (pp. 265-308). D.F., México: Plaza y Valdez S.A.
- RIVAS K, LA BARBERA A, CARPIO M, VILLAROEL E, VASQUEZ E, GRAZIANI C. 2010. Caracterización de la calidad de agua en áreas potenciales para acuicultura en la Costa Sur del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Proceedings of the 62nd. Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, November 2-6, 2009. Cumana Venezuela: 481 - 485 pp.
- SILVA C, BARBIERI M A, YAÑEZ E, GUTIERREZ-ESTRADA J C, DELVALLS T A. 2012. Using indicators and models for an ecosystem approach to fisheries and aquaculture management: the anchovy fishery and Pacific oyster culture in Chile: case studies. *Latin American Journal of Aquaculture Research*. 40(4): 955 - 969. doi: 103856/vol40-issue4-fulltext-12
- SILVA C, FERREIRA J G, BRICKER S B, DELVALLS T A, MARTÍN-DÍAZ M L, YAÑEZ E. 2011. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*, 318(3-4): 444 - 457. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.033>
- STRICKLAND J, PARSONS T. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada. Second Edition. Ontario, Canada. 310: 63 - 80.