



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS

**ASPECTOS BIOECOLÓGICOS, AMBIENTALES Y
SOCIOECONÓMICOS DE LA ZONA MARINO-COSTERA DE
MECA-LOZAS, EN EL LITORAL DE TACNA, COMO
PROPUESTA TÉCNICA PARA EL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS ARRECIFALES**

PRESENTADO POR

BACHILLER RUSLAN ALFREDO PASTOR CUBA

ASESOR

MSc. FREDY LUCIANO CARDENAS RAMOS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

MOQUEGUA – PERÚ

2024



Universidad José Carlos Mariátegui

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la **Escuela de Posgrado**, certifica que el trabajo de investigación () / Tesis (X) / Trabajo de suficiencia profesional () / Trabajo académico (), titulado “**ASPECTOS BIOECOLÓGICOS, AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS DE LA ZONA MARINO - COSTERA DE MECA-LOZAS, EN EL LITORAL DE TACNA, COMO PROPUESTA TÉCNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS ARRECIFALES**” presentado por el(la) aspirante **PASTOR CUBA RUSLAN ALFREDO**, para obtener el grado académico (X) o Título profesional () o Título de segunda especialidad () de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**, y asesorado por el(la) **Mgr. FREDY LUCIANO CARDENAS RAMOS**, designado como asesor con Resolución Directoral N°0016-2019-DEPG-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN, conforme a lo dispuesto en la normativa interna aplicable en la UJCM.

En tal sentido, se emite el presente certificado de originalidad, de acuerdo al siguiente detalle:

Programa académico	Aspirante(s)	Trabajo de investigación	Porcentaje de similitud
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL	PASTOR CUBA RUSLAN ALFREDO	ASPECTOS BIOECOLÓGICOS, AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS DE LA ZONA MARINO - COSTERA DE MECA-LOZAS, EN EL LITORAL DE TACNA, COMO PROPUESTA TÉCNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS ARRECIFALES	25%

El porcentaje de similitud del Trabajo de investigación es del **25%**, que está por debajo del límite **PERMITIDO** por la UJCM, por lo que se considera apto para su publicación en el Repositorio Institucional de la UJCM.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención de grado académico o título profesional o título de segunda especialidad.

Moquegua, 20 de setiembre de 2024

UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI

Dr. JAVIER PEDRO FLORES AROCUTIPA

JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO UJCM- SEDE MOQUEGUA

ÍNDICE DEL CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DEL CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Definición del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Justificación y limitaciones de la investigación.....	5
1.5. Variables	7
1.6. Hipótesis de investigación	8
1.6.1. Hipótesis general	8
1.6.2. Hipótesis específicas.....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11

2.1.1.	Antecedentes internacionales	11
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	13
2.2.	Bases teóricas.....	15
2.2.1.	Estudios de línea base ambiental.....	15
2.2.2.	Ingresos económicos en la pesquería	16
2.2.3.	Criterios técnicos para arrecifes artificiales.....	17
2.2.4.	Tipología de los arrecifes artificiales.....	18
2.2.5.	Beneficios del diseño y construcción de arrecifes artificiales.....	19
2.2.6.	Valoración económica de los arrecifes artificiales	21
2.2.7.	Estudios previos en torno a la propuesta técnica de arrecifes artificiales	22
2.2.8.	Estudios específicos para el diseño de arrecifes artificiales	22
2.2.9.	Efectos en la recuperación y la conservación de los ecosistemas	25
2.2.10.	Efectos en el reclutamiento y el asentamiento de recursos	26
2.2.11.	Diseño, estructura y materiales para la construcción de los arrecifes artificiales.....	27
2.3.	Marco conceptual.....	31
2.3.1.	Banco natural.....	31
2.3.2.	Batimetría	31
2.3.3.	Batilitología	31
2.3.4.	Biodiversidad.....	32
2.3.5.	Corrientes marinas	32
2.3.6.	Ciclo de nutrientes en el mar	33
2.3.7.	Ecosistemas marinos	33
2.3.8.	Esfuerzo pesquero.....	33

2.3.9.	Estándar de calidad ambiental	34
2.3.10.	Indicador ambiental	34
2.3.11.	Oxígeno disuelto.....	35
2.3.12.	Población de recursos marinos	35
2.3.13.	Salinidad del mar	36
2.3.14.	Talla mínima de captura	36
2.3.15.	Temperatura del mar.....	36
CAPÍTULO III MÉTODO.....		38
3.1.	Tipo de investigación.....	38
3.2.	Diseño de investigación	38
3.3.	Población y muestra.....	39
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	39
3.4.1.	Aspectos bioecológicos (biodiversidad).....	40
3.4.2.	Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial).....	41
3.5.2.	Aspectos ambientales (calidad ambiental)	42
3.5.3.	Aspectos ambientales (oceanografía física)	42
3.5.4.	Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)	43
3.5.5.	Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats	44
3.5.6.	Propuesta de diseño y construcción de arrecifes artificiales	46
3.6.	Método para el procesamiento y análisis de información.....	46
3.6.1.	Aspectos bioecológicos (biodiversidad).....	47
3.6.2.	Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial).....	48
3.6.3.	Aspectos ambientales (calidad ambiental)	49
3.6.4.	Aspectos ambientales (oceanografía física)	52

3.6.5.	Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)	53
3.6.6.	Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats	53
3.6.7.	Propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales	54
CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		55
4.1.	Presentación de resultados por variables	55
4.1.1.	Aspectos bioecológicos (biodiversidad).....	55
4.1.2.	Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial).....	68
4.1.3.	Aspectos ambientales (calidad ambiental)	77
4.1.4.	Aspectos ambientales (oceanografía física)	99
4.1.5.	Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)	106
4.1.6.	Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats	110
4.1.7.	Propuesta de diseño y construcción de arrecifes artificiales	121
4.2.	Contrastación de hipótesis	131
4.2.1.	Variables independientes	131
4.2.2.	Variables dependientes	132
4.3.	Discusión de resultados	133
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		141
5.1.	Conclusiones	141
5.2.	Recomendaciones	143
BIBLIOGRAFÍA.....		144
ANEXOS.....		153
Anexo 1.....		154
Anexo 2.....		155
Anexo 3.....		156

Anexo 4.....	161
--------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Operacionalización de variables en la zona marino-costera del área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	8
TABLA 2. Descripción de los diez transectos muestreados en los tres sectores, con información de profundidad (A: >10 m, B: <10 m), composición y tipo de suelo en porcentaje (%), en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	56
TABLA 3. Número de individuos y especies observadas y estimadas por sectores (S1, S2 y S3) en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	58
TABLA 4. Información de las comunidades en los diez transectos estudiados y distribuidos en los tres sectores del área de estudio, Meca-Lozas, en Tacna, 2017	60
TABLA 5. PERMANOVA en base a las disimilitudes de Bray-Curtis de los datos univariados y multivariados sobre la matriz de abundancia y biomasa. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	63
TABLA 6. Trazas de metales en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	82
TABLA 7. Parámetros químicos en columna superficial de agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	98
TABLA 8. Parámetros químicos en agua de mar por orilla. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	98
TABLA 9. Matriz genérica de identificación y definición de los principales criterios de selección de áreas prioritarias para la implementación de arrecifes artificiales, 2017	119

TABLA 10. Matriz de valoración de criterios en las áreas priorizadas para la implementación de arrecifes artificiales, 2017	120
TABLA 11. Principales criterios, métodos de investigación para la ubicación e identificación, y principales requisitos de selección en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	122
TABLA 12. Resumen del tipo de arrecife según la finalidad y los efectos directos, indirectos y posibles efectos que se presenten en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Tipología de la estructura de arrecifes artificiales	19
FIGURA 2. Mapa de distribución: (a) tipo de sustrato y (b) configuración del fondo en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	57
FIGURA 3. <i>Semimytilus algosus</i> (a) y <i>Austromegabalanus</i> sp. (b), principales estructuradores encontrados en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	59
FIGURA 4. Mapa de distribución: (a) Riqueza de la megafauna y (b) Riqueza de la macrofauna en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	61
FIGURA 5. Mapa de distribución de los principales estructuradores (comedura) de organismos bentónicos en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	62
FIGURA 6. Ordenaciones multivariadas (nMDS) de las estaciones por sectores en el área de estudio, usando (a) la matriz de datos de abundancia de la comunidad total y (b) la matriz de datos de abundancia de poliquetos. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	64
FIGURA 7. Ordenaciones multivariadas (nMDS) de las muestras por profundidad (círculos negros: >10 m, círculos blancos: <10 m) y por sector (S1, S2 y S3) en el área de estudio, usando (a) la matriz de datos de abundancia de la comunidad total y (b) la matriz de datos de abundancia de poliquetos. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	65
FIGURA 8. Diagrama de ordenación del análisis de redundancia (RDA) entre las abundancias de la comunidad bentónica de los sectores S1, S2 y S3 con los parámetros abióticos (T°: temperatura, O: oxígeno, pH: concentración de hidrógeno, Hg: mercurio, As: arsénico, Pb: plomo, Cu: cobre, CD: cadmio) y los parámetros bióticos (Ab: abundancia total, Bm: biomasa total y organismos	

representativos como <i>Semimytilus algosus</i> , <i>Syllis gracilis</i> , <i>Nephtys impressa</i> , <i>Goniada</i> sp., <i>Verruca laevigata</i> , <i>Ampelisca</i> sp., Paguroidea). Área de Meca- Lozas, en Tacna, 2017	67
FIGURA 9. Diagrama de ordenación del análisis de redundancia (RDA) entre las abundancias de la comunidad bentónica de los sectores S1, S2 y S3 con los parámetros abióticos (T°: temperatura, O: oxígeno, pH: concentración de hidrógeno, nitratos, nitritos, silicatos y fosfatos) y los parámetros bióticos (Ab: abundancia total, Bm: biomasa total y organismos representativos como <i>Semimytilus algosus</i> , <i>Syllis gracilis</i> , <i>Nephtys impressa</i> , <i>Goniada</i> sp., <i>Verruca laevigata</i> , <i>Ampelisca</i> sp., Paguroidea). Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017..	68
FIGURA 10. Principales especies registradas en el estudio de línea base ambiental en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	69
FIGURA 11. Distribución y abundancia relativa (ind./m ²) de (a) <i>Concholepas concholepas</i> o “chanque” y (b) <i>Thaisella chocolata</i> o “caracol”. Área de Meca- Lozas, en Tacna, 2017	70
FIGURA 12. Distribución y abundancia relativa (ind./m ²) de (a) <i>Fissurella</i> spp. O “lapas” y (b) <i>Aulacomya atra</i> o “choro”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2021.....	71
FIGURA 13. Distribución y abundancia relativa (ind./m ²) de (a) <i>Tetrapygus niger</i> o “erizo negro”, (b) <i>Stichaster striatus</i> o “estrella de mar” y (c) <i>Heliaster helianthus</i> o “sol de mar”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	72
FIGURA 14. Estructura de tallas de <i>Concholepas concholepas</i> o “chanque”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	73
FIGURA 15. Estructura de tallas de <i>Thaisella chocolata</i> o “caracol”. Área de Meca- Lozas, en Tacna, 2017	74

FIGURA 16. Longitud promedio de (a) <i>Concholepas concholepas</i> y (b) <i>Thaisella chocolata</i> . Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	75
FIGURA 17. Estructura de tallas de <i>Aulacomya atra</i> o “choro”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	76
FIGURA 18. Madurez gonadal del recurso <i>Concholepas concholepas</i> o “chanque” y <i>Thaisella chocolata</i> o “caracol”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2021	77
FIGURA 19. Concentración de (a) sólidos suspendidos totales en agua superficial y (b) sólidos suspendidos totales en agua de fondo. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	78
FIGURA 20. Concentración de aceites y grasas en agua superficial de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	79
FIGURA 21. Concentración de (a) hidrocarburos aromáticos totales en agua superficial de mar y (b) hidrocarburos aromáticos totales en sedimento. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	80
FIGURA 22. Distribución de la concentración de (a) mercurio en agua de mar y (b) mercurio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	84
FIGURA 23. Distribución de la concentración de (a) plomo en agua de mar y (b) plomo en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	85
FIGURA 24. Distribución de la concentración de (a) cadmio en agua de mar y (b) cadmio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	86
FIGURA 25. Distribución de la concentración de arsénico en agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	87
FIGURA 26. Distribución de la concentración de (a) cobre en agua de mar y (b) cobre en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	88

FIGURA 27. Distribución de la concentración de hierro en agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	89
FIGURA 28. Distribución de la concentración de (a) níquel en agua de mar y (b) níquel en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	90
FIGURA 29. Distribución de la concentración de (a) cinc en agua de mar y (b) cinc en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	91
FIGURA 30. Distribución de la concentración de (a) selenio en agua de mar y (b) selenio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	93
FIGURA 31. Distribución de la concentración de (a) antimonio en agua de mar y (b) antimonio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	94
FIGURA 32. Distribución de (a) nitratos (μM) y (b) de nitritos (μM) en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	96
FIGURA 33. Distribución de (a) fosfatos (μM) y (b) silicatos (μM) en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	97
FIGURA 34. Distribución de los valores de (a) temperatura superficial del mar y (b) temperatura en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	99
FIGURA 35. Distribución de los valores de (a) salinidad superficial del mar y (b) salinidad en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017.....	100
FIGURA 36. Distribución de los valores de (a) densidad superficial del mar y (b) densidad en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	101
FIGURA 37. Distribución de (a) corriente de superficie y (b) corriente de fondo. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	102
FIGURA 38. Series temporales de (a) temperatura, (b) salinidad, (c) velocidad de las corrientes, (d) componente este-oeste y (e) componente norte-sur. Datos	

obtenidos con el correntómetro RCM9 instalado en un punto fijo durante el periodo de estudio. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	103
FIGURA 39. Distribución vertical: (a) temperatura, (b) salinidad, (c) densidad, (d) componente “u”, (e) componente “v” y (f) velocidad de corrientes. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	105
FIGURA 40. Dirección e intensidad de los vientos (m/s). Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	106
FIGURA 41. Flujograma para la implementación de arrecifes artificiales en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	126
FIGURA 42. Estructura de atracción y reproducción de peces en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	127
FIGURA 43. Estructuras de atracción y asentamiento de recursos hidrobiológicos marinos: (a) protección y asentamiento de invertebrados marinos, y (b) atracción de peces e invertebrados marinos, en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	128
FIGURA 44. Distribución de las estructuras de atracción y asentamiento de recursos hidrobiológicos marinos: (a) conglomerado para atracción y reproducción de peces, y (b) disperso para atracción de peces e invertebrados marinos, en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	129
FIGURA 45. Propuesta de escenario de arrecifes artificiales mixtos para la recuperación de recursos hidrobiológicos marinos en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017	130

RESUMEN

En la zona sur del Perú, específicamente en Meca-Lozas en Tacna, se realizan actividades humanas que buscan usar y aprovechar sus bienes y servicios. Sin embargo, la sobrepesca, la pesquería no amigable y la contaminación han incrementado y afectado el normal funcionamiento de los ecosistemas. La presente investigación tuvo como objetivo establecer una propuesta técnica de recuperación, basada en el diseño y la construcción de estructuras arrecifales. La metodología aplicada corresponde a un estudio descriptivo y observacional con un diseño no experimental transversal. Los muestreos se realizaron en 2017, estableciendo de tres a seis réplicas por estación, con un esfuerzo total de 186 cuadrantes-réplicas distribuidas en dos niveles de profundidad (A: <15 m y B: >15 m) y delimitadas en tres zonas (1: norte, 2: centro y 3: sur), mediante los cuales se describieron los aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos. Los resultados permitieron concluir que la información obtenida del estudio de línea base ambiental puede contribuir con la elaboración de una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales. Esto se debe a la caracterización del tipo de sustrato, la biodiversidad, la profundidad, la presencia de contaminantes y a la distribución y concentración de recursos de importancia comercial. Además, una vez concluido el análisis, para el área de Meca-Lozas, se propusieron tres grupos de estructuras arrecifales conformadas en estructuras conglomeradas para la atracción y reproducción de peces, estructuras dispersas y mixtas para la atracción de invertebrados y estructuras conglomeradas para la protección y asentamiento de invertebrados marinos.

Palabras clave: arrecifes, asentamiento, estructuradores, reproducción, calidad ambiental

ABSTRACT

In the southern zone of Peru, specifically in Meca-Lozas in Tacna, human activities are carried out in order to use and take advantage of its goods and services. However, overfishing, unfriendly fishing and pollution have increased and affected the normal functioning of ecosystems. The objective of this research was to establish a technical proposal for recovery, based on the design and construction of reef structures. The methodology applied corresponds to a descriptive and observational study with a non-experimental cross-sectional design. The samplings were conducted in 2017, establishing three to six replicates per station, with a total effort of 186 quadrat-replicates distributed in two depth levels (A: <15 m and B: >15 m) and delimited in three zones (1: north, 2: center and 3: south), through which bioecological, environmental and socioeconomic aspects were described. The results led to the conclusion that the information obtained from the environmental baseline study can contribute to the development of a technical proposal for the design and construction of artificial reefs. This is due to the characterization of the type of substrate, biodiversity, depth, presence of contaminants and the distribution and concentration of commercially important resources. In addition, once the analysis was completed, for the Meca-Lozas area, three groups of reef structures were proposed: conglomerate structures for fish attraction and reproduction, dispersed and mixed structures for invertebrate attraction, and conglomerate structures for protection and settlement of marine invertebrates.

Key words: reefs, settlement, structurators, reproduction, environmental quality

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos se caracterizan por su gran diversidad biológica y su alta productividad, conformada por estructuras de organismos que, en algunos casos, son económicamente relevantes como fuente de recursos alimenticios. Asimismo, tienen también gran valor cultural y belleza natural, de modo que pueden generar ingresos económicos significativos en el rubro del turismo (Tunnell, Chávez y Withers, 2010).

Durante las últimas décadas, la acción humana ha generado graves alteraciones en los ecosistemas marinos, muchas de las cuales no han podido ser recuperadas. Las principales causas que ponen en riesgo estos ecosistemas son las actividades tradicionales como la pesca, la acuicultura, la explotación de hidrocarburos, el turismo y las actividades industriales y domésticas, que influyen en el proceso de deterioro del hábitat marino. Asimismo, provocan la pérdida de la diversidad biológica y, como consecuencia, la disminución de su productividad (Pérez, 2001).

El crecimiento poblacional urbano impone externalidades negativas por el uso de los bienes y servicios del ecosistema marino, afectando directa o indirectamente a los recursos hidrobiológicos (como la reducción de la biomasa) e incrementando los costos de la actividad extractiva, lo que a su vez implica un aumento del precio para los usuarios finales. La ciencia y la tecnología de la restauración de ecosistemas pueden usarse específicamente para mejorar las funciones o valores de los ecosistemas. Ello incluye métodos, materiales y

equipamientos que pueden utilizarse para ayudar a conservar hábitats, proteger especies, mejorar la diversidad biológica o restaurar paisajes (Ramos, 2002).

Por esa razón, la presente investigación surge de la necesidad de proponer nuevas alternativas o medidas de recuperación de los ecosistemas marinos, en especial de aquellos situados en los bordes costeros. En estas zonas, las actividades antrópicas vienen afectando continuamente su normal funcionamiento.

Entre las medidas propuestas se encuentran las estructuras arrecifales o arrecifes artificiales (AA), herramientas de ordenación y protección ecológica (Pickering, Withmarsh y Jensen, 1999). En efecto, uno de los rasgos importantes de los AA es la protección y/o restauración de los hábitats marinos. Por ello, Bohnsack y Sutherland (1985) consideran que los AA tienen un gran potencial para mejorar estos espacios.

Los AA se construyen para crear nuevos hábitats y pueden definirse de diversas maneras. Sin embargo, estos corresponden a zonas marinas acondicionadas (Daza, Vela y García, 2008), donde se instala un conjunto de estructuras de diferentes formas, tamaños y diseños, cuya disposición en el ambiente dependerá del objetivo del proyecto. Asimismo, un AA se puede construir e instalar para cumplir diferentes funciones, desde la conservación de un ecosistema a través de la protección, recuperación e incremento de su productividad, hasta la generación de nuevas oportunidades o actividades socioeconómicas para la comunidad (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2010).

No obstante, es fundamental conocer las características del ambiente para establecer el diseño más apropiado, así como los elementos necesarios para su construcción. Un buen diseño de los elementos debe facilitar con rapidez el establecimiento de la vida animal en su superficie y en su entorno. De este modo, los elementos recién colocados deben integrarse al medio al cabo de un tiempo, mimetizándose al cubrirse con algas y corales, y al rodearse de peces y vida marina en general (Marenter, 2014).

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, el mar peruano es reconocido como una de las zonas más productivas. Además, debido a su ubicación estratégica en el Pacífico sur, es considerado como fuente primaria para las actividades de pesca y extracción de recursos hidrobiológicos.

En la zona sur del Perú, las actividades pesqueras en la zona marino-costera están representadas por la pesca industrial y la artesanal. Esta última desempeña un papel importante no solo por ser una fuente de empleo que contribuye a contrarrestar la pobreza, sino también por ofrecer una valiosa oferta alimentaria de calidad proteica a los sectores donde los recursos económicos son limitados (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2010).

Entre las provincias de Ite y Sama, se halla uno de los principales bancos naturales (BN) del sur del Perú, sustentado sobre todo por la extracción de caracoles (*Thaisella chocolata*), erizos verdes (*Loxechinus albus*) y chanques (*Concholepas concholepas*). En esta área, que es además un destacado atractivo turístico, la pesca artesanal se configura como la principal fuente de ingresos económicos.

En las últimas décadas, se ha observado una sobreexplotación de estos recursos, lo que ha generado una disminución en su disponibilidad. Esta situación se agrava con las actividades antrópicas que deterioran los hábitats marinos y con el establecimiento de normativas que exigen mantener condiciones de trazabilidad, las cuales producen un incremento en los gastos operativos del sector pesquero.

Por tanto, esta zona evidencia un claro proceso de deterioro, producto de diversos factores como la depredación de especies, el incumplimiento de la normativa, las actividades antrópicas que generan contaminación y eventos naturales como El Niño. Estas condiciones afectan no solo al ambiente marino a través de la erosión del fondo y borde costero, sino también a las actividades socioeconómicas como la pesca (por la menor disponibilidad de recursos marinos) y el turismo (por la ausencia o reducción del ecoturismo). Todo ello conlleva a la disminución de los ingresos económicos para las comunidades de pescadores y la reducción del consumo de especies marinas.

Este escenario ha propiciado una disminución constante en la disponibilidad de los bienes y servicios ecosistémicos. Por tanto, es imperativo abordar esta problemática desde el enfoque de sostenibilidad de la biodiversidad, promoviendo la recuperación y conservación de los hábitats de los ecosistemas marinos mediante propuestas técnicas eficientes. En este contexto, se plantea evaluar la información bioecológica, ambiental y socioeconómica para elaborar una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras tecnológicas de arrecifes artificiales.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general

- ¿La zona marino-costera de Meca-Lozas en el litoral de Tacna enfrenta desafíos significativos relacionados con la pérdida de biodiversidad e impactos antrópicos, por lo que analizar de manera integral los aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos podría permitir desarrollar una propuesta técnica efectiva que contribuya en la implementación de estructuras arrecifales?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿La falta de información detallada y actualizada sobre los aspectos bioecológicos, ambientales y las interacciones socioeconómicas en la zona de Meca-Lozas en el litoral de Tacna, podría dificultar el establecimiento de la situación actual de sus hábitats, para implementar medidas efectivas de conservación y gestión sostenible de estos ecosistemas marinos?
- ¿La falta de criterios técnicos estandarizados para la identificación y delimitación de hábitats relevantes en la zona marino-costera de Meca-Lozas podría dificultar la implementación de una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales?
- ¿La falta de conocimientos y técnicas adecuadas para la implementación de estructuras arrecifales efectivas, podría dificultar la creación de refugios y estructuras de adhesión esenciales para la

captación de semillas y retención de juveniles de peces e invertebrados en la zona marino-costera de Meca-Lozas?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar los aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos de la zona marino-costera de Meca-Lozas en el litoral de Tacna, para elaborar una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales, que permita la recuperación y conservación de sus hábitats.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos, y valorar objetivamente la situación actual de los hábitats marino-costeros del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.
- Proponer criterios técnicos que contribuyan en la identificación y delimitación de hábitats relevantes para la propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.
- Implementar, a nivel de perfil, la propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales que permitan crear refugios y estructuras de adhesión esenciales para la captación de semillas y retención de juveniles de peces e invertebrados del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.

1.4. Justificación y limitaciones de la investigación

La constante disminución en la captura de recursos hidrobiológicos, así como el deterioro de los ecosistemas marinos asociados a los BN en la zona sur del Perú, ha suscitado un marcado interés por su recuperación y conservación. Este énfasis apunta, asimismo, a un aprovechamiento sostenible y sustentable por parte de todos los usuarios y, por tanto, es de gran relevancia para los órganos de gestión regional. El levantamiento de información biológica, ecológica, oceanográfica, ambiental y socioeconómica resultará esencial para estar en sintonía con los avances tecnológicos que, de alguna manera, buscan minimizar la alteración y la reducción de la productividad en estos ambientes.

Para ello, es indispensable desarrollar nuevas alternativas o herramientas que contribuyan a mantener la producción de manera sostenible, minimizando los impactos generados por el cambio climático, la sobrepesca y la contaminación marina. En efecto, estos factores alteran, directa o indirectamente, las poblaciones de especies hidrobiológicas, disminuyendo su disponibilidad y, por ende, sus capturas. Una de estas estrategias, que fomenta la recuperación y conservación de los ecosistemas marinos, se relaciona con el diseño y construcción de estructuras arrecifales. Sin embargo, para que estas estructuras sean efectivas, es fundamental disponer de información, criterios y aspectos técnico-científicos que describan las condiciones naturales propias del área de investigación, a fin de establecer un diseño técnico adecuado.

De esta manera, las actividades de esta investigación contribuirán a cumplir con la meta 1 (“Incorporar los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente”) y

2 (“Haber reducido y haber ralentizado considerablemente la pérdida de diversidad biológica en 2010”) del Objetivo de Desarrollo del Milenio Número 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s. f.).

En el caso específico de las comunidades pesqueras ubicadas en las proximidades del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna, el presente estudio permitirá describir preliminarmente las características de sus hábitats. En esa línea, este trabajo busca desarrollar una propuesta técnica, a nivel de perfil, para el diseño y construcción de arrecifes artificiales como una herramienta útil para su recuperación.

Desde una perspectiva ambiental, socioeconómica y científica, estos estudios permitirán contribuir en los procesos de recuperación, conservación y aprovechamiento de los ecosistemas marinos. Esto se materializará mediante un documento técnico de diseño y construcción de arrecifes artificiales que plasmará aspectos concernientes a la ejecución de proyectos para una posterior construcción e instalación, basados en un diseño apropiado. De esta manera, se generarán nuevos espacios de colonización, aumento de biodiversidad, refugio de especies juveniles, desarrollo de actividades socioeconómicas amigables con el ecosistema y ampliación del conocimiento referente a las fortalezas de estas estructuras. El documento también dará a conocer el marco regulatorio nacional e internacional, la problemática ambiental y los beneficios con enfoque holístico.

Con la identificación y caracterización de las variables biológicas, ecológicas, oceanográficas, ambientales y socioeconómicas, se podrá describir y valorar objetivamente los hábitats de Meca-Lozas. Esto contribuirá en la

recuperación y la conservación mediante una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales. Además, esta propuesta será una nueva alternativa socioeconómica para la promoción del ecoturismo, la educación ambiental comunitaria y usos recreativos como la pesca y el buceo.

En el desarrollo de esta investigación también existieron algunas limitaciones, como las siguientes:

- La presencia de áreas cercanas al campo de estudio, con tipología de sustrato rocoso, que muestran evidentes focos de contaminación por el vertimiento de residuos orgánicos, metales pesados e hidrocarburos, y la descarga de ríos.
- Los ambientes con características de sustrato arenoso, cuya pendiente de inclinación es muy pronunciada y donde la velocidad de corrientes supera los tres nudos.
- El tiempo de muestreo, colecta y análisis de la información, que abarcará un año de duración a partir del inicio de investigación, teniendo en cuenta las estaciones de primavera y verano.

1.5. Variables

- Variable independiente: estudios de línea base ambiental (aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos) para la caracterización de los hábitats marino-costeros en el área Meca-Lozas, de Tacna (ver Tabla 1).
- Variable dependiente: propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales (ver Tabla 1).

TABLA 1

Operacionalización de variables en la zona marino-costera del área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable 1: Estudio de línea base ambiental (aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos).	Informe descriptivo de hábitats y efectos sinérgicos acumulativos con las estructuras, que contribuyan y concorde con la disposición y número de elementos arrecifales propuestos en el área de estudio Meca-Lozas.	Operacionalmente la variable estudio de línea base ambiental fue evaluada mediante la metodología ELBA propuesta por IMARPE (Gonzales <i>et al.</i> 2017).	Componente Biológico Componente Ecológico Componente Calidad Ambiental Componente Oceanográfico Componente Socioeconómico	Se conoce y caracterizan los aspectos biológicos en el área y zonas próximas. Se protege el hábitat contra actividades antrópicas en el área y/o zonas próximas. Se describen las características ambientales y oceanográficas del área y/o zonas próximas. Se contribuye con la promoción de la seguridad alimentaria mediante una propuesta técnica en función de las necesidades y requerimientos sociales.
Variable 2: Diseño y construcción de estructuras tecnológicas de arrecifes artificiales.	Informe técnico de diseño y construcción, basado en el análisis de la información del estudio de línea base ambiental.	Operacionalmente la variable diseño y construcción de estructuras tecnológicas de arrecifes artificiales fue evaluada mediante la metodología propuesta por (IMARPE 2019).	Desarrollo de estructuras arrecifales: - Dimensión-configuración de las estructuras arrecifales - Número-disposición de los elementos estructurales arrecifales	Se establecen criterios para el diseño y construcción de estructuras arrecifales de conservación marina. Se cuentan con una propuesta técnica que permite diseñar el tamaño, forma, cantidad y distribución en el medio acuático.

1.6. Hipótesis de investigación

1.6.1. Hipótesis general

(Ho) El área Meca-Lozas presenta las características bioecológicas, ambientales y socioeconómicas acorde con los criterios técnicos, que permitirán la elaboración de

una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales que contribuye con la recuperación y conservación de sus hábitats.

(Ha) El área Meca-Lozas no presenta las características bioecológicas, ambientales y socioeconómicas que permitan la elaboración de una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales que contribuya con la recuperación y conservación de sus hábitats.

1.6.2. Hipótesis específicas

(Ho) Los estudios bioecológicos, ambientales y socioeconómicos permitirán la descripción y valoración objetiva de los hábitats marino costeros del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.

(Ha) Los estudios bioecológicos, ambientales y socioeconómicos no permitirán la descripción y valoración objetiva de los hábitats marino costeros del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.

(Ho) La propuesta de criterios técnicos, acorde con la normativa vigente, permitirá identificar y delimitar los hábitats relevantes para la formulación de una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.

(Ha) La propuesta de criterios técnicos, acorde con la normativa vigente, no permitirá identificar y delimitar los hábitats relevantes para la formulación de una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales del área Meca-Lozas en el litoral de Tacna.

(Ho) La implementación de una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales, permitirá crear refugios y estructuras de adhesión para la captación de semillas y retención de juveniles de peces e invertebrados del área Meca-Lozas en el Litoral de Tacna.

(Ha) La implementación de una propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales, no permitirá crear refugios y estructuras de adhesión para la captación de semillas y retención de juveniles de peces e invertebrados del área Meca-Lozas en el Litoral de Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bergasa *et al.* (2004) manifiestan que los constantes procesos de deterioro ambiental, atribuidos a diferentes actividades antrópicas, deberían conllevar acciones concretas para minimizar los efectos negativos. Por lo tanto, consideran que los océanos y sus ecosistemas, que no están exentos de problemas como la sobreexplotación, la creación de estructuras costeras y la contaminación, requieren la intervención coordinada de actores científicos, administrativos y de gestión para revertir estos procesos. Asimismo, indican que, en Europa específicamente en las islas Canarias, se desarrolló un proyecto de sensibilización, investigación y educación relacionado al ambiente marino. Este proyecto asumió compromisos y generó herramientas básicas para la conservación de los ambientes marinos de cara a las futuras generaciones.

Por su parte, Riggio, Badalamenti y D'Anna (2000) realizaron una recopilación y análisis de proyectos y estudios en el mar Mediterráneo vinculados al desecho de rocas empleadas en jaulas de la pesca de atún, las cuales eran posteriormente vertidas al mar, provocando cambios significativos en los ecosistemas marinos. A pesar de que la acumulación de estas estructuras influyó en la atracción y concentración de peces, no necesariamente contribuyó en la recuperación de estos ecosistemas.

Jensen, Collins y Lockwood (2000) destacan que múltiples programas de restauración apelan a los arrecifes artificiales como fuentes de protección de la biodiversidad frente a las actividades antrópicas, como la pesca ilegal. Sin embargo, y considerando que los programas de recuperación del medio marino podrían ser utilizados como pretexto para el desecho de materiales o estructuras en desuso que pudieran ser altamente contaminantes, estos se encuentran actualmente prohibidos por el Convenio de Londres de 1972. De ahí que el empleo de estas estructuras en desuso ha sido y sigue siendo motivo de preocupación para los Estados participantes en el mencionado convenio y en el Protocolo de Londres de 1996.

De otro lado, Gayo (1998) señala que, en Japón y Estados Unidos, se llevaron a cabo las primeras indagaciones relacionadas con la conservación de los ecosistemas marinos mediante la aplicación de arrecifes artificiales. Por ello, en la actualidad, dichos países son los que tienen mayores avances en el diseño de estas estructuras.

Por último, Marenger (2014) describe, para el Caribe mexicano, la implementación de arrecifes artificiales bajo el diseño *reef balls*, que han contribuido de manera exitosa en la recuperación de sus ecosistemas. No obstante,

en México, la recuperación de hábitats alterados por actividades pesqueras ha incluido diversas técnicas de creación de arrecifes artificiales. Estas han permitido recuperar las zonas más afectadas por estas actividades o, en su defecto, han logrado minimizar los impactos causados en los hábitats naturales por otras actividades como el turismo, la pesca y los servicios deportivos náuticos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El Ministerio de Ambiente (2016), a través de la Comisión Multisectorial de Gestión Ambiental del Medio Marino-Costero (COMUMA) —creado por Decreto Supremo n.º 096-2013-PCM, cuyo reglamento fue aprobado por Resolución Ministerial n.º 005-2014-MINAM—, conformó el Grupo Técnico de Trabajo Especializado-Arrecifes Artificiales (GTTE-AA). Entre los años 2014 y 2015, este grupo elaboró la *Propuesta de directrices para la construcción, instalación, implementación, gestión y monitoreo de los arrecifes artificiales (AA) en el Perú*. Esta propuesta establece los lineamientos para la formulación de proyectos vinculados a los AA, basados en los criterios de la Política Ambiental del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Convenio de Londres de 1972 y el Protocolo de Londres de 1996, de la Organización Marítima Internacional (OMI).

El Gobierno Regional de la Libertad (2009), por medio de la Dirección de Medio Ambiente de la Gerencia Regional de la Producción, presentó el proyecto *Mejoramiento del hábitat marino-costero mediante la construcción e implementación de “arrecifes artificiales” en la localidad de Magdalena de Cao, provincia de Ascope, departamento de La Libertad* (código SNIP: 49780). Esta

propuesta se fundamentó en la observación de que las operaciones de pesca de las embarcaciones de redes de cerco y malla anchovetera, que operan dentro de las 5 millas náuticas adyacentes a la línea de costa, afectan considerablemente los ecosistemas marinos. Por ende, estas operaciones podrían ser responsables de la disminución de la biomasa y la abundancia de los recursos dirigidos a la pesca artesanal.

El Instituto del Mar del Perú (2016), con financiamiento del proyecto GEF-Humboldt “Hacia un manejo con enfoque ecosistémico del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt (GEMCH)”, desarrolló el primer curso-taller de capacitación sobre definición, objetivos, marco normativo (nacional, regional e internacional), tipología, clasificación, usos y efectos ambientales asociados a los arrecifes artificiales. Además, identificó y seleccionó un área como sitio piloto para la implementación de arrecifes artificiales, contando para ello con el apoyo de expertos internacionales.

Finalmente, la Comisión Conjunta Perú-Corea, en 2019, con la participación del KOPELAR y liderada por el director adjunto del Ministerio de Océanos y Pesca de Corea y el asesor de la viceministra de Pesca y Acuicultura del Ministerio de la Producción del Perú, acordó que el Imarpe implementaría un estudio de factibilidad, en consulta con Corea para ser presentado a la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI), con la intención de promover un nuevo proyecto ODA denominado “Mejora de la productividad costera a través de arrecifes artificiales”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estudios de línea base ambiental

En la actualidad, los estudios de línea base ambiental, que incluyen la investigación de variables biológicas, ecológicas, ambientales, oceanográficas, sociales y económicas, contribuyen en la identificación del estado actual de un determinado ecosistema o hábitat en particular. Esto es relevante sobre todo cuando dicho hábitat ha sido afectado por algún elemento natural, a consecuencia de un impacto ambiental adverso, o por una intervención antrópica que genera pasivos ambientales.

Entre las variables más relevantes, destacan el registro y caracterización del tipo de fondo (batilitología) y los niveles de profundidad (batimetría), que forman parte del componente ecológico. Estas mediciones se llevan a cabo a bordo de embarcaciones marisqueras especializadas, con el objetivo de obtener la morfología del fondo marino y determinar las pendientes y profundidades. Para ello, se realiza un levantamiento batimétrico por medio de transectos perpendiculares y paralelos al borde costero, así como algunas líneas de comprobación en direcciones norte y sur o subparalelas a la línea de costa. Esta metodología permite contar con una descripción más exhaustiva del área de investigación (Instituto del Mar del Perú, 2021).

La recolección de información batimétrica se optimiza utilizando una ecosonda científica multihaz. Esta es instalada en una embarcación artesanal con un transductor de frecuencia de trabajo de 120 kHz tipo *split beam*, conectada a un navegador GPS de la marca Garmin Plus, para el posicionamiento global. Antes de ello, se calibra el equipo, siguiendo la metodología de Foote *et al.* (1981).

A partir del registro y procesamiento de los datos batilitológicos, se establecen estaciones de muestreo. El objetivo es identificar y verificar, mediante buceo científico, el tipo de sustrato dominante entre los 0 y 20 metros de profundidad. Para las profundidades mayores a los 20 metros, se colectan muestras de sedimentos marinos con una draga tipo Van Veen de acero de 0,05 m² de área, para su respectivo análisis.

Toda la información obtenida del estudio de línea base ambiental, que incluye la recolección de datos a través de una embarcación, sirve para el planeamiento de la distribución de las estaciones de muestreo y la dirección de las líneas batimétricas. Estas últimas se planifican y validan con las indicaciones de la ecosonda, lo cual permite identificar la topografía del fondo marino. Este proceso facilita la diferenciación entre los fondos rocosos o depósitos de fragmentos de rocas y las zonas arenosas (Instituto del Mar del Perú, 2021).

2.2.2. Ingresos económicos en la pesquería

En lo que respecta a los componentes socioeconómicos, en la región Tacna, el sector pesquero representa el 0,3 % de la producción regional. Este sector tiene una alta fluctuación anual, característica intrínseca de esta actividad, debido a las condiciones oceanográficas y la presión ejercida sobre los recursos; y se concentra en la extracción de especies para consumo humano directo. Estas cifras no incluyen el valor agregado generado por la industria transformadora de recursos pesqueros, la cual, en esta zona, se dedica a la elaboración de productos congelados y conservas (Banco Central de Reserva del Perú, 2013).

2.2.3. Criterios técnicos para arrecifes artificiales

Es fundamental considerar que el diseño y la construcción de arrecifes artificiales requieren de criterios técnicos. La aplicabilidad de dichos criterios comprende el gasto durante las etapas de diseño y construcción, lo que implica una elevada inversión. Además, eventualmente podrían aparecer efectos negativos, por lo que resulta imprescindible realizar una planificación exhaustiva. Esto permitirá identificar los materiales más apropiados para cumplir con sus objetivos. En este contexto, deben cumplirse ciertos criterios técnicos, tal como lo señala el Ministerio de Medio Ambiente de España (2008):

2.2.3.1. Ser funcionales

La selección de los materiales es decisiva para cumplir con los objetivos de conservación, especialmente por la interacción que tendrán con la biota marina. Es preciso considerar que la aspereza y la composición química (pH) de los insumos influirán en la mencionada comunidad. Por ejemplo, superficies menos rugosas no favorecerán el asentamiento de organismos bentónicos, ya que estos buscan espacios con cierto grado de rugosidad, grietas y orificios, que se asemejen a las rocas naturales.

2.2.3.2. Ser compatibles

Los materiales elegidos no deben representar ningún riesgo ambiental para el ecosistema y su compatibilidad con el ambiente marino debe permitir cumplir con el objetivo de conservación. En ese sentido, el material no debe incluir plásticos, ni presentar una tasa elevada de descomposición química, ni liberar productos

contaminantes que pudieran generar un deterioro en el estado del ambiente marino, tanto biológico como fisicoquímico, en el área de estudio.

2.2.3.3. Tener estabilidad

Los materiales empleados en el diseño de los arrecifes artificiales deben tener suficiente estabilidad frente a los procesos hidrodinámicos, como las olas y las corrientes. Aquellas estructuras situadas en zonas de menor profundidad deben presentar tipologías bastante porosas, a fin de reducir significativamente el efecto del oleaje. Respecto a las estructuras arrecifales construidas con diferentes insumos y materiales, en su conjunto o de manera individual, deben ofrecer una estabilidad constante.

2.2.3.4. Tener longevidad

Para el cumplimiento de los objetivos de recuperación y conservación de los ecosistemas, se debe conservar la operatividad de las estructuras arrecifales, a fin de fortalecer y asegurar la durabilidad de todos los insumos y materiales utilizados. De esta manera, se garantizará una vida útil larga y se mantendrá una estabilidad en su composición química frente a las condiciones del agua de mar.

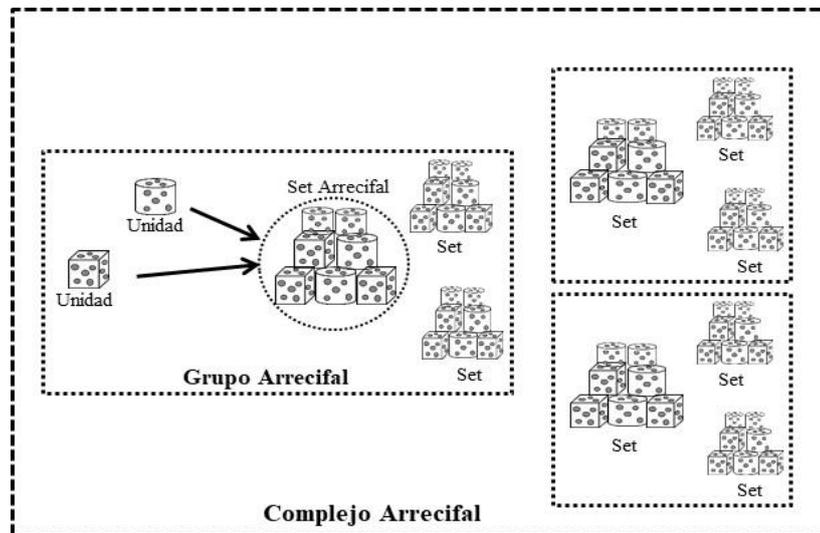
2.2.4. Tipología de los arrecifes artificiales

Los principales elementos que constituyen un arrecife artificial, desde la unidad más pequeña hasta el complejo arrecifal, en orden ascendente son: 1) unidad o módulo arrecifal, 2) set o cúmulo arrecifal, 3) grupo o polígono arrecifal, y 4) complejo o zona arrecifal (Grove y Sonu, 1983) (ver Figura 1).

El elemento de menor tamaño es la unidad o módulo arrecifal, mientras que el set o cúmulo arrecifal agrupa a varias unidades o módulos arrecifales. Por su parte, el grupo o polígono arrecifal se refiere a la unión ordenada de varios sets o cúmulos arrecifales. Finalmente, el complejo o zona arrecifal alude al conjunto de varios sets o cúmulos arrecifales y se presenta a escala local o regional (Seaman y Sprague, 1991).

FIGURA 1

Tipología de la estructura de arrecifes artificiales



Nota. elaboración propia, basada en el esquema de Seaman y Sprague (1991)

2.2.5. Beneficios del diseño y construcción de arrecifes artificiales

Los arrecifes artificiales son, en principio, una herramienta de conservación efectiva. Pero, más allá de todos sus beneficios inherentes, un aspecto destacable es su capacidad de minimizar la presión antrópica sobre otros arrecifes naturales, lo que representa un gran avance para garantizar la recuperación de estos ambientes. Por ejemplo, los arrecifes artificiales ofrecen áreas alternativas para actividades

como el buceo, lo que disminuye la presión sobre otros hábitats y contribuye a su recuperación. Asimismo, proporcionan un respiro a los ecosistemas alterados frente a las presiones antrópicas (Pérez, 2001).

De otro lado, estas estructuras artificiales generan nuevos espacios para la biota marina. En efecto, permiten sostener y mantener una cantidad variada de biota en función al espacio y las condiciones del ambiente. Los procesos de colonización dependerán, a su vez, de la profundidad de instalación y de las condiciones del hábitat. Los primeros colonizadores suelen ser especies de esponjas, corales, algas, entre otras, así como distintas especies de peces (Pérez, 2001).

En cuanto a los beneficios socioeconómicos, los arrecifes artificiales pueden impulsar el desarrollo de la comunidad local a través del fomento de actividades como el ecoturismo. Esta actividad promoverá la creación de nuevos ingresos económicos para la comunidad pesquera o costera sin afectar el normal funcionamiento de los ecosistemas (Pérez, 2001).

Asimismo, este proyecto incentiva la educación ambiental comunitaria y la investigación científica. En un contexto global donde la biodiversidad se encuentra amenazada por las diferentes actividades en los ecosistemas marinos y terrestres, el uso sostenible de la biodiversidad se conseguirá a través de una investigación continua y especializada. En ese sentido, el conocimiento de la biodiversidad presente en los arrecifes artificiales puede contribuir a nivel educativo e investigativo para mostrar a las futuras generaciones la relevancia de la protección de los ecosistemas marinos (Arenas et al., 2011).

Es importante destacar que los ecosistemas saludables y libres de impactos antropogénicos a menudo se recuperan rápidamente de eventos naturales. Estos

ecosistemas altamente resilientes son capaces de retornar a un estado similar al que tenían tras la afectación del impacto. Sin embargo, otros ambientes no saludables, perturbados por las actividades antrópicas, tienen una recuperación baja o nula, con escasas posibilidades de retornar a su estado inicial, es decir, carecen de resiliencia (Edwards y Gómez, 2007).

2.2.6. Valoración económica de los arrecifes artificiales

Cuando las estructuras arrecifales cuentan con un diseño óptimo y su construcción y ubicación les permiten mantener la estabilidad bajo condiciones ambientales adversas, pueden contribuir en el reclutamiento y asentamiento de especies hidrobiológicas. En este contexto, se podría considerar que la recuperación, la estética y los escenarios naturales cercanos a las estructuras arrecifales aportan beneficios ecosistémicos, desde el reclutamiento, asentamiento y madurez de especies marinas (Edwards y Gómez, 2007).

Para este fin, resulta relevante mantener biotas resilientes con el objetivo de recuperar y conservar los beneficios socioeconómicos y bioecológicos de las comunidades locales. En general, los peces e invertebrados representan valiosas fuentes de ingresos para diversos usuarios, sobre todo para aquellos que utilizan estos recursos con fines comerciales, científicos, artesanales y recreacionales. A pesar de que no implica el consumo directo, su uso es muy importante. Por lo tanto, el buceo, el ecoturismo, la educación y la investigación científica podrían presentar conflictos entre los usos y el consumo de los productos (Nuez, 2013).

2.2.7. Estudios previos en torno a la propuesta técnica de arrecifes artificiales

Los estudios previos deben contribuir en la elección y delimitación de áreas apropiadas para instalar las estructuras arrecifales. Este proceso requiere el análisis de una serie de aspectos batimétricos, biológicos, oceanográficos, ambientales, morfológicos, ecológicos, pesqueros, sociales y económicos (Ministerio del Ambiente, 2016).

Asimismo, es fundamental considerar el estudio de los materiales e insumos que podrían ser utilizados en la fabricación de las estructuras artificiales. Esto incluye la descripción de todos los procesos y controles para la fase de construcción. Se describirá el diseño de los arrecifes artificiales y de los insumos y materiales que los componen, además de establecer el número de unidades artificiales a utilizar en este proyecto. Se justificará el número de estructuras, tipo, dimensión, forma, tamaño y área de influencia directa e indirecta en los estudios correspondientes del proyecto, así como los aspectos metodológicos respectivos (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.8. Estudios específicos para el diseño de arrecifes artificiales

Las investigaciones que priorizan y definen la ubicación del área de estudio, así como la construcción de arrecifes artificiales, deben cumplir con los siguientes criterios:

- Viabilidad
- Funcionalidad
- Racionalidad ambiental

- Durabilidad y estabilidad
- Sostenibilidad ambiental

Por lo tanto, para el cumplimiento del presente proyecto, se debe contar con información y estudios específicos referidos al tipo, el diseño y la construcción, así como a la delimitación y la ubicación correcta. Para ello, deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

2.2.8.1. Información sobre la estabilidad frente al impacto de la dinámica de olas y mareas

Los estudios referentes a los antecedentes ambientales deben incluir una descripción del sistema de corrientes en la zona propuesta. Esto permitirá identificar el tipo de diseño del proyecto en función de la dinámica de las olas, así como la dirección, la velocidad y la intensidad de las corrientes marinas para minimizar o incluso prevenir el desplazamiento o fractura de las estructuras (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.8.2. Estudios del proyecto y ubicación de los arrecifes artificiales

Este estudio es crucial para determinar los elementos disuasorios contra las actividades no amigables con el ecosistema, a fin de proteger y recuperar las especies y hábitats de importancia ecológica. El diseño y construcción de estos arrecifes estará en concordancia con otras medidas que permitan minimizar el empleo de métodos de pesca no respetuosos del medio ambiente. Para que el proyecto y su ubicación sean eficazmente viables, la selección de las estructuras de arrecifes se realizará de manera sumamente específica. Con el propósito de

establecer un diseño y construcción adecuados, resulta fundamental caracterizar y delimitar los hábitats, las actividades socioeconómicas (como la pesca, el turismo, etc.) y otras de índole científico (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.8.3. *Factores biológicos sobre el uso de los arrecifes para producción*

El proceso de retroalimentación, reclutamiento y asentamiento de especies marinas (bentónicas e ícticas) frente a estructuras arrecifales dependerá de las características del diseño, el tipo de material y el número de elementos a utilizar. De este modo, la identificación de parámetros adecuados en el presente proyecto deberá contar con información biológica y ecológica relevante (reproducción, alimentación y dinámica poblacional de las especies identificadas como objetivos dentro del proyecto) en el área de estudio. Basándonos en estas variables, el proceso de atracción de las especies deberá emplear múltiples elementos (Ministerio del Ambiente, 2016), tales como:

- La caracterización batimétrica (profundidad) de los ecosistemas o hábitats donde se desarrollan las especies objetivo
- La caracterización de las especies objetivo en diferentes niveles de desarrollo (huevos, alevines, adultos)
- La dinámica poblacional de las especies objetivo
- La caracterización de los hábitats como sitios de asentamiento, reproducción y protección contra depredadores
- Las interacciones intra- e interespecíficas entre especies objetivo
- La distribución espacial y temporal en función a las condiciones de los hábitats

- Los procesos de alimentación de las especies objetivo

2.2.8.4. *Relación entre actividades de pesca y la propuesta técnica de arrecifes*

La información sobre la captura y el esfuerzo pesquero histórico en el área de estudio, la información de evaluaciones poblacionales y la estimación del costo real del diseño de un arrecife en el área delimitada serán de gran utilidad en la toma de decisiones respecto a la cantidad necesaria de estructuras a instalar, así como la forma, el tamaño y el tipo de estructura a implementar (Ministerio del Ambiente, 2016). Por tanto, resulta relevante incluir información como:

- El tipo de flota pesquera, la ubicación de los desembarcaderos y las condiciones del área natural de pesca
- Los aparejos de pesca utilizados en el área de estudio
- La base de datos estadística sobre las capturas y desembarques de las principales especies o recursos nativos en el área de estudio.

2.2.9. Efectos en la recuperación y la conservación de los ecosistemas

Ante la disminución de la actividad pesquera poco sostenible, es previsible que las poblaciones de los recursos bentónicos objetivo, así como las de las especies que cohabitan en un determinado hábitat, presenten un incremento en las densidades poblacionales. Este cambio robustecerá, a su vez, la estructura demográfica en torno al área de intervención. Tales transformaciones, indispensables e inherentes al proyecto, otorgarán a todas las especies un mayor tiempo de vida para que puedan alcanzar una talla de captura más considerable. Esto se debe principalmente a que los procesos de reproducción y fecundación aumentarán en la zona afectada, donde

la implementación de arrecifes artificiales permitirá su recuperación y uso sostenible (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.10. Efectos en el reclutamiento y el asentamiento de recursos

Es ampliamente conocido que, entre los beneficios obtenidos del uso de herramientas como los arrecifes artificiales para la recuperación de ecosistemas, está el mantenimiento productivo dentro de las áreas de instalación. Esto se debe a que dichas estructuras favorecen los procesos de reclutamiento y asentamiento de especies de relevancia ecológica y económica. Considerando casos exitosos en todo el mundo, esta expectativa tiende a ser razonable, siempre que se emplee de manera adecuada y bajo un diseño técnico estructurado que permita optimizar la distribución, la forma y el tamaño de los arrecifes artificiales (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.10.1. Arrecifes artificiales destinados a usos múltiples

a. Arrecifes artificiales para fomentar el buceo recreativo

El principal objetivo de esta iniciativa es promover las actividades deportivas y potenciar el ecoturismo, al considerarlo un atractivo importante para la práctica de actividades subacuáticas. Esta estrategia contribuye a minimizar la presión turística que afecta a otras áreas naturales. Más allá de la experiencia de bucear en un lugar con nuevas características, el efecto de atracción y concentración de recursos favorece los propósitos de estas estructuras (Ministerio del Ambiente, 2016).

b. Arrecifes artificiales para fomentar la pesca recreativa

La intención principal de esta propuesta es impulsar la gestión de las actividades pesqueras recreativas que colaboren con el incremento controlado del turismo. Estas estructuras, similares a las anteriores, ayudan a aliviar la presión pesquera o recreativa que afecta a otras áreas naturales próximas a la zona de estudio (Ministerio del Ambiente, 2016).

c. Arrecifes artificiales para fines educativos y científicos

Aunque estas estructuras se relacionan con los objetivos de producción o concentración, no están vinculadas con actividades de gestión pesquera. En realidad, están destinadas a la investigación de los ecosistemas y de su diversidad con fines exclusivamente científicos o educativos. Este propósito implica el monitoreo de las especies que colonizan la estructura arrecifal mediante múltiples técnicas como el marcaje, el monitoreo de las comunidades de manera estacional, las observaciones directas a través del buceo científico, entre otras (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.11. Diseño, estructura y materiales para la construcción de los arrecifes artificiales

Para la etapa de diseño, construcción y empleo de materiales, resulta esencial concatenar el objetivo del proyecto, las especies de las que se busca mejorar su productividad y las condiciones naturales del ambiente seleccionado. Además, se debe tener en cuenta y relacionar este proceso con el factor económico (Ministerio del Ambiente, 2016).

Es relevante mencionar que las instalaciones arrecifales de una misma tipología no necesariamente deben poseer la misma estructura y forma; puede existir una variedad de diseños para alcanzar un mismo fin. Sin embargo, es recomendable una menor variabilidad de diseños para garantizar su funcionalidad a largo plazo. Este aspecto, no obstante, dependerá exclusivamente de los objetivos del proyecto (Ministerio del Ambiente, 2016).

Por otro lado, para el diseño y construcción de las estructuras arrecifales, se deben considerar los materiales que tengan características que permitan cumplir con sus objetivos de una forma segura y sin riesgo alguno para el ecosistema. En este sentido, las directrices establecidas en los convenios internacionales de Londres y OSPAR mencionan que los arrecifes artificiales deben construirse a partir de materiales inertes, que no generen contaminación por lixiviación, resistencia física, química o biológica (Ministerio del Ambiente, 2016).

Con relación a las funciones y la tipología, podemos contar con diseños como los siguientes:

2.2.11.1. Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre el medio físico

Las instalaciones arrecifales incluyen diseños con diferentes tipologías, cuyo objetivo primordial es disipar la energía del oleaje para fines de protección o modificación de la dinámica de las olas. Dichos objetivos se cumplen mediante el diseño de estructuras adecuadas para cada caso en particular. La forma, el tamaño, la orientación, la ubicación y el número de unidades a utilizar estarán en función del tipo y la dinámica del oleaje, el transporte de sedimento y el objetivo planteado para el diseño del arrecife (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.2.11.2. Arrecifes artificiales destinados a actuar sobre la comunidad bentónica

Esta categoría engloba diseños con fines específicos, pero concatenados por un objetivo principal, relacionado sobre todo a la producción o la concentración de recursos hidrobiológicos. Los arrecifes artificiales de protección, junto con los arrecifes artificiales mixtos, en el marco de la gestión pesquera, tienen otra función que está asociada principalmente con la protección de los ecosistemas frente al uso de artes de pesca poco sostenibles y a otros efectos negativos (Ministerio del Ambiente, 2016).

a. Arrecifes artificiales de protección pesquera

El diseño de las estructuras de protección se vincula con las características de la flota pesquera en las proximidades del área de estudio y del tipo de fondo dominante. Suelen estar representadas por estructuras de hormigón armado con o sin huecos en su interior, cuya forma dependerá especialmente del aspecto económico. Estas deben ser estructuras con el peso suficiente para resistir las corrientes marinas y evitar su arrastre por actividades de pesca (Ministerio del Ambiente, 2016).

Otro aspecto relevante de los arrecifes artificiales de protección es la distribución de varios de estos, con la intención de cubrir la mayor parte del área. La disposición puede ser variada, adoptando múltiples formas, siempre buscando maximizar la efectividad y minimizar los costos económicos y ambientales. Además, se debe tener en cuenta las actividades pesqueras tradicionales, diferentes a las que se desea mitigar (Ministerio del Ambiente, 2016).

b. Arrecifes artificiales de producción o concentración de recursos

Estos incluyen instalaciones arrecifales de producción con fines pesqueros, de concentración y/o atracción, para el desarrollo de la maricultura y con fines ecológicos. Estas últimas buscaban el incremento de la productividad, la recuperación de ecosistemas y la creación de sustratos secundarios como nuevos hábitats. Por consiguiente, todos ellos están destinados a ser colonizados y a contribuir en el asentamiento de las comunidades bentónicas características de ambientes rocosos. El número, el tamaño y la forma de los huecos dentro de cada estructura arrecifal, así como la forma de las propias estructuras (altura, perfil, relación superficie/volumen), serán determinantes para la diversidad y abundancia de los organismos que se asienten en ellas (Ministerio del Ambiente, 2016).

El diseño final de las estructuras arrecifales depende de los objetivos trazados. En ese sentido, mientras más complejo sea el diseño de la estructura, mayor será el número de especies que la utilicen como nuevo sustrato. Por su parte, más allá de considerar el diseño y los materiales, otro factor importante es el patrón de distribución en el medio marino, ya que este influirá de manera directa en los objetivos propuestos. Asimismo, la diversidad y la abundancia de las comunidades estarán en función del número de unidades y la superficie en la que se vayan a distribuir (Ministerio del Ambiente, 2016).

c. Arrecifes artificiales mixtos (de producción y protección pesquera)

Estas estructuras tienen un doble propósito: la protección de los ecosistemas y la concentración significativa de especies marinas. Es decir, abarcan tanto los objetivos de protección como los de producción o concentración. Respecto a su

disposición espacial, debe considerarse no solo el tipo de superficie del área a proteger, sino también los objetivos productivos que se buscan alcanzar, relacionando principalmente la efectividad con los costos económicos y los aspectos ambientales (Ministerio del Ambiente, 2016).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Banco natural

Denominamos banco natural (BN) al espacio marino o continental que se caracteriza por ser una zona de alta productividad, sobre todo de recursos bentónicos, designada por el Estado mediante un área geográfica. La identificación de los BN de fondos rocosos y arenosos involucra la correcta ubicación, la extensión y la descripción de las características biológicas y ecológicas. Esta información es fundamental para elaborar cartas temáticas y batimétricas preliminares de las zonas catalogadas como BN (Castillo, 2015).

2.3.2. Batimetría

La batimetría se refiere, en el ámbito marino, a la medición de las profundidades que permiten determinar la topografía del fondo del mar. El registro de esta variable requiere de datos vinculados con los valores de profundidad y su respectiva ubicación latitudinal (Castillo, 2015).

2.3.3. Batilitología

La batilitología implica la descripción espacial y temporal de una determinada área de investigación expresada en un mapa y delimitada por vértices. Este estudio

permite describir, a través de un proceso de análisis, las principales características del sustrato, definiendo su extensión, su cobertura espacial y otros aspectos biológicos, ecológicos, sedimentarios y batimétricos de la zona (Castillo, 2015).

2.3.4. Biodiversidad

La biodiversidad marina engloba la vasta variedad de organismos microscópicos y macroscópicos presentes en los mares y océanos. Es un aspecto esencial para el desarrollo sostenible de las actividades socioeconómicas del planeta, además de proporcionar los servicios ecosistémicos que solventan el bienestar de la población humana. Según el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica, el término biodiversidad incluye todas las especies que conforman la vida en la tierra, en sus diferentes etapas evolutivas desde hace millones de años, producto de los procesos naturales y las constantes actividades antrópicas (Ministerio del Ambiente, 2010a).

2.3.5. Corrientes marinas

Se refiere a las corrientes oceánicas que generan un característico tipo de movimiento de las masas de aguas y constituyen de este modo los océanos. La circulación de las corrientes marinas puede deberse a múltiples factores, como la rotación de la Tierra, los vientos que se desplazan sobre la superficie del mar o simplemente la ubicación geográfica de los bordes costeros de los continentes (Ortiz, 2015).

2.3.6. Ciclo de nutrientes en el mar

En el ambiente marino, el incremento del fitoplancton es de gran importancia ya que constituye la base de la red trófica que culmina en los depredadores superiores. Este proceso, conocido como fotosíntesis, requiere elementos como el bióxido de carbono y otros macronutrientes para su desarrollo. Estos son obtenidos por las especies directamente de las masas de agua, aprovechando la energía solar, que es captada por el fitoplancton y convertida en energía biológica para su posterior almacenamiento en forma de compuestos orgánicos de gran potencial energético.

Es relevante mencionar que el desarrollo, la concentración y la distribución del fitoplancton son controlados por factores físicos (temperatura, luz, corrientes), biológicos (crecimiento e interacciones intra- e interespecíficas) y químicos (disponibilidad de nutrientes) (Riley y Chester, 1971).

2.3.7. Ecosistemas marinos

El ambiente marino se compone de una amplia variedad de ecosistemas que contienen, a su vez, una gran cantidad de organismos vivos que interactúan de manera directa e indirecta en estos ambientes. Los ecosistemas marinos cubren cerca del 70 % de la superficie de la tierra. Se diferencian de los ecosistemas terrestres por presentar una biodiversidad con características estructurales y funcionales únicas (Castillo, 2015).

2.3.8. Esfuerzo pesquero

El esfuerzo pesquero se define como la cantidad o magnitud de una determinada actividad extractiva (pesquera) en un área marina, cercana a la costa o no, durante

un periodo específico. Estas actividades dependen, en gran medida, del tipo de arte de pesca, lo cual incluye la cantidad de horas de faena por día.

Este esfuerzo pesquero se mide como la suma del tiempo dedicado a la actividad de pesca; además, se tiene en cuenta el tipo de arte de pesca utilizado, que puede ser mono- o multiespecífico. Para este propósito, se debe contabilizar el tiempo efectivo de cada actividad, a fin de estandarizar y estimar el esfuerzo de pesca total por arte de pesca (Castillo, 2015).

2.3.9. Estándar de calidad ambiental

Este parámetro ambiental regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua. Esto se establece considerando su condición de cuerpo receptor, de modo que no represente un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010a).

2.3.10. Indicador ambiental

Se define como la medida física, química, biológica o socioeconómica que representa de manera óptima los componentes de un ecosistema. Se trata de una medida directa o indirecta de la calidad ambiental que se utiliza para evaluar el estado de conservación de un determinado ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010b). Los indicadores ambientales se pueden clasificar en:

- Físicoquímicos: Se basan en los parámetros físicos o químicos del agua de mar, como el pH, los sólidos totales en suspensión, la temperatura, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), entre otros.

- **Biológicos:** Implican organismos cuya presencia determina el estado de salud del ecosistema donde desarrolla su ciclo biológico, como algunos macroinvertebrados, diatomeas, peces, entre otros.

2.3.11. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) alude a la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua de mar. Este oxígeno es fundamental para la presencia y desarrollo de la flora y fauna marina, por lo que es un indicador crucial para monitorear la vida en los océanos. Esta concentración representa el oxígeno que ingresa al sistema y que es utilizado y consumido por los seres vivos. Aunque la presencia de oxígeno puede estar supeditada a muchas fuentes, se asocia sobre todo al obtenido directamente de la atmósfera (Ortiz, 2015).

2.3.12. Población de recursos marinos

Se entiende por población de recursos marinos a un grupo de individuos de una misma especie que habitan en un área geográfica definida por sus características físicas. En ellas, los individuos se reproducen y crecen; además, se producen dispersiones aleatorias o migraciones debido a condiciones biológicas estacionales o reproductivas (como sucede con poblaciones de chanques, choros, caracoles y erizos). Existen especies cuyos individuos conforman una única población, mientras que otros integran varias poblaciones (Castillo, 2015).

2.3.13. Salinidad del mar

La salinidad indica la cantidad de sal disuelta en el agua de mar o, para decirlo de otro modo, el contenido salino en las masas de agua. El porcentaje promedio de salinidad en los océanos es 3,5 % (35 gramos por cada litro de agua). Sin embargo, esta concentración varía en función de la intensidad de la evaporación del agua de mar (Ortiz, 2015).

2.3.14. Talla mínima de captura

La talla mínima de captura se refiere al régimen de control establecido por las entidades de gestión competentes, con la intención de reducir las capturas de especies juveniles o en sus primeros estadios de maduración. Esta medida de control se instaura bajo condiciones de rendimiento por recluta para evitar la sobrepesca. En otras palabras, las regulaciones de talla mínima buscan alterar el tipo de explotación para que las especies juveniles tengan más oportunidades de crecer, reproducirse y dejar una prole, antes de ser susceptibles a las actividades extractivas o de pesca (Castillo, 2015).

2.3.15. Temperatura del mar

La temperatura, tanto superficial como profunda, del mar es un parámetro físico que ayuda a determinar las diferentes sensaciones de frío y calor que se presentan en las masas de agua. Es considerada como la energía cinética de las moléculas que integran el cuerpo de agua, la cual se manifiesta en forma de agitación térmica, resultante del roce entre las moléculas de las masas de agua. En este sentido, todos los seres vivos marinos son sensibles a los cambios fuertes de temperatura y, por

tanto, requieren que esta se mantenga dentro de un rango específico para su supervivencia y reproducción (Ortiz, 2015).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación está basada en un estudio descriptivo, observacional y correlacional no experimental. En efecto, las variables se midieron de forma independiente, sin generar cambios en su comportamiento, lo cual concuerda con el planteamiento de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018). Para ello, se estableció una estrategia de campo con el propósito de obtener información de los aspectos bioecológicos y ambientales, siguiendo las metodologías del Instituto del Mar del Perú (2023).

3.2. Diseño de investigación

En cuanto al diseño de investigación, se optó por un enfoque no experimental transversal. Esta aproximación se basa en la espacialización de la investigación, un concepto que, conforme con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), implica la recolección de información en un determinado momento para describir las variables y analizar su incidencia o interrelación.

3.3. Población y muestra

Una población, si consideramos la descripción de Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), es un conglomerado de casos que presentan las mismas características. En ese sentido, para el presente estudio, la población está conformada por las especies marinas que habitan el área de Meca-Lozas de la localidad de Morro Sama, en Tacna.

Por otro lado, se realizó un muestreo de tipo probabilístico estratificado, en el que la población fue dividida en dos grupos. La segmentación se realizó considerando los dos niveles de profundidad en cada zona de muestreo. Asimismo, según el criterio del investigador, las muestras se colectaron en cada grupo por separado.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Para analizar los aspectos bioecológicos, los instrumentos empleados en esta investigación fueron los protocolos de muestreo de la biodiversidad marina del Instituto del Mar del Perú (2017b) y los protocolos de muestreo biológico y biométrico de gasterópodos y bivalvos del mismo instituto (Argüelles *et al.*, 2016; Sanjinez *et al.*, 2016). Respecto a los aspectos ambientales, se siguió el protocolo de muestreo de agua, sedimentos y organismos acuáticos del Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto del Mar del Perú (2013). Para abordar los aspectos socioeconómicos, se estableció una reunión técnica que contó con la participación de representantes gubernamentales de Lima y Tacna, así como de la comunidad pesquera del distrito de Morro Sama. La información recabada en dicha

reunión fue compilada y añadida a una base de datos en Excel para su posterior análisis (Instituto del Mar del Perú, 2017a).

Para determinar los criterios técnicos de identificación y delimitación de hábitats y elaborar una propuesta técnica orientada al diseño de arrecifes artificiales, se contó con información obtenida de dos talleres de investigación. En ellos participaron especialistas nacionales e internacionales cuya experiencia permitió identificar y validar los criterios técnicos (Instituto del Mar del Perú, 2016) y analizar la información del estudio de línea base ambiental para la propuesta técnica de arrecifes artificiales (Instituto del Mar del Perú, 2019).

3.4.1. Aspectos bioecológicos (biodiversidad)

Las estaciones se distribuyeron en dos niveles de profundidad (A: >10 m y B: <10 m) en cada zona de muestreo, a través de transectos perpendiculares a la línea de costa, ubicados a intervalos equidistantes de aproximadamente 400 m.

En cada estación, se colectó una muestra de la biodiversidad utilizando bolsas de tocuyo, espátulas y cuadrantes metálicos de 0,25 m². Además, se registró la cobertura de organismos sésiles y organismos de más de 2 cm de longitud mediante libretas de buceo, lápices de buceo y cuadrantes metálicos grillados de 0,50 m². Se realizó una descripción visual del tipo de sustrato, sea duro, blando o mixto, la cual fue complementada con el registro fotográfico en cada una de las estaciones.

Todas las estaciones fueron georreferenciadas con un GPS y el Datum Provisional WGS84. Asimismo, las actividades de buceo se planificaron y estuvieron enmarcadas dentro de los tiempos y profundidades permitidas, siguiendo

rigurosamente las normas de seguridad indicadas en las tablas de descompresión. Las muestras recolectadas fueron cernidas en un tamiz con una abertura de malla de 500 μm para separar la fracción macrobentónica y luego fueron fijadas en alcohol al 96 % para su preservación.

3.4.2. Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial)

Para el estudio de los recursos de importancia comercial, se emplearon transectos perpendiculares a la línea de costa, estableciendo estaciones de muestreo a diferentes niveles de profundidad. En cada transecto de muestreo se instalan de 3 a 4 estaciones, dependiendo de la extensión, la profundidad y el tipo de sustrato.

En cada estación, se definieron unidades básicas de muestreo (UBM) de 30 m^2 de superficie (cuadrante imaginario). En estas unidades se colectaron de forma manual todos los ejemplares de especies comerciales y acompañantes. Asimismo, durante cada inmersión que efectuaron los buzos, se llevó a cabo una descripción del ambiente submareal, determinando de manera visual el tipo de sustrato y la presencia de organismos estructuradores mediante las libretas y lápices de buceo.

Los ejemplares colectados fueron contados y medidos al milímetro con ayuda de un malacómetro, a bordo de la embarcación, con el objetivo de determinar su abundancia relativa. Tras el conteo y la medición, los ejemplares fueron devueltos a su medio natural, pues solo se colectaron algunos para el muestreo biológico en el laboratorio.

Gracias a los datos obtenidos, se pudo determinar el área de distribución espacial de los principales recursos, la cual fue establecida mediante la integración

de los puntos donde se detectó la presencia del recurso y/o especies presa, excluyendo coberturas que presentaran sustratos no aptos para el recurso.

3.4.3. Aspectos ambientales (calidad ambiental)

El número de estaciones y su distribución final dependieron del gradiente batimétrico, considerando el tipo de sustrato (blando y mixto).

La colecta de agua de mar se realizó a dos niveles en la columna de agua: superficie y fondo. A nivel superficial, las muestras fueron colectadas en un balde de plástico de 20 L de capacidad; mientras que, a nivel de fondo, se utilizó una botella Niskin de 5 L. Posteriormente, las muestras se almacenaron en frascos de polietileno de 250 ml y frascos de vidrio ámbar de 100 ml.

Las muestras de sedimento marino se obtuvieron con una draga Van Veen en un área de muestreo de 25 cm x 25 cm. Estas muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas de 10 cm x 20 cm y colocadas en cajas térmicas o coolers con hielo para mantenerlas refrigeradas.

Las muestras de agua a nivel superficial para el análisis microbiológico fueron recolectadas con un balde de plástico de 20 L de capacidad, y las muestras de sedimento, con una draga Van Veen de 25 cm x 25 cm.

3.4.4. Aspectos ambientales (oceanografía física)

Las muestras de agua para los análisis de salinidad se colectaron en frascos de polietileno de 250 ml. Estas muestras fueron luego analizadas en el laboratorio, para lo cual se utilizó una botella Niskin de 5 L de capacidad. Los registros de

temperatura se efectuaron con termómetros de superficie y termómetros de inversión, en los niveles superficiales y subsuperficiales, respectivamente.

Se utilizó un sistema de posicionamiento global o GPS para la ubicación de las estaciones hidrográficas. Asimismo, mediante un correntómetro RCM Aanderaa, se registró la velocidad, la dirección y la intensidad de las corrientes en el área de muestreo.

3.4.5. Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)

En cuanto a los aspectos socioeconómicos, la información fue obtenida a través de la “Reunión de trabajo para coordinar acciones conjuntas de cooperación científica, tecnológica y financiera en el marco del proyecto arrecifes artificiales en el Perú”, desarrollado por el Imarpe en las instalaciones del Laboratorio Costero de Ilo durante el año 2017.

En dicho encuentro participaron representantes de la Escuela de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, el Gobierno Regional de Tacna (Gerencia de Desarrollo Económico, Dirección Regional de la Producción), la Dirección General de Asuntos Ambientales Pesqueros y Acuícolas del Ministerio de la Producción, la Dirección General de Capitanías y Guardacostas, y la asociación de pescadores artesanales y buzos civiles El Faro-Morro Sama de Tacna. Además, asistieron los representantes del Centro Conjunto de Investigación Corea-Perú en Ciencia y Tecnología Marina para América Latina (KOPELAR).

La pertinencia de la información recopilada se basó en una serie de factores, que involucraron aspectos de gobernanza, políticas, seguridad, reglamentaciones

existentes, recursos disponibles, así como los roles y responsabilidades de todos los actores involucrados. Adicionalmente, se incluyeron detalles sobre el enfoque de muestreo y el plan de análisis de datos (ver Anexo 1).

3.4.6. Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats

La información que permitió identificar y validar los criterios técnicos fue obtenida del taller “Arrecifes artificiales – Estrategia para la conservación de ecosistemas marinos en el Perú”, organizado por el Instituto del Mar del Perú en las instalaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en la ciudad de Lima durante el 2016.

El mencionado taller contó con la participación de tres especialistas internacionales en materia de arrecifes artificiales:

- Dra. Magaly Cruz Marzoa, directora y técnica del proyecto sobre arrecifes artificiales en el estado de Veracruz, México.
- Dr. Juan Castro Hernández, director del máster en Gestión Sostenible de Recursos Pesqueros de la Universidad Las Palmas de Gran Canaria en España.
- MSc. Andrew Lacatell, especialista en estudios ambientales y en salud ambiental de The Nature Conservancy (TNC-Virginia) en los Estados Unidos de Norteamérica.

El desarrollo del taller se organizó en torno a tres módulos de trabajo, donde se realizaron presentaciones enfocadas en el fortalecimiento de capacidades, el intercambio de lecciones aprendidas y el análisis de la información a través de matrices de evaluación:

- El módulo 1, destinado al fortalecimiento de capacidades, trató aspectos normativos relacionados al uso de arrecifes artificiales a nivel internacional y también abordó propuestas nacionales sobre arrecifes artificiales.
- El módulo 2 fue el de la presentación de las lecciones aprendidas o experiencias sobre proyectos de arrecifes artificiales desarrollados en otros países. Se impartió capacitación especializada para el diseño, uso y construcción de arrecifes artificiales, la cual permitió fortalecer los criterios técnicos, económicos y financieros, así como fomentar la concientización y socialización de proyectos. Se hizo hincapié en la aplicación de los arrecifes artificiales como una herramienta para la conservación de los ecosistemas marinos y su diversidad.
- El módulo 3 implicó el análisis de las matrices de evaluación para la priorización de hábitats y la implementación de proyectos de arrecifes artificiales, considerando aspectos pesqueros, ecológicos y sociales. En cuanto al componente pesquero, se analizó el volumen de desembarque y el aprovechamiento racional de los recursos pesqueros. Desde una perspectiva ecológica, se identificaron áreas con información respecto al tipo de sustrato, las comunidades bentónicas y la calidad ambiental. Por último, el componente social tuvo en cuenta las zonas con accesibilidad para las comunidades locales, con el fin de que estas puedan realizar sus actividades económicas tradicionales y desarrollar nuevas actividades (ver Anexos 2 y 3).

3.4.7. Propuesta de diseño y construcción de arrecifes artificiales

Para la elaboración de la propuesta de diseño y construcción de arrecifes artificiales, los resultados de la presente investigación fueron sometidos a un análisis detallado durante el taller “Evaluación de la información técnica. Propuesta de instalación de arrecifes artificiales”, desarrollado en las instalaciones de la sede central del Instituto del Mar del Perú, en 2019.

En este taller participó, además de varios profesionales del Imarpe, un especialista internacional en materia de arrecifes artificiales. Se trataba del PhD Jung Goo Myoung, especialista del Instituto de Corea de Ciencia y Tecnología del Océano (KIOST), con experiencia en la implementación de arrecifes artificiales de Corea.

El taller tuvo como eje central dos aspectos fundamentales. Por un lado, se presentaron los resultados de otros proyectos previos realizados en Corea, los cuales han contribuido significativamente a la actividad turística y a la recuperación de las poblaciones de recursos hidrobiológicos en dicha región. Por otra parte, se analizó la información recogida y se identificaron los criterios para la ubicación del área de seleccionada que garanticen la seguridad de las estructuras arrecifales (ver Anexo 4).

3.5. Método para el procesamiento y análisis de información

Después de la aplicación de los instrumentos de muestreo y recopilación de datos, estos fueron procesados aplicando técnicas específicas para cada aspecto considerado en la investigación:

3.5.1. Aspectos bioecológicos (biodiversidad)

Se procedió a la determinación taxonómica, hasta el nivel más bajo posible, empleando estereoscopios y basándose en los criterios de Álamo y Valdivieso (1997), Chirichigno (1970), Marincovich (1973), entre otros. Asimismo, se realizó la cuantificación y el pesaje de las especies, siguiendo las metodologías del Imarpe (Argüelles *et al.*, 2016).

La riqueza de taxa y el nivel de muestreo se evaluó mediante curvas de acumulación de taxa observados (S) y estimados con los procedimientos no paramétricos Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2. El Jackknife 1 estima la riqueza esperada con base en el número de taxa únicos que inciden en una sola muestra, mientras que Jackknife 2 y Chao 2 predicen cuántos taxa únicos y duplicados quedan por muestrear en campo (Heltsh y Forrester, 1983; Chao, 1987). Estas curvas de acumulación se construyeron de acuerdo con el programa estadístico Primer V6 con 10 000 permutaciones (Clarke y Gorley, 2006).

La diversidad ecológica de los taxa se evaluó con la diversidad de Shannon (H' , bits) y la dominancia de Simpson (D) a nivel de muestras. Posteriormente, se calcularon los valores promedios por profundidad y estación. Se realizaron ANOVA basados en permutaciones, siguiendo los criterios de Anderson, Gorley y Clarke (2008); para ello, se construyeron matrices de distancias euclidianas por cada variable, y la significancia estadística se probó con 10 000 permutaciones bajo un modelo reducido. El diseño consideró los factores sector, estación y profundidad.

La similitud de los taxa entre las comunidades bentónicas se exploró con un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), utilizando matrices

de similitud de Bray-Curtis con datos transformados con raíz cuarta a nivel de muestras. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de varianza multidimensional, basado en permutaciones (PERMANOVA), siguiendo el mismo diseño experimental que los ANOVA y con matrices de similitud de Bray-Curtis y el mismo pretratamiento mencionado para el nMDS a nivel de muestras (Anderson, Gorley y Clarke, 2008).

3.5.2. Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial)

Las muestras fueron analizadas por separado. Así, se identificaron y separaron los organismos de importancia comercial para su análisis biométrico y biológico (Argüelles *et al.*, 2016; Sanjinez *et al.*, 2016).

Los recursos pesqueros (invertebrados) se midieron (mm) y pesaron (g) siguiendo la metodología empleada por el Imarpe en los estudios biométricos y biológicos. Todos los individuos colectados fueron medidos al milímetro con ayuda de un malacómetro, para registrar la medida de la longitud peristomal (LP) en los casos del chanque y el caracol y la longitud total (LT) respecto al choro. Además, se registraron en fresco el peso total (PT) y el peso de las principales partes blandas, como el peso del cuerpo sin concha (PC), de la zona visceral (PP) y de las gónadas (PG). Para esta actividad, se requirió una balanza KERN de 0,01 g de precisión. Por último, se desarrollaron las relaciones bioparamétricas (LP-PT, LP-PC y LP-PP).

Los registros obtenidos en las bitácoras, las fichas de muestreo biométrico y biológico, así como las estadísticas pesqueras, fueron digitalizados en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Finalmente, los datos fueron procesados en software estadístico (STATISTICA) y ArcGIS, para obtener figuras, gráficos y mapas que contribuyeron con el análisis de la información.

3.5.3. Aspectos ambientales (calidad ambiental)

Las muestras de agua en superficie se colectaron en un balde plástico, mientras que para las de fondo se utilizó una botella Niskin de 5 L de capacidad. Posteriormente, se fijaron las muestras respecto a los parámetros oxígeno, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sulfuros, así como aceites, grasas e hidrocarburos disueltos aromáticos totales. Para ello, se siguió el Protocolo para el Monitoreo de Efluentes y Cuerpo Marino Receptor (Resolución Ministerial n.º 003-2002-PE), con el fin de proceder con su análisis en el Laboratorio de Contaminación Marina (LCM) del Instituto del Mar del Perú.

Los registros fueron comparados con los valores estándares nacionales de calidad ambiental para agua, los cuales fueron aprobados en el Decreto Supremo n.º 002-2008-MINAM. Estos parámetros aplican a distintos tipos de agua que competen a zonas marinas. Así sucede en cuanto a la categoría 2, “Actividades marino-costeras (AMC)”, respecto a las subcategorías 1, “Extracción y cultivo de moluscos bivalvos”; 2, “Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas”, y 3, “Otras actividades”. Asimismo, se considera la categoría 4, “Conservación del ambiente acuático”.

3.5.3.1. *Análisis químico*

Las determinaciones fisicoquímicas para evaluar la calidad acuática se basaron en el método titulométrico Winkler, modificado por Carpenter (1966), para el cálculo de oxígeno disuelto (Grasshoff, Kremling y Ehrhardt, 1999). Adicionalmente, se tomaron en cuenta el método potenciométrico para la determinación del pH, utilizando el MP 120 pH Meter; el método ISO 5815 de 1999 para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); y el método colorimétrico de Strickland y Parsons para el análisis de nutrientes.

En lo concerniente a la determinación de los metales pesados en el agua de mar, se empleó la técnica de quelación-extracción con APDC y MIBK. Para el análisis en sedimentos, se procedió a su liofilización (secado en frío) y tamizado por malla Nytal 100 (149 µm), para después someterlos a una digestión ácida en un sistema de microondas. Las lecturas analíticas de las muestras de agua y sedimento se realizaron en el espectrofotómetro de absorción atómica modelo 6701F-Shimadzu con sistema automatizado en horno de grafito y flama (Sánchez *et al.*, 2014). También, se aplicó la técnica de espectrometría de masas con plasma inducido en el equipo Nexion 350X Perkin Elmer. La determinación de contaminantes químicos se efectuó basándose en los siguientes métodos:

- Método gravimétrico (APHA-AWWA-WEF, SM, 21° ed., 2005. Method 2540 D), para el análisis de sólidos suspendidos totales a 103-105 °C.
- Método gravimétrico descrito en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21° ed., 2005, APHA-AWWA-WEF, Method 5520B, para determinar la presencia de aceites y grasas.

- Método colorimétrico azul de metileno descrito por Grasshoff, Kremling y Ehrhardt (1999), en *Methods of Seawater Analysis*, para la determinación de sulfuro de hidrógeno en muestras de agua de fondo.
- Método descrito por UNESCO/COI, Manuales y guías n.º 11 (1982), para la determinación de los hidrocarburos del petróleo en los sedimentos.
- *Manual for Monitoring Oil and Dissolved/Dispersed Petroleum Hydrocarbons in Marine Waters and Beaches*. UNESCO/COI Manual and Guides n.º 13 (1984), para supervisar los hidrocarburos del petróleo disueltos o dispersos en playas y aguas marinas.

3.5.3.2. *Microbiología*

El presente estudio empleó una variedad de métodos y técnicas, tal como se describe a continuación:

- Recuento de tubos múltiples de fermentación, para obtener el número más probable (NMP), que permitió determinar la concentración microbiológica en agua muestreada a nivel superficial.
- SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 9221 B, 22.º ed., 2012, Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
- SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 22.º ed., 2012, Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC medium).
- ICMSF. *Microorganismos de los alimentos*, 2.º ed., 2000, Recuento de coliformes: técnica del número más probable (NMP), Método 1.

- ISO 5815. International Organization for Standardization. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), 1991.

Por su parte, respecto a la normatividad de los estándares nacionales de calidad de agua, se tuvieron en consideración las siguientes referencias:

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo n.º 015-2015-MINAM). Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (costa).
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM). Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

3.5.4. Aspectos ambientales (oceanografía física)

Para el análisis de las corrientes marinas, se contemplaron diferentes combinaciones y estrategias de muestreo utilizando el RCM-9, las cuales se dividieron en dos grupos. En primer lugar, tenemos el “modo estático”, donde el RCM-9 se instaló en un anclaje por un periodo determinado en una estación hidrográfica. En segundo lugar, en el “modo dinámico”, se utilizó un anclaje y el RCM-9 se fue cambiando de nivel de profundidad en la columna de agua.

El desplazamiento de las corrientes fue presentado en cartas de distribución superficial y subsuperficial (fondo), mediante una distribución vectorial y en sus componentes “u” y “v”. El componente “u” expresa los flujos perpendiculares a la costa este (+u) y oeste (-u); mientras que el componente “v” evidencia los flujos paralelos a la costa norte (+v) y sur (-v).

3.5.5. Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)

En el contexto de una reunión técnica, se trataron temas relacionados a los antecedentes internacionales y nacionales de proyectos de arrecifes artificiales. Se realizó una presentación sobre los aspectos generales del proyecto de arrecifes artificiales del Imarpe, que incluyó la descripción detallada de cada una de sus fases. Dicha caracterización se fundamentó en las directrices nacionales para la construcción, la instalación, la implementación, la gestión y el monitoreo de los arrecifes artificiales en Perú.

Por otro lado, se estableció una mesa de diálogo para coordinar acciones conjuntas de cooperación científica, tecnológica y financiera con relación a proyectos de arrecifes artificiales. Se examinó también información sobre las características generales de la actividad pesquera, abarcando aspectos como los costos de operación e inversión, la distribución de ingresos económicos derivados de la pesquería, el comportamiento de la renta económica y la relación costo-beneficio. Es importante considerar que la actividad pesquera puede variar según las estaciones del año y que los niveles de ingresos económicos pueden fluctuar dependiendo de la función del pescador artesanal durante las faenas de pesca (Gobierno Regional de Tacna, 2014).

3.5.6. Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats

En el transcurso del taller de investigación, los especialistas compartieron sus presentaciones sobre las principales experiencias realizadas en torno a proyectos internacionales. Estas actividades permitieron proponer y seleccionar criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats marinos con potencial para

desarrollar proyectos de investigación vinculados a los arrecifes artificiales (Instituto del Mar del Perú, 2016).

3.5.7. Propuesta técnica de diseño y construcción de arrecifes artificiales

Como parte de los debates que se llevaron a cabo en el taller de evaluación, se procedió con la síntesis de la propuesta y el análisis de la información recopilada. Este proceso se efectuó a fin de contribuir a la implementación de la propuesta de arrecifes artificiales. Para ello, se apostó por la diversificación de diseños de estructuras, según los objetivos planteados, y por la ampliación de la gama de tecnologías disponibles para su construcción. De igual modo, se contempló e impulsó el fortalecimiento de las capacidades humanas y el desarrollo tecnológico para la implementación de nuevas propuestas (Instituto del Mar del Perú, 2019).

Resultó esencial, para este propósito, identificar los objetivos de creación de los arrecifes artificiales, acorde con las necesidades y problemáticas del sector pesquero artesanal del área de Meca-Lozas. Asimismo, el análisis de la información técnica permitió definir el diseño más apropiado, considerando el nivel de estabilidad de las estructuras en el ambiente, cuyo tiempo de vida útil no debía ser menor a 30 años (Instituto del Mar del Perú, 2019).

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan, de manera detallada, los resultados obtenidos tras la aplicación de los instrumentos para el análisis de las variables “estudio de línea base ambiental” y “propuesta de diseño y construcción de estructuras tecnológicas de arrecifes artificiales”.

4.1. Presentación de resultados por variables

A continuación, se expondrán los hallazgos surgidos del proceso de análisis de cada variable. Todos los gráficos, tablas y anexos son de propiedad del autor este trabajo.

4.1.1. Aspectos bioecológicos (biodiversidad)

4.1.1.1. Tipo de sustrato

En el borde costero del área de estudio, entre el supra, medio e infralitoral, se observaron playas rocosas intercaladas con pequeños tramos de guijarros y playas de arena. En el área submareal, los espacios arenosos predominaron por encima de los 10 m de profundidad, mientras que por debajo de 10 m se apreciaron plataformas con bloques rocosos y espacios de guijarros (ver Tabla 2).

TABLA 2

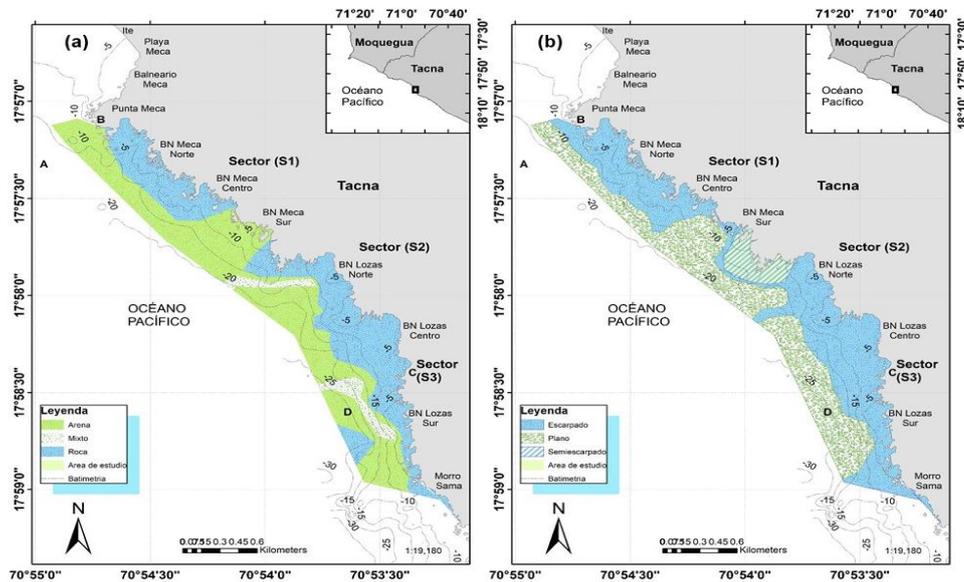
Descripción de los diez transectos muestreados en los tres sectores, con información de profundidad (A: >10 m, B: <10 m), composición y tipo de suelo en porcentaje (%), en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

Sector	Transecto	Ubicación	Profundidad	Composición
S1	T3	17°57'20,9" S 70°54'32,4" O	A	Arena compacta (50 %) y plataforma rocosa (50 %)
			B	Plataforma rocosa (70 %) y guijarro (30 %)
	T4	17°57'33,9" S 70°54'21,2" O	A	Arena compacta (70 %) y bloque rocoso (30 %)
			B	Plataforma rocosa (100 %)
	T5	17°57'41,5" S 70°54'10,5" O	A	Arena compacta (90 %) y conchuela (10 %)
			B	Arena compacta (90 %) y conchuela (10 %)
S2	T6	17°57'51,4" S 70°54'02,1" O	A	Arena compacta (50 %), plataforma rocosa (30 %) y bloque rocoso (20 %)
			B	Plataforma rocosa (100 %)
	T7	17°57'56,0" S 70°53'45,7" O	A	Arena compacta (50 %), plataforma rocosa (30 %) y conchuela (20 %)
			B	Plataforma rocosa (100 %)
	T8	17°58'09,5" S 70°53'44,3" O	A	Arena compacta (60 %) y plataforma rocosa (40 %)
			B	Plataforma rocosa (100 %)
T9	17°58'14,7" S 70°53'34,7" O	A	Plataforma rocosa (60 %), guijarro (20 %) y ripio (20 %)	
		B	Plataforma rocosa (70 %) y bloque rocoso (30 %)	
S3	T10	17°58'24,6" S 70°53'24,6" O	A	Arena compacta (50 %), plataforma rocosa (30 %) y conchuela (20 %)
			B	Plataforma rocosa (70 %) y bloque rocoso (30 %)
	T11	17°58'32,4" S 70°53'29,7" O	A	Bloque rocoso (60 %) y conchuela (40 %)
			B	Plataforma rocosa (100 %)
	T12	17°58'42,7" S 70°53'26,3" O	A	Plataforma rocosa (60 %), guijarro (20 %) y conchuela (20 %)
			B	Plataforma rocosa (60 %), guijarro (20 %) y conchuela (20 %)

La configuración del fondo presentó ciertas variaciones, de modo que se encontraron plataformas rocosas con relieve irregular a profundidades menores a los 10 m. Espacios de arena y conchuela (a) fueron predominantes en la zona norte del área de estudio (ver Figura 2).

FIGURA 2

Mapa de distribución: (a) tipo de sustrato y (b) configuración del fondo en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.1.2. Estimaciones de riqueza y determinación de los índices de diversidad

En la tabla 3, se da a conocer, por sectores, el número de individuos y especies observadas y estimadas (Chao 1 y 2, Jackknife 1 y 2). Además, se indican los números de especies únicas (taxa encontrados solo en una muestra), duplicadas (taxa registrados solo en dos muestras), singletons (taxa representados por un solo individuo) y doubletons (taxa representados por dos individuos). La interpretación del número de especies singletons, bajo el supuesto de que cuantas más especies raras existan, mayor será el número de especies que restan para ser muestreadas,

implica que en el sector S1 las comunidades pueden albergar una riqueza biológica superior.

Los taxa singletons y doubletons resultaron ser bajos en la mayoría de los sectores, lo que demuestra que, gracias al esfuerzo de muestreo, se fueron adicionando más individuos de especies raras, hasta alcanzar un punto casi constante. Por otro lado, si se toma en cuenta únicamente la presencia de las especies singletons, se infiere la existencia de hábitats altamente diversos en aquellos sectores donde la presencia de especies raras fue mayor.

TABLA 3

Número de individuos y especies observadas y estimadas por sectores (S1, S2 y S3) en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

Variables	S1	S2	S3
Individuos	3601	6033	698
Sp. observadas	84	103	113
Chao 1	119 ± 19,0	116 ± 8,5	123 ± 6,6
Chao 2	148 ± 33,0	122 ± 10,4	130 ± 8,4
Jackknife 1	115	124	140
Jackknife 2	137	133	146
% spp. inventariadas	57	77	77
Sp. únicas	22	9	5
Sp. duplicadas	31	21	27
Sp. singletons	29	6	7
Sp. doubletons	35	13	10

Este estudio, en el que se cuantificaron 186 cuadrantes-rélicas, registró un total de 151 taxa. El mayor número de taxa se presentó en ambientes donde la profundidad fue menor a 10 m, destacando los sectores S2 y S3. La riqueza de

especies se compuso sobre todo de anélidos en el sustrato blando y moluscos en el sustrato duro. Este último estaba claramente dominado por el mitílido *Semimytilus algosus* o “chorito”, sobre todo en los transectos del sector S2, y por algas calcáreas *Lithothamnion* sp. o “algas duras”, en el sector S3 (ver Tabla 4).

El porcentaje de sustrato cubierto por organismos varió de un sector a otro y de menor a mayor profundidad. Los organismos estructuradores con mayor cobertura se hallaron en el sector S2 (mitílidos) y S3 (cirrípedos y algas rodófitas) (ver Tabla 4 y Figura 3).

FIGURA 3

Semimytilus algosus (a) y *Austromegabalanus* sp. (b), principales estructuradores encontrados en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

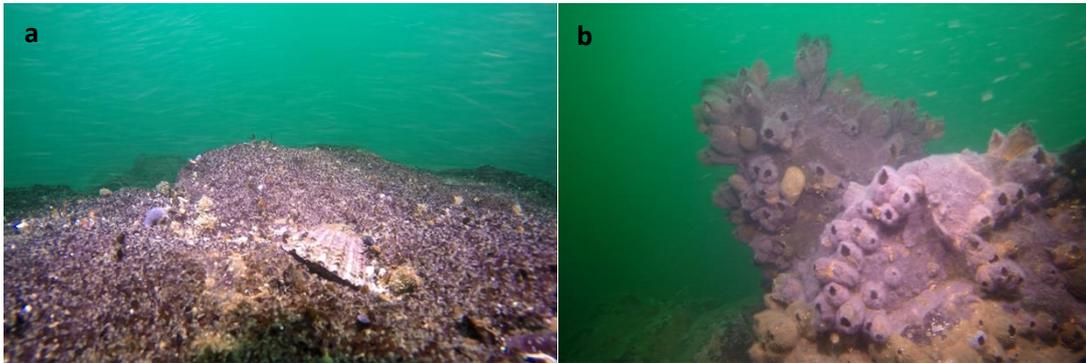


TABLA 4

Información de las comunidades en los diez transectos estudiados y distribuidos en los tres sectores del área de estudio, Meca-Lozas, en Tacna, 2017

SECTORES	S1				S2				S3				
	TRANSECTOS	T3	T4	T5	Total	T6	T7	T8	T9	Total	T10	T11	T12
Taxa/profundidad	43 (A) 32 (B)	44 (A) 50 (B)	13 (A) 6 (B)	66 (A) 58 (B)	52 (A) 45 (B)	58 (A) 24 (B)	51 (A) 49 (B)	56 (A) 49 (B)	95 (A) 74 (B)	55 (A) 66 (B)	60 (A) 37 (B)	61 (A) 32 (B)	95 (A) 74 (B)
Taxa/transecto	54	71	15	84	63	64	65	68	103	82	74	72	113
Total individuos	26 447	6432	33	9218	32 560	8208	13 643	5393	14 776	2866	400	493	1635
Porcentaje (%) de sustrato cubierto por organismos	37,6% (A) 33,5% (B)	5,2% (A) 47% (B)	11,6% (A) 5,6% (B)	-	53,5% (A) 51% (B)	20,6% (A) 58,6% (B)	36,3% (A) 70% (B)	83,8% (A) 73,3% (B)	-	63,3% (A) 59,1% (B)	60,8% (A) 55% (B)	47,6% (A) 46,3% (B)	-
Estructuradores más abundantes (comprenden más del 40% de la cobertura total)	-	<i>S. algosus</i> , <i>Ch. chorus</i> (B)	-	-	<i>S. algosus</i> (A) y (B)	<i>S. algosus</i> (A) y (B)	<i>S. algosus</i> (A) y (B)	<i>B. laevis</i> (A), <i>S. algosus</i> (B)	-	CR (B)	<i>B. laevis</i> (A)	<i>B. laevis</i> (A), CR (B)	-
Otros grupos más abundantes (comprenden más del 30% de la cobertura total)	Briozoo (B)	<i>Xanthochorus</i> sp. (B)	-	-	<i>Xanthochorus</i> sp. (A)	-	-	<i>P. chilensis</i> (A), <i>P. edwardsii</i> (B)	-	RC (A)	RC (A) Briozoo (B)	<i>Luidia</i> sp. (A), <i>T. atra</i> (B)	-

Nota. CR = Complejo rodófitas (*Rhodymenia* sp., *Corallina officinalis*, Rhodophyta), RC = Rodófitas calcáreas (*Lithothamnion* sp.),

S. algosus = *Semimytilus algosus*, *Ch. chorus* = *Choromytilus chorus*, *B. laevis* = *Balanus laevis*, *P. chilensis* = *Pyura chilensis*, *P.*

edwardsii = *Pagurus edwardsii*, *T. atra* = *Tegula atra*.

En la figura 4 se presenta la distribución de la riqueza de especies de la megafauna (a) y la macrofauna (b) obtenida en toda el área de estudio. Se muestran tres núcleos de mayor concentración de la megafauna, establecidos principalmente entre los sectores S2 y S3; así como dos núcleos de riqueza de la macrofauna, dispuestos en los sectores S1 y S3. La mayor concentración y distribución de estructuradores (comedura), como el *Semimytilus algosus* o “chorito” y el *Balanus laevis* o “picacho”, se observó entre los sectores S2 y S3 (ver Figura 5).

FIGURA 4

Mapa de distribución: (a) Riqueza de la megafauna y (b) Riqueza de la macrofauna en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

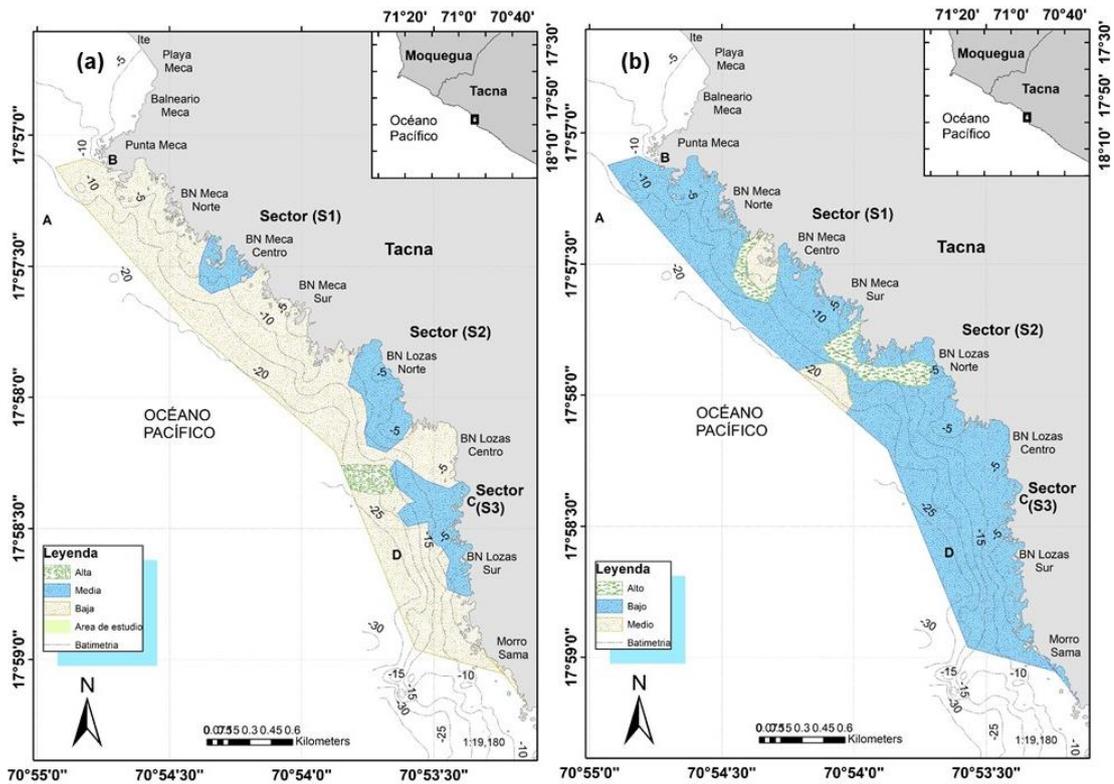
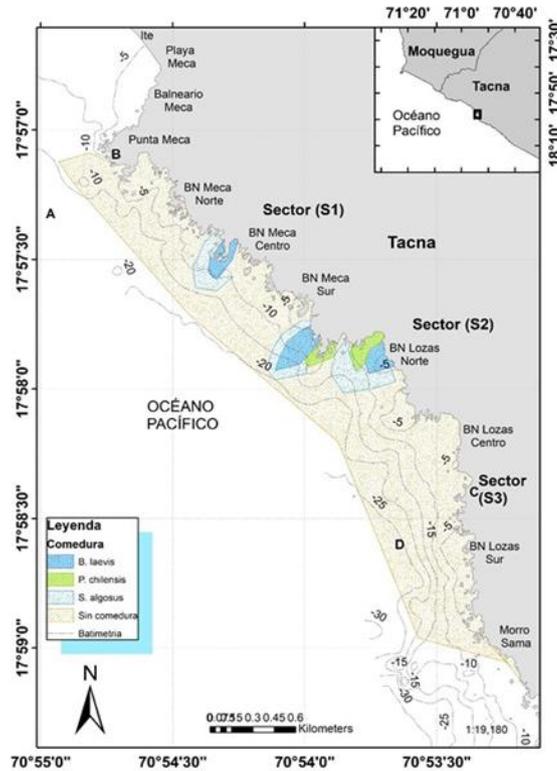


FIGURA 5

Mapa de distribución de los principales estructuradores (comedura) de organismos bentónicos en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.1.3. Análisis estadístico

El estudio aplicó el análisis PERMANOVA a la comunidad bentónica, haciendo uso de la matriz de abundancia y biomasa. Los resultados denotaron diferencias significativas (p -valor: $<0,05$) y manifestaron variaciones apreciables en la mayoría de las escalas espaciales comparadas. De acuerdo con los hallazgos del PERMANOVA, se detectaron diferencias considerables entre el sector y la profundidad (ver Tabla 5).

La técnica de ordenación multivariada (nMDS), por su parte, ratificó las diferencias entre sectores y entre profundidades. Asimismo, mediante la matriz de abundancia de la comunidad bentónica, las estaciones de S1 (representadas por

círculos sin relleno) se encontraron dispersas respecto a las estaciones de S2 y S3 (representadas por cuadrados y triángulos). Al efectuar una comparación entre los sectores y profundidades, utilizando la matriz de abundancia de la comunidad de poliquetos, se observó la misma tendencia (ver Figura 6).

Las ordenaciones multivariadas de las estaciones de muestreo por profundidad, respecto a la comunidad bentónica y de poliquetos, también evidenciaron diferencias. Las muestras menores a 10 m tienden a distanciarse de las mayores a 10 m, sobre todo en S1 y S3 (ver Figura 7).

TABLA 5

PERMANOVA en base a las disimilitudes de Bray-Curtis de los datos univariados y multivariados sobre la matriz de abundancia y biomasa. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

	Fuente	Pseudo-F	P(perm)		Fuente	Pseudo-F	P(perm)
ANÁLISIS DE ABUNDANCIA							
ANOVA Riqueza de especies	Sec	1,372	0,2545	ANOVA Diversidad de Shannon	Sec	3,958	0,0329
	Pr	2,347	0,1305		Pr	4,285	0,0597
	Est(Sec)	3,135	0,0007		Est(Sec)	3,420	0,0001
	SecxPr	3,388	0,0434		SecxPr	0,884	0,4629
	Est(Sec)xPr	0,913	0,5330		Est(Sec)xPr	2,903	0,0011
ANOVA Abundancia total	Sec	4,467	0,0037	PERMANOVA Comunidad bentónica	Sec	3,651	0,0014
	Pr	6,018	0,0050		Pr	4,082	0,0058
	Est(Sec)	2,628	0,0001		Est(Sec)	1,958	0,0001
	SecxPr	1,700	0,1188		SecxPr	1,816	0,0393
	Est(Sec)xPr	1,399	0,0826		Est(Sec)xPr	1,563	0,0003
ANÁLISIS DE BIOMASA							
ANOVA Riqueza de especies	Sec	1.507	0,2086	ANOVA Diversidad de Shannon	Sec	0,903	0,4813
	Pr	1.898	0,1852		Pr	0,267	0,8057
	Est(Sec)	3.447	0,0010		Est(Sec)	1.549	0,1071
	SecxPr	2.946	0,0674		SecxPr	0,703	0,6119

	Est(Sec)xPr	0,969	0,4771		Est(Sec)xPr	1.320	0,2080
ANOVA Biomasa total	Sec	2.329	0,0861	PERMANOVA Comunidad bentónica	Sec	2.802	0,0050
	Pr	11.329	0,0011		Pr	3.893	0,0047
	Est(Sec)	1.605	0,0282		Est(Sec)	1.794	0,0001
	SecxPr	1.659	0,1772		SecxPr	1.745	0,0480
	Est(Sec)xPr	0,949	0,5521		Est(Sec)xPr	1.464	0,0002

Nota. Los códigos representan al sector (Sec), profundidad (Pr) y estación (Est). Se realizaron pruebas con 10 000 permutaciones y se mostraron las diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en negritas

FIGURA 6

Ordenaciones multivariadas (nMDS) de las estaciones por sectores en el área de estudio, usando (a) la matriz de datos de abundancia de la comunidad total y (b) la matriz de datos de abundancia de poliquetos. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

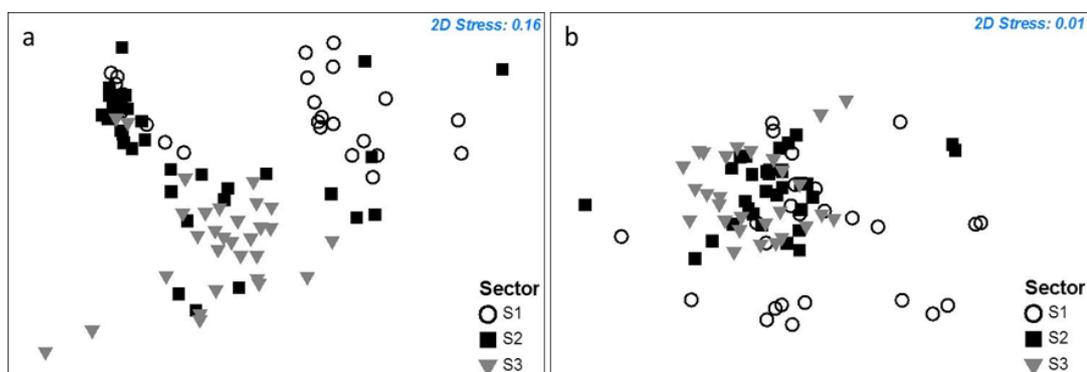
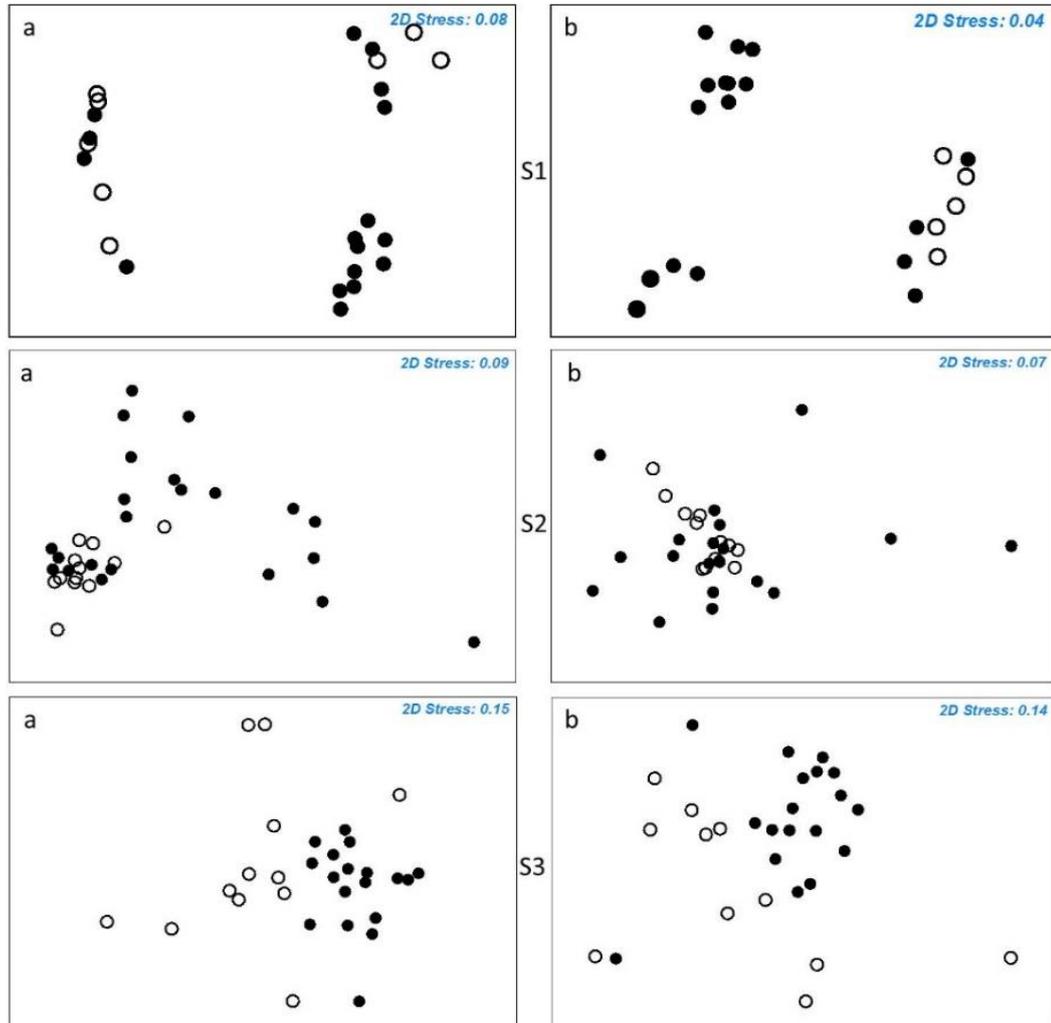


FIGURA 7

Ordenaciones multivariadas (nMDS) de las muestras por profundidad (círculos negros: >10 m, círculos blancos: <10 m) y por sector (S1, S2 y S3) en el área de estudio, usando (a) la matriz de datos de abundancia de la comunidad total y (b) la matriz de datos de abundancia de poliquetos. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.1.4. Relación entre los parámetros bióticos y abióticos

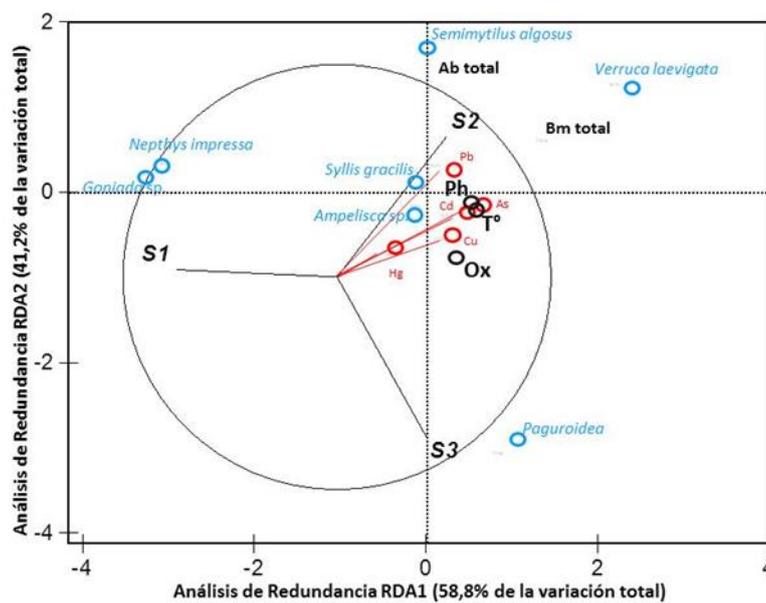
El análisis de redundancia basado en las distancias (dbRDA) permitió describir las relaciones entre los parámetros abióticos —como la temperatura (T°), el oxígeno (O), la concentración de hidrógeno (pH), las concentraciones de

mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd) y cobre (Cu)— y los parámetros bióticos —como la biomasa total (Bm total), la abundancia total (Ab total) y las abundancias promedio de los organismos más representativos de la comunidad bentónica—. Dichos parámetros demostraron una correlación y significancia estadística alta (F-ratio = 3,211; p = 0,061) y un porcentaje de variación del 58,8% (en el eje 1) y del 41,2% (en el eje 2).

En el cuadrante correspondiente a la parte positiva del eje 1 y negativa del eje 2, se evidenció una fuerte relación entre la concentración de Cd, Cu y As con especies del grupo Paguroidea y las variables de T°, O y pH, próximas al sector S3 (al sur del área de estudio). Por otro lado, en la parte positiva de ambos ejes, se detectó que la abundancia promedio de *Semimytilus algosus* o “chorito” y *Verruca laevigata* o “picacho” exhibió una correlación significativa con la abundancia total, la biomasa total y la concentración de Pb, cercanas al sector S2 (al centro del área de estudio) (ver Figura 8).

FIGURA 8

Diagrama de ordenación del análisis de redundancia (RDA) entre las abundancias de la comunidad bentónica de los sectores S1, S2 y S3 con los parámetros abióticos (T° : temperatura, O: oxígeno, pH: concentración de hidrógeno, Hg: mercurio, As: arsénico, Pb: plomo, Cu: cobre, Cd: cadmio) y los parámetros bióticos (Ab: abundancia total, Bm: biomasa total y organismos representativos como *Semimytilus algosus*, *Syllis gracilis*, *Nephtys impressa*, *Goniada sp.*, *Verruca laevigata*, *Ampelisca sp.*, *Paguroidea*). Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



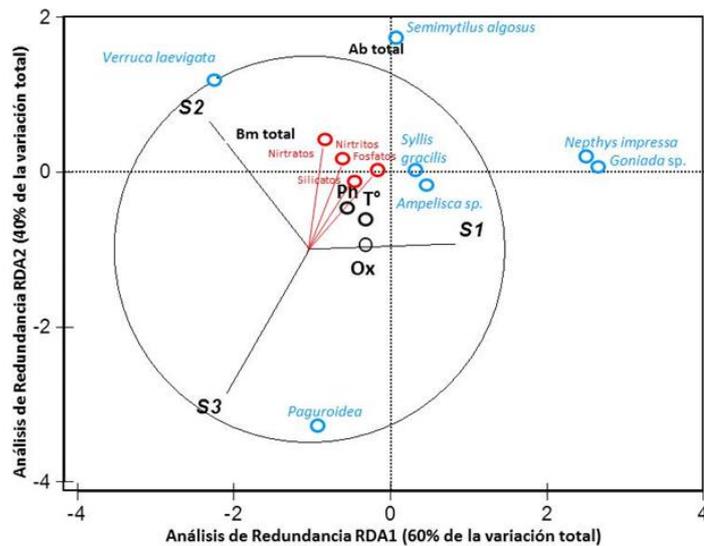
La aplicación del mismo análisis, esta vez incluyendo las concentraciones de nitratos, nitritos, silicatos y fosfatos, presentó una correlación y significancia estadística alta ($F\text{-ratio} = 3,564$; $p = 0,057$), con un porcentaje de variación del 60 % en el eje 1 y del 40 % en el eje 2.

En el cuadrante correspondiente a la parte negativa del eje 1 y positiva del eje 2, se manifestó una fuerte relación entre la concentración de nitratos, nitritos y fosfatos con *Verruca laevigata* o “picacho” y la abundancia y la biomasa total, próximas al sector S2. Por otro lado, en la parte negativa de ambos ejes, se observó

que la abundancia promedio del grupo Paguroidea mantenía una correlación significativa con los valores de T°, O y pH, cercanas al sector S3 (ver Figura 9).

FIGURA 9

Diagrama de ordenación del análisis de redundancia (RDA) entre las abundancias de la comunidad bentónica de los sectores S1, S2 y S3 con los parámetros abióticos (T°: temperatura, O: oxígeno, pH: concentración de hidrógeno, nitratos, nitritos, silicatos y fosfatos) y los parámetros bióticos (Ab: abundancia total, Bm: biomasa total y organismos representativos como *Semimytilus algosus*, *Syllis gracilis*, *Nephtys impressa*, *Goniada sp.*, *Verruca laevigata*, *Ampelisca sp.*, *Paguroidea*). Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.2. Aspectos bioecológicos (recursos de importancia comercial)

4.1.2.1. Distribución y abundancia de especies principales

a. *Concholepas concholepas* o “chanque”

Fue detectado en el 50 % de las estaciones de muestreo, distribuyéndose hasta los 15 m de profundidad aproximadamente, asociada principalmente a mantos de *Semimytilus algosus* o “chorito”. Las mayores concentraciones se registraron en el

sector S3 y la densidad osciló entre 0 y 6,5 individuos por metro cuadrado (ind./m²) (ver Figuras 10 y 11).

b. Thaisella chocolata o “caracol”

Presentó una distribución más amplia, con densidades que fluctuaron entre 0 y 6,2 ind./m². Se encontró principalmente asociado a roqueríos blancos, en los que también se observó la presencia de *Lessonia trabeculata* o “aracanto” (ver Figura 11).

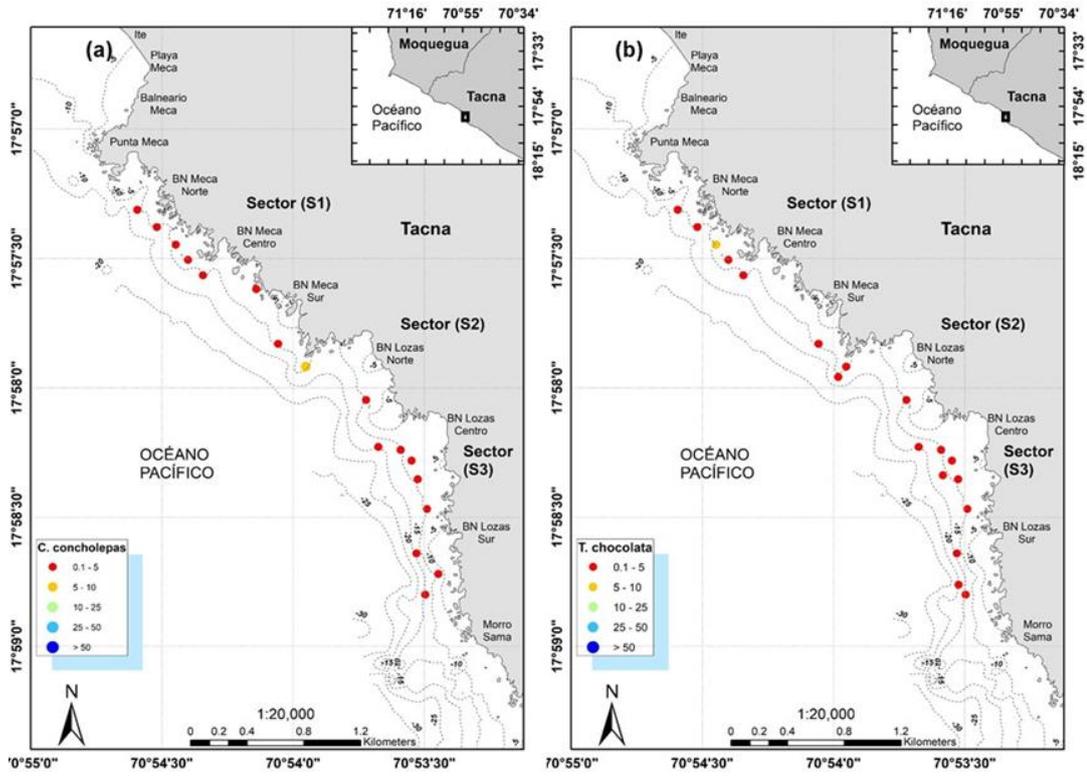
FIGURA 10

Principales especies registradas en el estudio de línea base ambiental en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



FIGURA 11

Distribución y abundancia relativa (ind./m²) de (a) *Concholepas concholepas* o “chanque” y (b) *Thaisella chocolata* o “caracol”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



c. *Fissurella* spp. o “lapas”

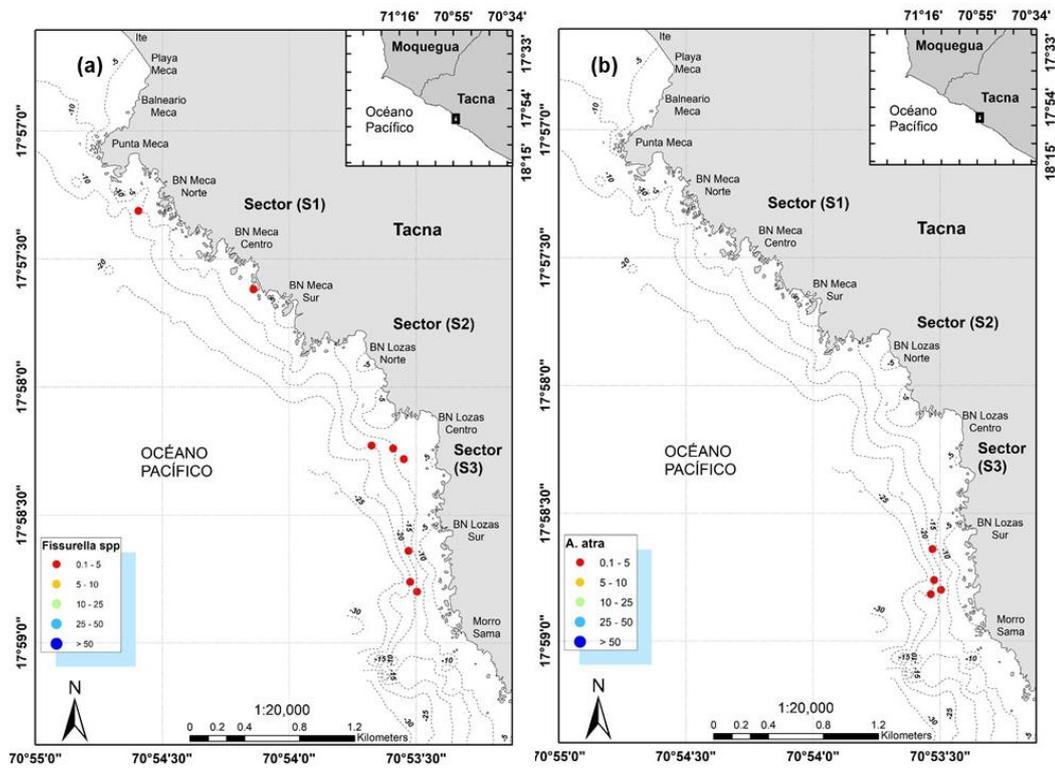
Se registró la presencia de varias especies del género *Fissurella*, comúnmente conocidas como “lapas”, entre las cuales se incluyen *F. latimarginata*, *F. cumingi*, *F. maxima*, *F. bridgesii* y *F. limbata*. Estas se distribuyeron de manera muy dispersa, con densidades inferiores a 2 ind./m², y se encuentran asociadas sobre todo a roqueríos blancos (ver Figura 12).

d. *Aulacomya atra* o “choro”

Presentó una distribución dispersa y restringida al sur de la zona de estudio a profundidades mayores a 10 m. Las densidades observadas no superaron los 5 ind./m², y se notaron pequeños parches y ejemplares dispersos (ver Figura 12).

FIGURA 12

Distribución y abundancia relativa (ind./m²) de (a) *Fissurella* spp. O “lapas” y (b) *Aulacomya atra* o “choro”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



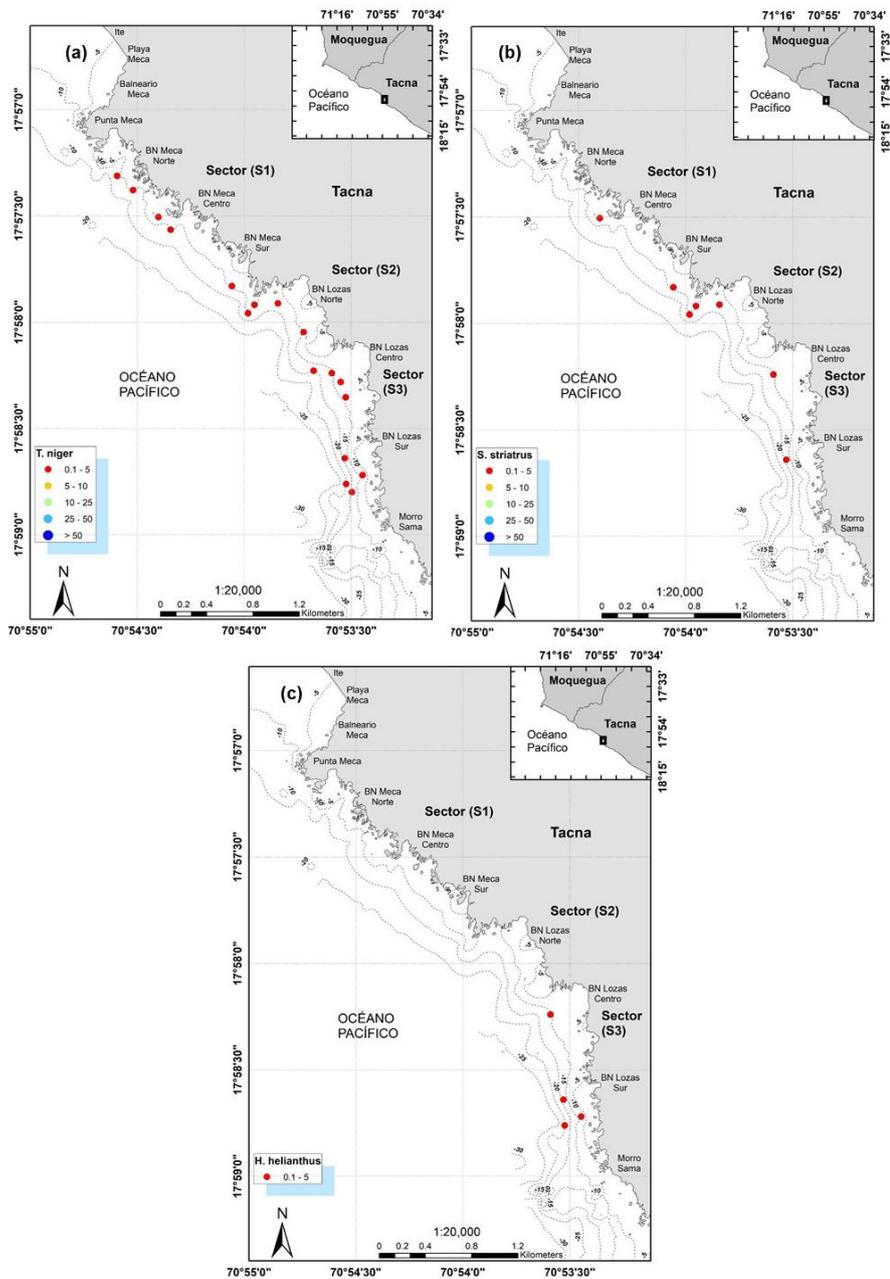
e. Otros invertebrados

Se identificó una amplia distribución de *Tetrapygyus niger* o “erizo negro” en toda el área de estudio; mientras que los individuos de *Stichaster striatus* o “estrella de mar” se ubicaron con mayor incidencia en la parte central del área. Asimismo, la distribución de *Heliaster helianthus* o “sol de mar” estuvo

restringida a la zona sur del área de estudio. Las densidades de estas especies fueron menores a 2 ind./m² (ver Figura 13).

FIGURA 13

Distribución y abundancia relativa (ind./m²) de (a) *Tetrapygyus niger* o “erizo negro”, (b) *Stichaster striatus* o “estrella de mar” y (c) *Heliaster helianthus* o “sol de mar”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



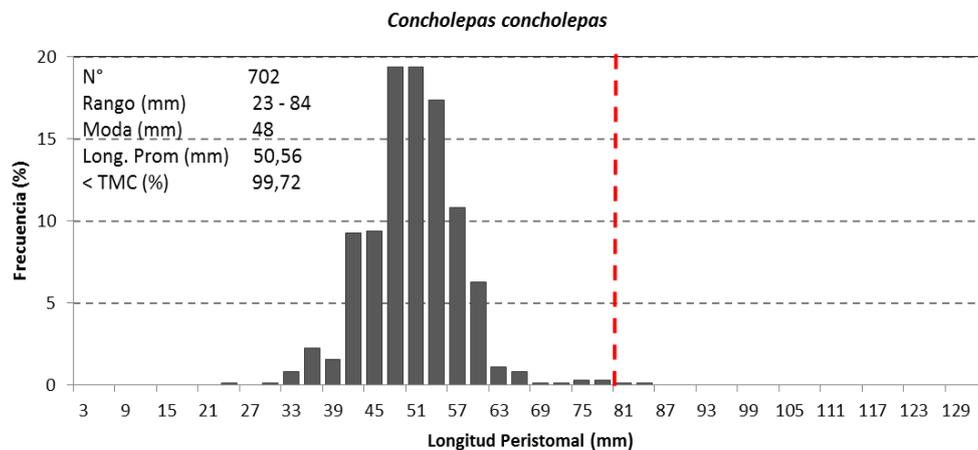
4.1.2.2. Aspectos biométricos y biológicos

a. *Concholepas concholepas* o “chanque”

Esta especie exhibió un rango de tallas comprendido entre 23 y 84 mm de longitud peristomal (LP), así como una moda principal de 48 mm y secundaria de 36 mm. La población estuvo conformada en su mayoría por ejemplares menores a la talla mínima de extracción (TMC = 80 mm) (ver Figura 14). Los ejemplares de menor talla se localizaron en los sectores S1 y S2 del área de estudio (ver Figura 16).

FIGURA 14

Estructura de tallas de Concholepas concholepas o “chanque”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



b. *Thaisella chocolata* o “caracol”

Esta especie mostró un rango de tallas de entre 22 y 75 mm de longitud peristomal, y una moda principal de 43 mm. Se constató que más del 95 % de los ejemplares eran menores a la talla mínima de extracción (60 mm) (ver Figura

15). Los ejemplares de mayor talla se ubicaron entre el sector S2 y S3 del área de estudio (ver Figura 16).

FIGURA 15

Estructura de tallas de Thaisella chocolata o “caracol”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

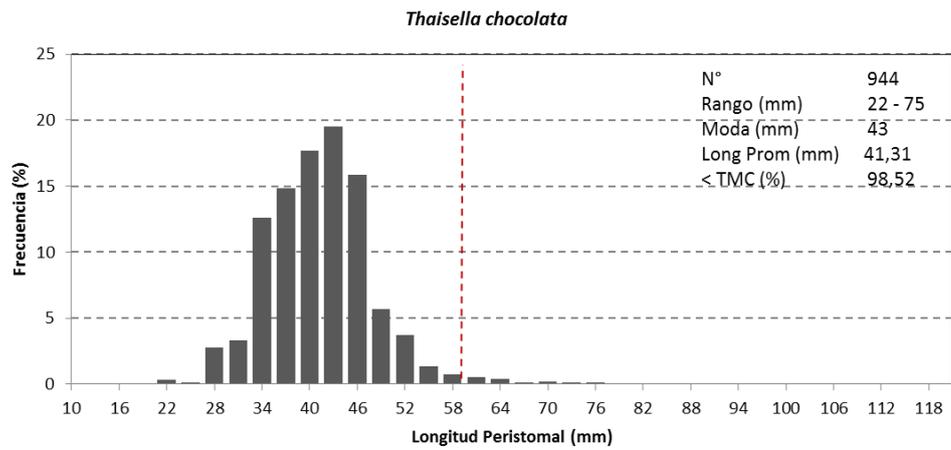
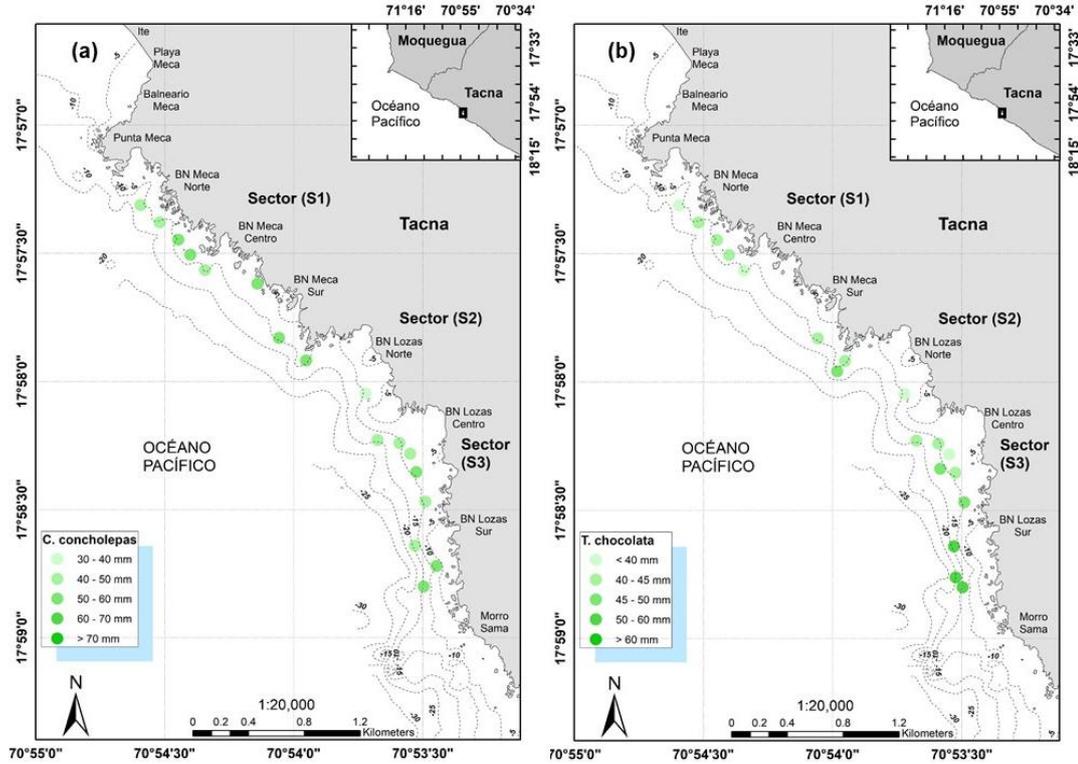


FIGURA 16

Longitud promedio de (a) *Concholepas concholepas* y (b) *Thaisella chocolata*.
Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

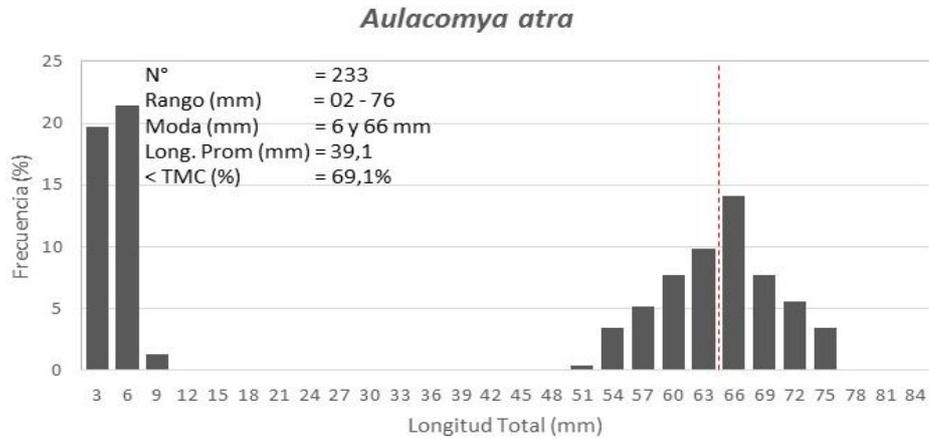


c. *Aulacomya atra* o “choro”

El rango de tallas varió entre 2 y 76 mm de longitud total. La distribución de tallas fue bimodal, registrando la presencia de ejemplares recién asentados con moda en 6 mm y de adultos con moda en 66 mm (ver Figura 17).

FIGURA 17

Estructura de tallas de Aulacomya atra o “choro”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



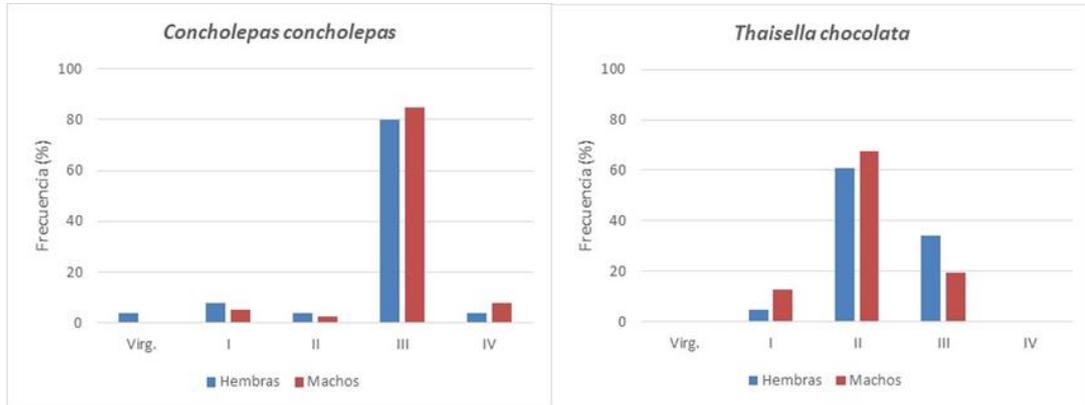
d. Otros invertebrados

Se detectó la presencia de otras especies de interés comercial, como *Fissurella* spp. o “lapas”, con un rango de tallas entre 33 y 57 mm; así como algunos ejemplares de *Romaleon polyodon* o “cangrejo peludo”, con tallas entre 56 y 133 mm de longitud cefalotorácica. Por otra parte, el rango de tallas del *Tetrapigus niger* o “erizo negro” osciló entre 41 y 77 mm de diámetro de la testa.

En cuanto al comportamiento reproductivo, se determinó que el *Concholepas concholepas* o “chanque” se encontraba en un estado de máxima madurez, tanto en machos como en hembras, con un índice gonadosomático calculado de 7,8. Asimismo, el *Thaisella chocolata* o “caracol” registró una mayor incidencia de ejemplares en estadio II (madurez) y estadio III (máxima madurez), con un IGS de 6,0 (ver Figura 18).

FIGURA 18

Madurez gonadal del recurso Concholepas concholepas o “chanque” y Thaisella chocolata o “caracol”. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.3. Aspectos ambientales (calidad ambiental)

4.1.3.1. Parámetros químicos de calidad ambiental

a. Sólidos suspendidos totales (SST)

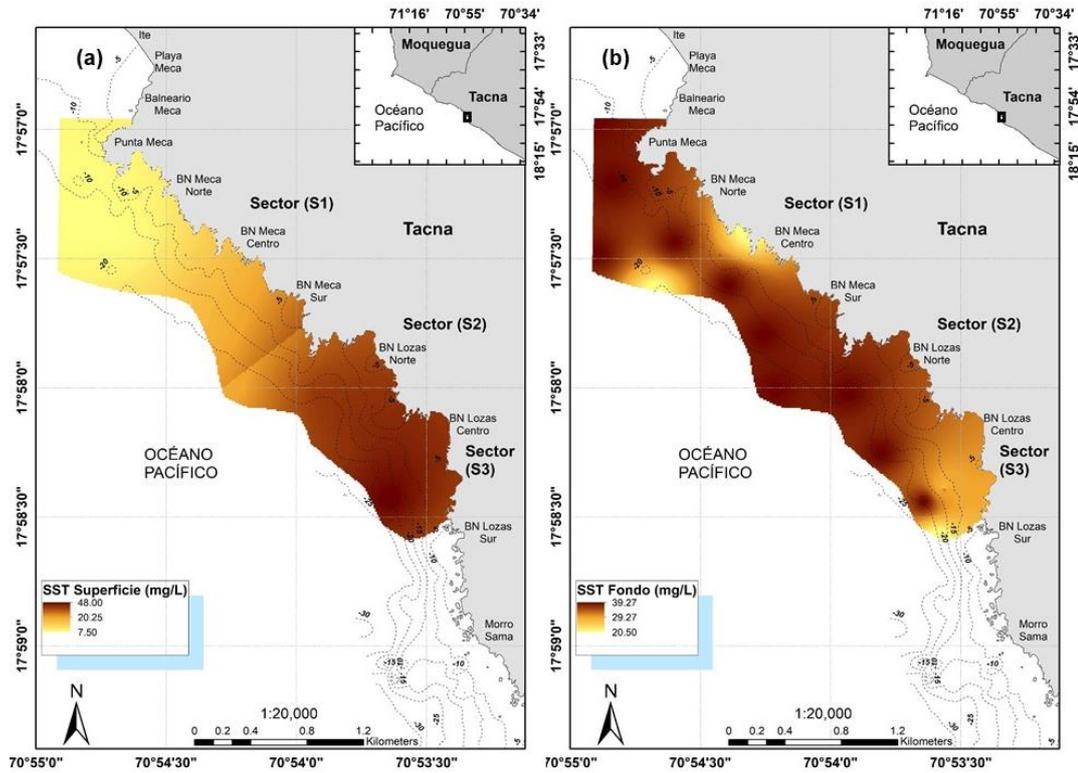
En columna de agua de mar: Los SST, a nivel de agua superficial, variaron de 7,50 a 48,00 mg/L. El mayor valor se registró entre el banco natural (BN) centro y sur de Lozas (sector S3). Estos valores no superaron los límites estipulados por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua en su categoría 2 (60,0 mg/L). Los SST, a nivel de agua de fondo, fluctuaron entre 20,50 y 39,50 mg/L (ver Figura 19). El máximo valor se detectó frente al BN sur de Meca (sector S2), probablemente debido a la circulación de corrientes provenientes del sur, que arrastraron los SST vertidos desde el desembarcadero Puerto Grau en Morro Sama (ver Figura 19).

Por línea de playa (agua): Los SST variaron de 9,50 a 21,36 mg/L. El mayor valor se encontró frente al BN centro de Meca (sector S1) y el menor valor, frente al BN sur de Lozas (sector S3). En los dos puntos de muestreo, los

valores no superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2 (60,0 mg/L).

FIGURA 19

Concentración de (a) sólidos suspendidos totales en agua superficial y (b) sólidos suspendidos totales en agua de fondo. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



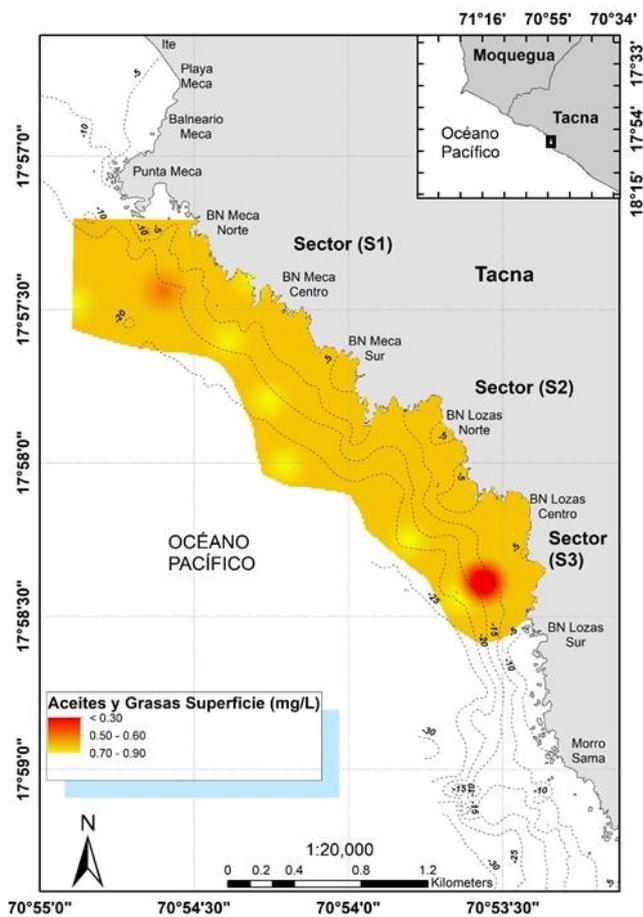
b. Aceites y grasas (A y G)

La concentración de A y G, a nivel de agua superficial, varió de <0,30 a 0,90 mg/L. El mayor valor se halló entre los BN centro y sur de Lozas (S3). Estos valores no superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2 (2,00 mg/L) (ver Figura 20).

Por línea de playa (agua): Los valores registrados en la orilla fueron menores al límite de detección (<0,30 mg/L). Asimismo, no superaron los límites de los ECA para agua en su categoría 2 (2,00 mg/L).

FIGURA 20

Concentración de aceites y grasas en agua superficial de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



c. Hidrocarburos disueltos/dispersos aromáticos totales (HCP)

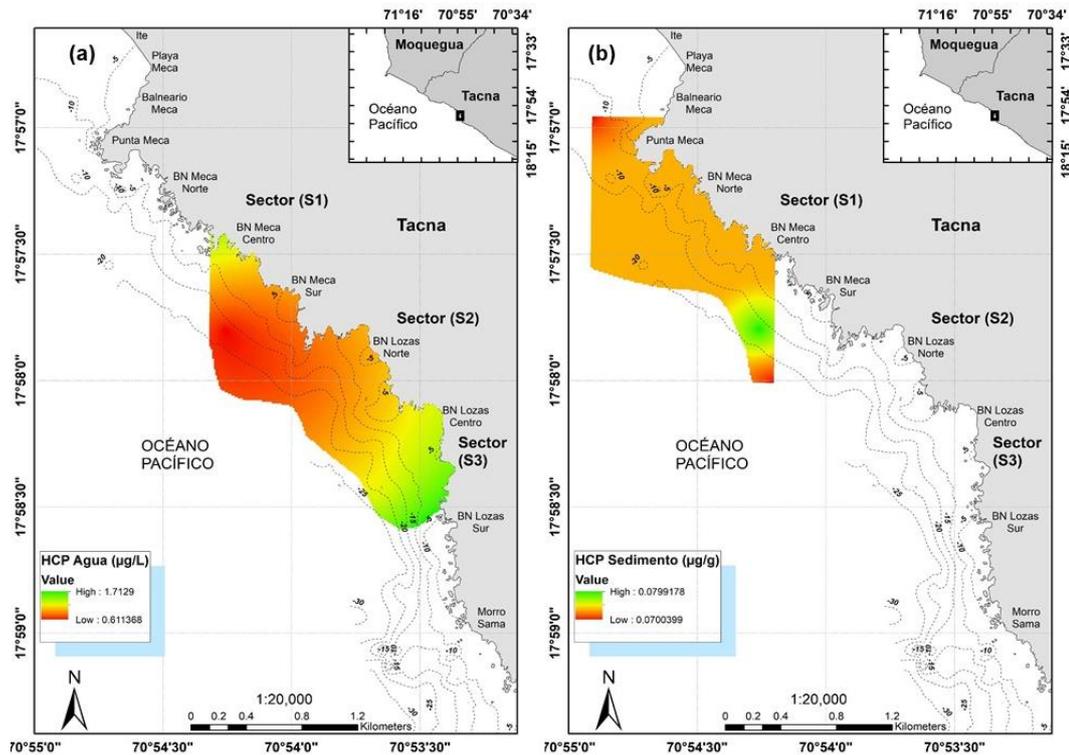
Los valores de los HCP, a nivel de agua superficial, oscilaron entre 0,6100 y 1,2200 $\mu\text{g/L}$; mientras que, en sedimento marino, fluctuaron entre 0,0700 y 0,0800 $\mu\text{g/g}$. Estos resultados, comparados con los límites de los ECA ya

mencionados, no superaron el límite (7,0000 $\mu\text{g/L}$). Los valores de HCP, obtenidos en sedimento marino, variaron de 0,07 a 0,08 $\mu\text{g/g}$ (ver Figura 21).

Por línea de playa (agua): Los valores de HCP oscilaron entre 1,43 $\mu\text{g/L}$ frente al BN centro de Meca (S1) y 2,40 $\mu\text{g/L}$ frente al BN sur de Lozas (S3). En ambos casos, los valores no superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2.

FIGURA 21

Concentración de (a) hidrocarburos aromáticos totales en agua superficial de mar y (b) hidrocarburos aromáticos totales en sedimento. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



d. Sulfuro de hidrógeno

A nivel del agua superficial y por la orilla de la playa, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno fueron menores al límite de detección (<0,01 mg/L), situándose así por debajo del límite de los ECA para agua en su categoría 2 (0,05 mg/L).

e. Metales pesados

La tabla 6 muestra las estaciones de muestreo colectadas con metales traza considerados tóxicos.

TABLA 6*Trazas de metales en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017*

Estación	Mercurio (µg/L)	Plomo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Cinc (mg/L)	Selenio (mg/L)	Antimonio (mg/L)
1	0,56	0,0005	0,0010	0,0028	0,0016	<0.07	<0.0005	0,018	<0.001	0,0004
2	0,46	0,0003	0,0010	0,0027	0,0015	<0.07	0,0007	0,022	<0.001	0,0004
3	0,11	0,0003	0,0011	0,0032	<0.0005	<0.07	<0.0005	0,012	0,016	0,0004
4	<0.10	0,0001	<0.0005	0,0038	<0.0005	<0.07	<0.0005	0,013	0,013	0,0001
5	0,35	0,0005	0,0012	0,0042	<0.0005	<0.07	0,0007	0,012	0,014	0,0004
6	0,12	0,0003	0,0011	0,0043	<0.0005	<0.07	0,0007	0,020	0,016	0,0004
7	0,10	0,0003	0,0011	0,0040	0,0008	<0.07	0,0006	0,020	<0.001	0,0003
8	0,12	0,0006	0,0010	0,0038	0,0013	<0.07	0,0008	0,025	<0.001	0,0003
9	0,17	0,0001	0,0009	0,0040	0,0015	<0.07	<0.0005	0,015	<0.001	0,0004
10	<0.10	<0.0001	0,0012	0,0040	0,0017	<0.07	0,0007	0,011	<0.001	0,0004
11	0,25	0,0002	0,0009	0,0042	0,0016	<0.07	0,0057	0,010	<0.001	0,0004
Promedio	-	-	-	0,0037	-	-	-	0,016	-	0,0004
Mínimo	<0.10	<0.0001	<0.0005	0,0027	<0.0005	<0.07	<0.0005	0,010	<0.001	0,0001
Máximo	0,56	0,0006	0,0012	0,0043	0,0017	-	0,0057	0,025	0,016	0,0004

- **Mercurio**

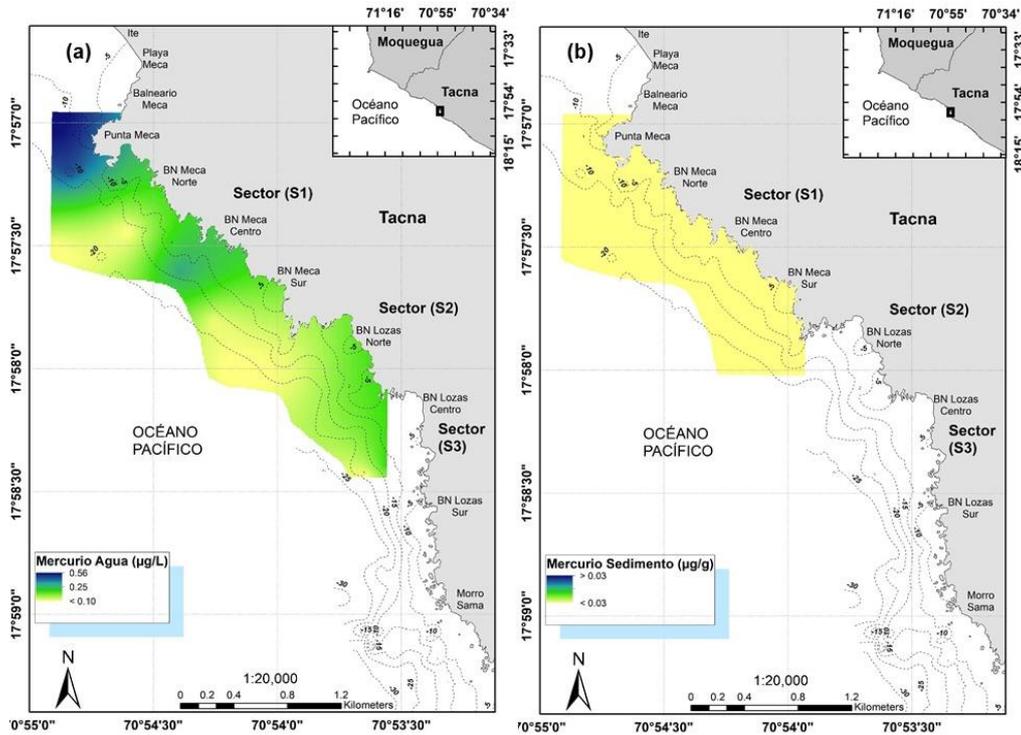
Los valores de mercurio a nivel del agua superficial variaron de <0,10 a 0,56 µg/L. Se observa que más del 70 % de estos registros superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2 (0,10 µg/L = 0,0001 mg/L). Los valores más altos se detectaron entre el balneario Meca y Punta Meca (al norte del sector S1). Los valores más bajos se encontraron frente al BN sur de Lozas (S3) (ver Figura 22).

Los valores de mercurio en sedimento marino estuvieron por debajo del límite de detección (<0,03 µg/g). Todos los valores registrados no superaron el rango establecido como concentración natural (0,13 µg/g), según la tabla de protección costera de los Estados Unidos (Long *et al.*, 1995) (ver Figura 22).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de mercurio, por orilla de playa, variaron de 0,0067 a 0,0204 µg/L, encontrándose por debajo del límite de los ECA para agua en su categoría 2.

FIGURA 22

Distribución de la concentración de (a) mercurio en agua de mar y (b) mercurio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Plomo**

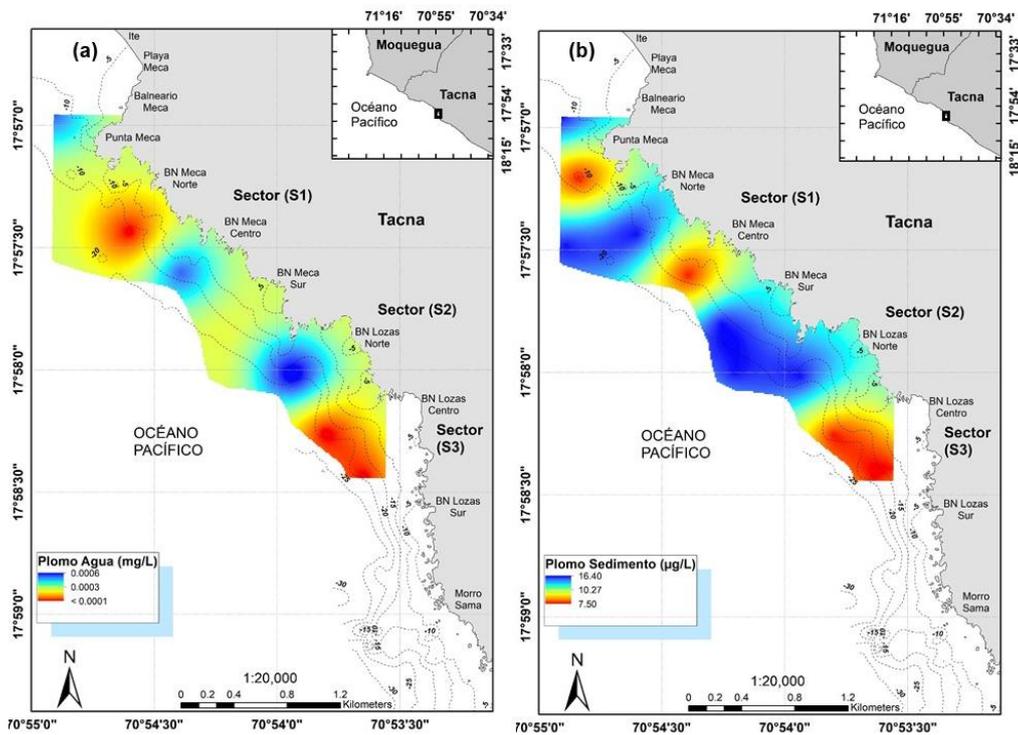
Los valores de plomo a nivel de agua superficial variaron de $<0,0001$ a $0,0006$ mg/L. El mayor valor se registró frente al BN norte de Lozas (S2); mientras que el menor valor, entre el BN centro y sur de Lozas (S3). Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, ninguno de los valores superó el límite ($0,0081$ mg/L) (ver Figura 23).

Los valores de plomo en sedimento marino variaron de $7,50$ a $16,40$ $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Meca (S1); mientras que el menor valor, entre el BN centro y sur de Lozas (S3) (ver Figura 23).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de plomo, por orilla de playa, fueron menores al límite de detección (<0,0001 mg/L), de acuerdo a los ECA para agua en su categoría 2.

FIGURA 23

Distribución de la concentración de (a) plomo en agua de mar y (b) plomo en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



• Cadmio

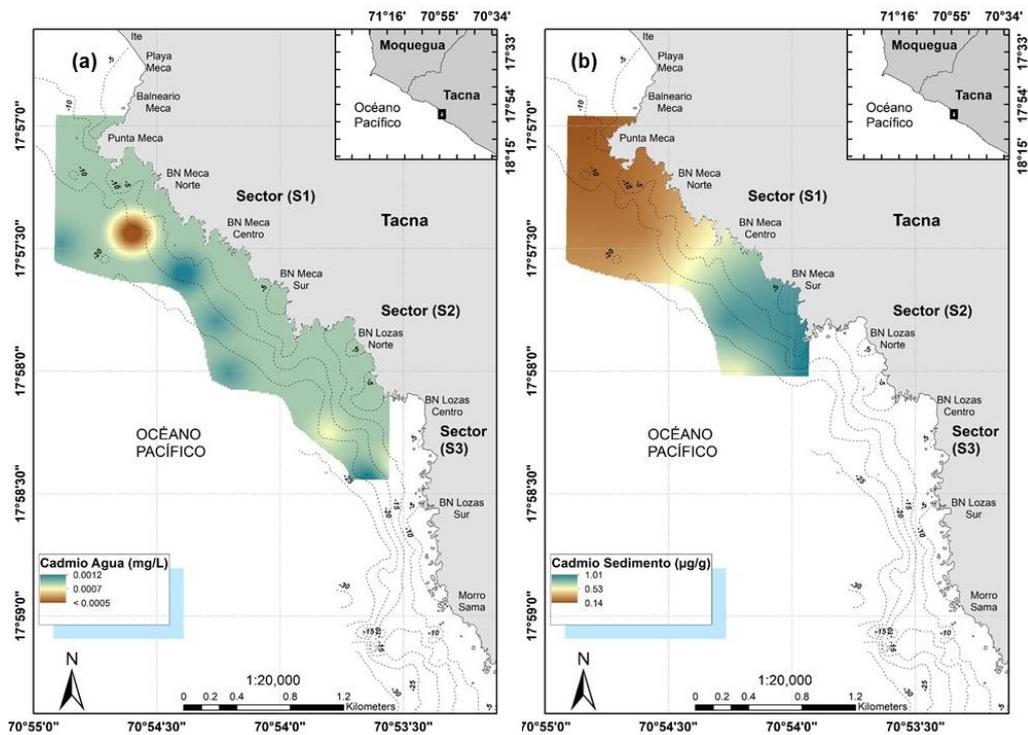
Los valores de cadmio a nivel de agua superficial variaron de <0,0005 a 0,0012 mg/L. Los mayores valores se registraron frente al BN centro de Meca (S1) y el BN sur de Lozas (S3); mientras que el menor valor, frente al BN norte de Meca (S1). Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, todos los valores estuvieron por debajo del límite (0,01 mg/L) (ver Figura 24).

Los valores de cadmio en sedimento marino variaron de 0,14 a 1,01 $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Lozas (S2); mientras que el menor valor, entre el balneario Meca y el BN norte de Meca (S1) (ver Figura 24).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de cadmio variaron de $<0,0005$ a $0,00100$ mg/L. Los valores más altos se encontraron entre el BN centro y sur de Lozas (S3).

FIGURA 24

Distribución de la concentración de (a) cadmio en agua de mar y (b) cadmio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Arsénico**

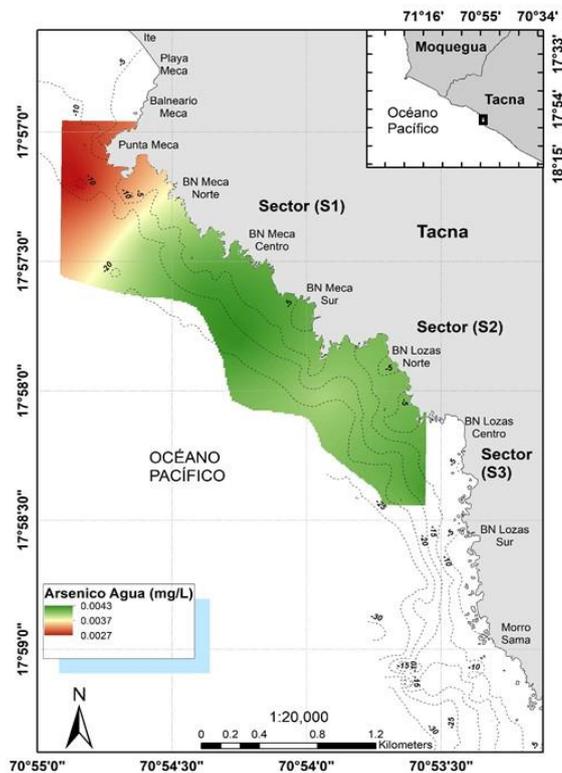
Los valores de arsénico a nivel de agua superficial variaron de 0,0027 a 0,0043 mg/L. Los valores relativamente altos se registraron entre el BN norte y sur de

Meca (S1 y S2); mientras que los valores más bajos, frente a Punta Meca. Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, todos los valores estuvieron por debajo del límite (0,05 mg/L) (ver Figura 25).

Los valores de arsénico en sedimento marino variaron de 2,30 a 4,50 $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó valor frente al BN norte de Lozas (S2).

FIGURA 25

Distribución de la concentración de arsénico en agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Cobre**

Los valores de cobre a nivel de agua superficial variaron de $<0,0005$ a $0,0017$ mg/L. El máximo valor se registró frente al BN sur de Lozas (S3); mientras que los menores valores, frente al BN centro y sur de Meca (S1 y S2,

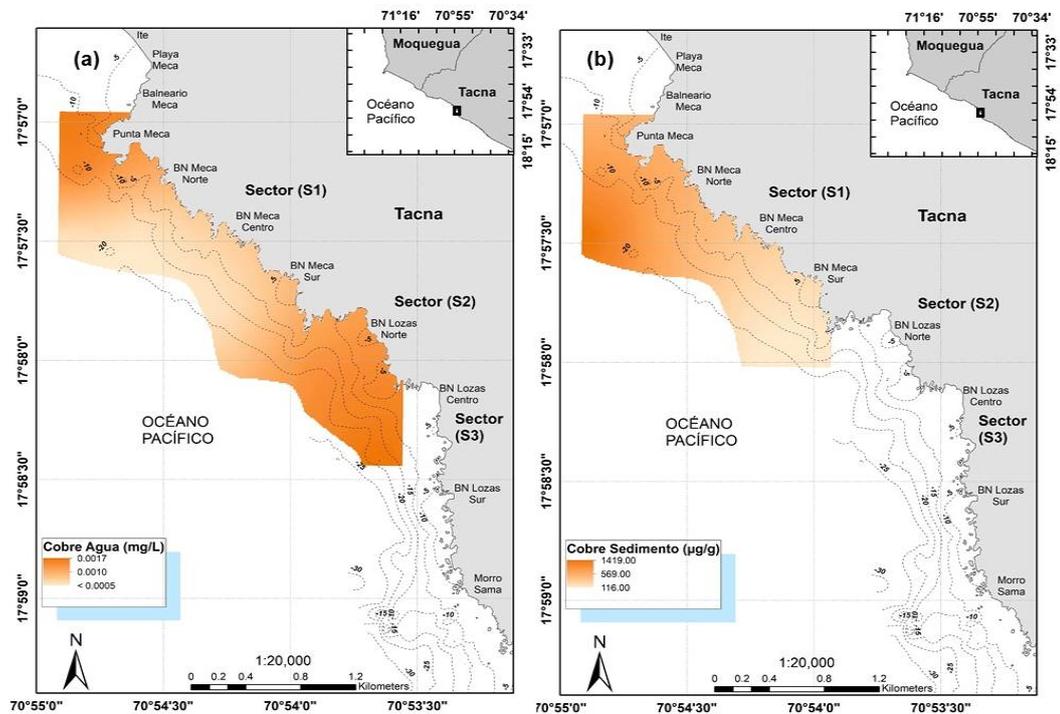
respectivamente). Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, ningún valor superó el límite (0,0500 mg/L) (ver Figura 26).

Los valores de cobre en sedimento marino variaron de 116 a 1419 $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Meca (S1); mientras que el menor valor, frente al BN norte de Lozas (S2) (ver Figura 26).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de cobre, por orilla de playa, variaron de 0,0010 a 0,0014 mg/L. El mayor valor se encontró frente al BN centro de Meca (S1). Asimismo, los valores hallados no superaron el límite de los ECA para agua (0,0500 mg/L).

FIGURA 26

Distribución de la concentración de (a) cobre en agua de mar y (b) cobre en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

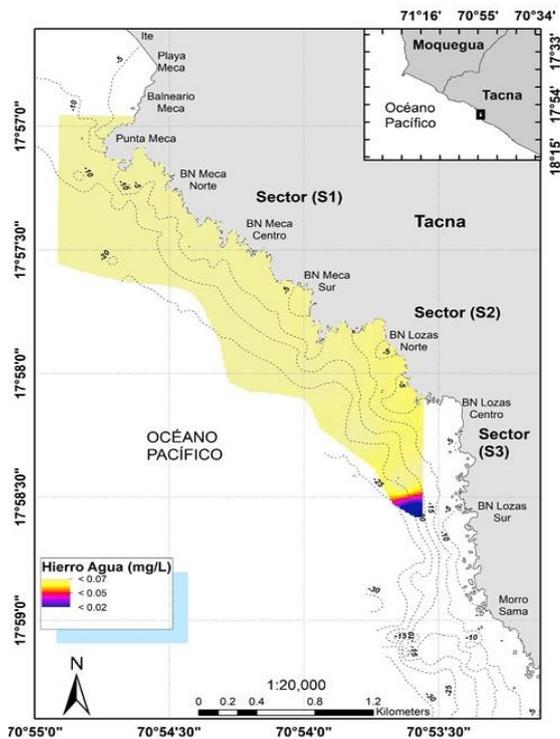


- **Hierro**

Los valores de hierro a nivel de agua superficial y en línea de playa fueron $<0,07$ mg/L, lo que los ubica por debajo del límite de detección de los ECA para agua en su categoría 2 ($<0,07$ mg/L). Los valores más bajos se registraron frente al BN sur de Lozas (S3) (ver Figura 27).

FIGURA 27

Distribución de la concentración de hierro en agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Níquel**

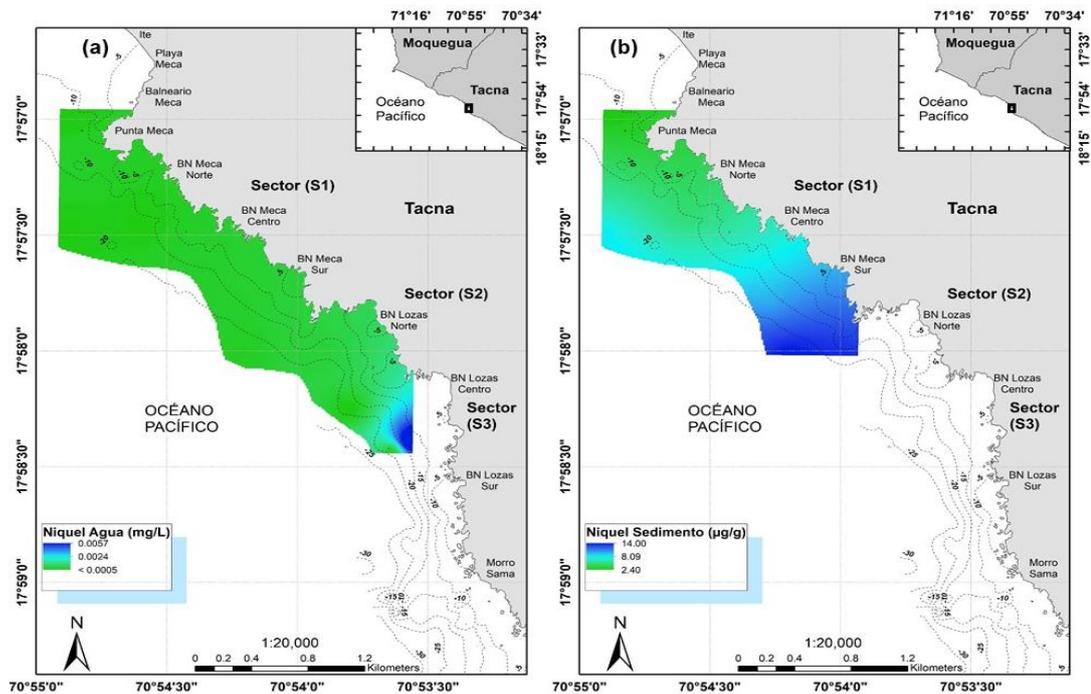
Los valores de níquel a nivel de agua superficial variaron de $<0,0005$ a $0,0017$ mg/L. El mayor valor se registró entre el BN centro y sur de Lozas (S3). Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, ningún valor superó el límite ($0,1$ mg/L) (ver Figura 28).

Los valores de níquel en sedimento marino variaron de 2,40 a 14,0 $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Lozas (S2); mientras que el menor valor, entre el balneario Meca y Punta Meca (al norte del sector S1) (ver Figura 28).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de níquel fueron menores al límite de detección ($<0,0005 \text{ mg/L}$), conforme a los ECA para agua en su categoría 2.

FIGURA 28

Distribución de la concentración de (a) níquel en agua de mar y (b) níquel en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Cinc**

Los valores de cinc a nivel de agua superficial variaron de 0,010 a 0,025 mg/L . El mayor valor se registró frente al BN norte de Lozas (S2); mientras que el menor valor, entre el BN centro y sur de Lozas (S3). Si comparamos los

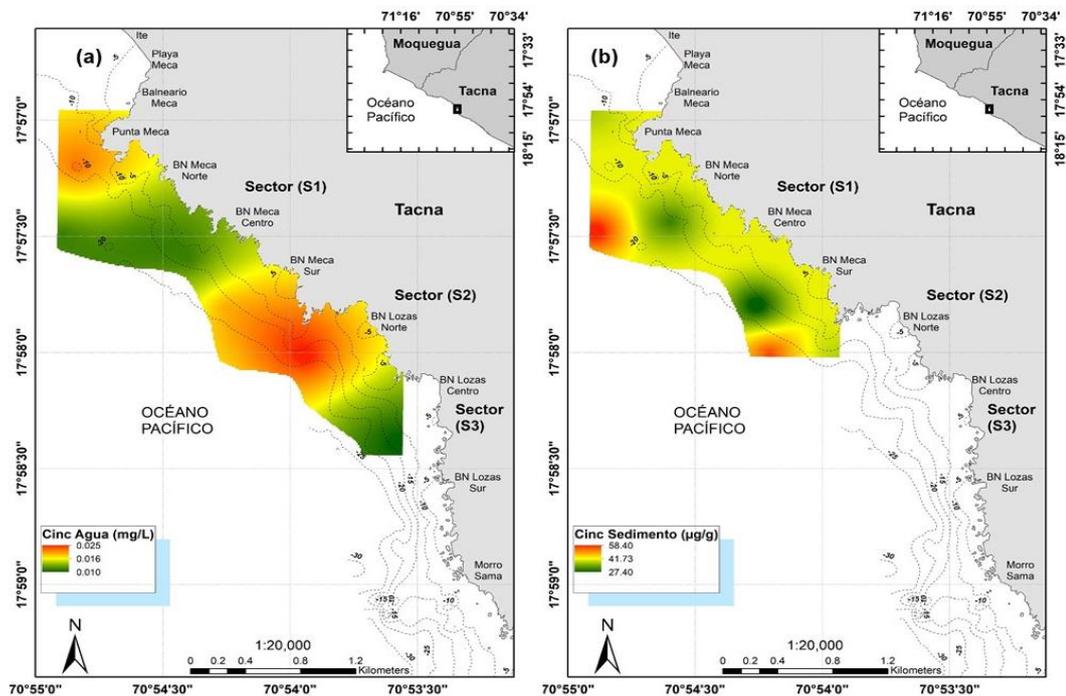
resultados con los ECA para agua, ningún valor superó el límite nacional (0,081 mg/L) (ver Figura 29).

Los valores de cinc en sedimento marino variaron de 27,4 a 58,4 $\mu\text{g/g}$. El mayor valor se detectó entre el BN norte y centro de Meca (S1); mientras que la menor concentración, frente al BN sur de Meca (S2) (ver Figura 29).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de cinc variaron de 0,009 a 0,011 mg/L. El mayor valor se encontró frente al BN centro de Meca (S1). Los valores hallados no superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2 (0,081 mg/L).

FIGURA 29

Distribución de la concentración de (a) cinc en agua de mar y (b) cinc en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Selenio**

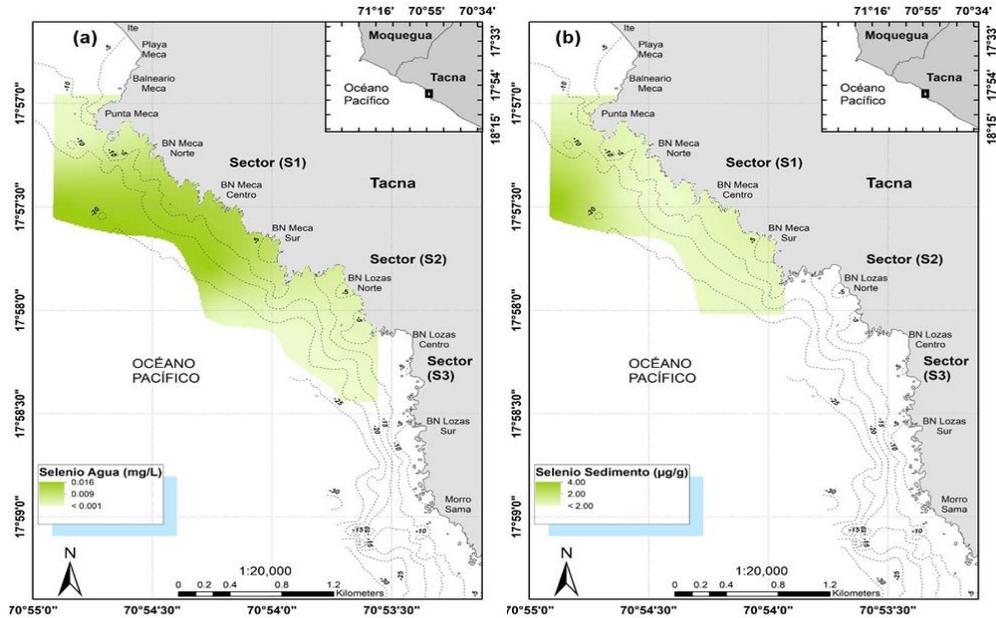
Los valores de selenio a nivel de agua superficial variaron de <0,001 a 0,016 mg/L. Los mayores valores se registraron entre el BN norte y centro de Meca (S1); mientras que el menor valor, entre el BN sur de Meca y BN centro de Lozas (S2 y S3). Si comparamos los resultados con los ECA para agua en su categoría 2, ningún valor superó el límite establecido (0,071 mg/L) (ver Figura 30).

Los valores de selenio en sedimento marino variaron de <0,20 a 0,40 µg/g. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Meca (S1) (ver Figura 30).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de selenio variaron de <0,001 a 0,015 mg/L. El mayor valor se encontró frente al BN centro de Meca. Los valores hallados no superaron el límite de los ECA para agua en su categoría 2 (0,071 mg/L).

FIGURA 30

Distribución de la concentración de (a) selenio en agua de mar y (b) selenio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Antimonio**

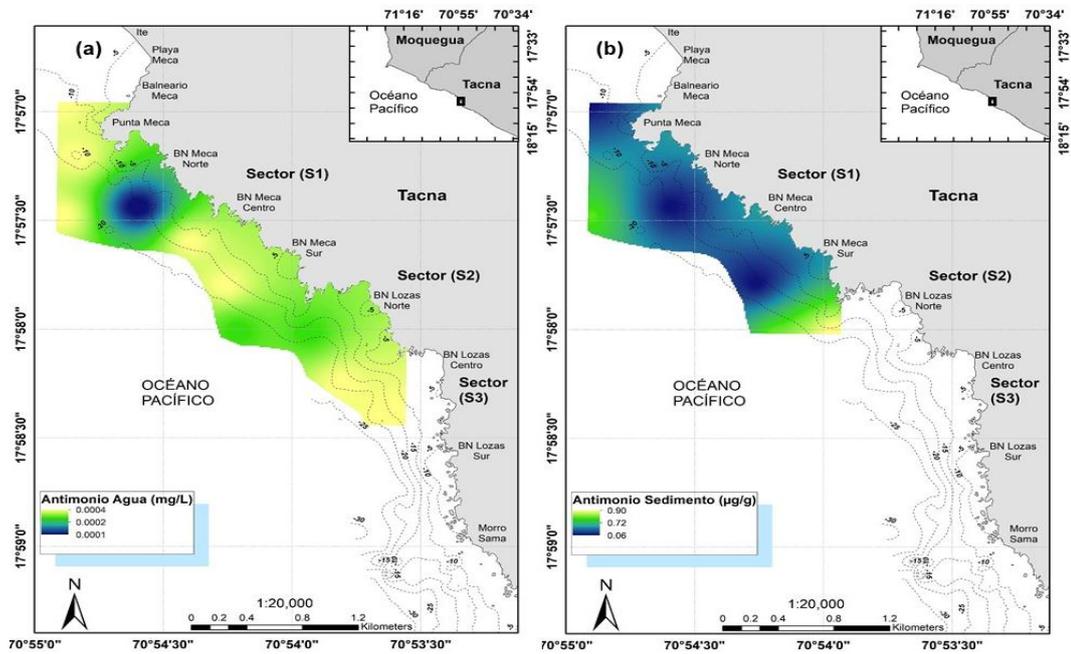
Los valores de antimonio a nivel de agua superficial variaron de 0,0001 a 0,0004 mg/L. A pesar de que estos valores no superaron el límite establecido en los ECA para agua (0,064 mg/L), se pudo observar valores ligeramente altos a lo largo del área, excepto entre los límites del BN norte y centro de Meca (S1) (ver Figura 31).

Los valores de antimonio en sedimento marino variaron de 0,60 a 0,90 µg/g. El mayor valor se detectó frente al BN norte de Lozas (S2); mientras que los menores valores, hacia el norte de BN sur de Meca (ver Figura 31).

Por línea de playa (agua): Las concentraciones de antimonio variaron de <math>< 0,0001</math> a 0,0004 mg/L. Los valores más altos se encontraron entre el BN centro y sur de Lozas (S3).

FIGURA 31

Distribución de la concentración de (a) antimonio en agua de mar y (b) antimonio en sedimento marino. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.3.2. Microbiología acuática

a. Indicadores de contaminación fecal

Los coliformes totales a nivel de agua superficial variaron de <1,8 a 33 NMP/100 mL. El mayor valor se registró solo frente al BN sur de Lozas (S3). En el sedimento marino, los mayores valores se detectaron entre el balneario de Meca y el BN norte de Lozas (S1 y S2). Con relación a los coliformes termotolerantes, a nivel de agua superficial y de sedimento marino, todos los valores fueron <1,8 NMP/100 mL. Todo ellos estuvieron por debajo del límite establecido por los ECA para ecosistemas marinos (<2000 NMP/100 mL).

Por línea de playa (agua): Los coliformes totales y coliformes termotolerantes registraron valores $<1,8$ NMP/100 mL (ECA: <2000 NMP/100 mL).

4.1.3.3. Análisis químico

a. Concentración de nutrientes en superficie

- **Nitratos (μM)**

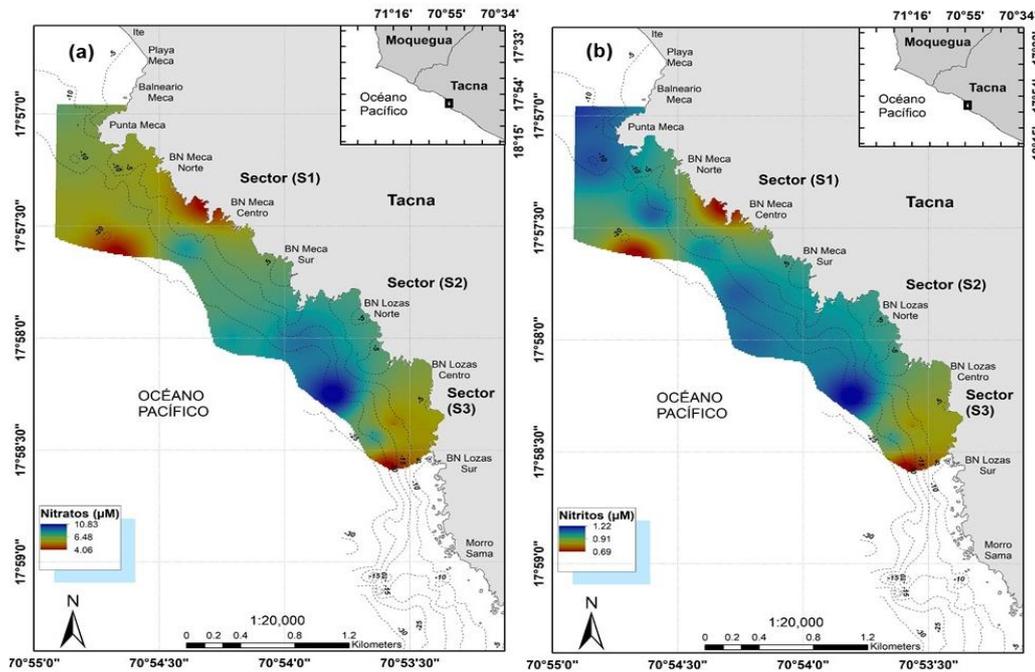
Los valores de nitratos en la superficie del mar variaron de 4,06 a 10,83 μM , con un promedio de 6,48 μM (ver Tabla 7). La distribución presentó, al norte de Morro Sama, un núcleo de 10,00 μM , que al desplazarse hacia los alrededores disminuye su concentración. Las mayores concentraciones se localizan entre el BN norte y centro de Lozas (ver Figura 32a).

- **Nitritos (μM)**

Los valores de nitritos superficiales variaron de 0,69 a 1,22 μM , con un promedio de 0,91 μM (ver Tabla 7). Las concentraciones más altas se detectaron entre el BN norte y centro de Lozas; mientras que las más bajas, entre el BN norte y centro de Meca (ver Figura 32b).

FIGURA 32

Distribución de (a) nitratos (μM) y (b) de nitritos (μM) en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Fosfatos (μM)**

Los valores de fosfatos en la superficie del mar variaron de 2,59 a 7,06 μM , con un promedio de 3,56 μM (ver Tabla 7). La distribución incrementa su concentración en su desplazamiento del frente oceánico hacia el borde costero. Los valores más altos se localizan entre Punta Meca y el BN norte de Meca (ver Figura 33a).

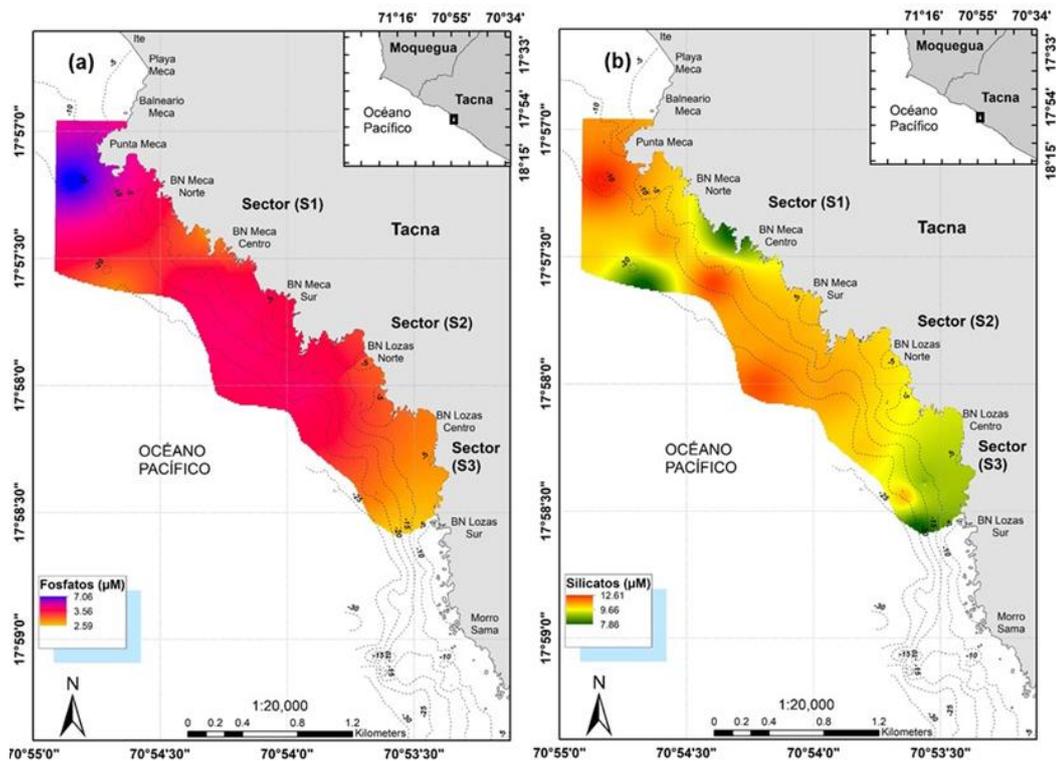
- **Silicatos (μM)**

Los valores de silicatos superficiales variaron de 7,86 a 12,61 μM , con un promedio de 9,66 μM (ver Tabla 7). La distribución incrementa su concentración en su desplazamiento desde la zona sur y central del frente oceánico hasta el borde

costero. Los valores más altos se localizan frente a Punta Meca, el BN centro y sur de Meca (ver Figura 33b).

FIGURA 33

Distribución de (a) fosfatos (μM) y (b) silicatos (μM) en agua de mar superficial. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



- **Concentración de nutrientes por playa**

Por playas, los fosfatos variaron de 3,01 a 3,34 μM , con un promedio de 3,18 μM . Los silicatos oscilaron entre 10,10 y 11,62 μM , con un promedio de 10,86 μM . Los nitratos fluctuaron entre 5,71 y 6,50 μM , con un promedio de 6,11 μM . Finalmente, los nitritos estuvieron en un rango de 0,46 a 0,79 μM , con un promedio de 0,63 μM (ver Tabla 8).

TABLA 7

Parámetros químicos en columna superficial de agua de mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

Estación	Latitud	Longitud	Nitratos (µM)	Nitritos (µM)	Fosfatos (µM)	Silicatos (µM)
E1	17°56'57,6''	70°54'54,3''	5,74	1,04	3,44	9,66
E2	17°57'12,3''	70°54'50,3''	4,92	0,99	7,06	12,61
E3	17°57'28,7''	70°54'53,4''	4,06	0,69	2,59	7,86
E4	17°57'26,2''	70°54'35,9''	4,50	0,95	2,82	9,21
E5	17°57'36,2''	70°54'23,5''	7,00	0,85	4,42	11,80
E6	17°57'47,8''	70°54'15,5''	6,11	0,95	3,20	9,12
E7	17°58'00,4''	70°54'12,4''	7,01	0,93	3,30	11,53
E8	17°58'01,1''	70°53'56,1''	8,01	0,85	3,91	9,30
E9	17°58'15,1''	70°53'48,3''	10,83	1,22	2,87	7,96
E10	17°58'26,4''	70°53'38,4''	6,82	0,75	2,78	8,40
E11	17°58'23,4''	70°53'33,8''	6,32	0,83	2,78	8,76
		Promedio	6,48	0,91	3,56	9,66
Superficie		Mínimo	4,06	0,69	2,59	7,86
		Máximo	10,83	1,22	7,06	12,61

TABLA 8

Parámetros químicos en agua de mar por orilla. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2021

Estación	Latitud	Longitud	Nitratos (µM)	Nitritos (µM)	Fosfatos (µM)	Silicatos (µM)
E1	17°57'47,8''	70°54'15,5''	5,71	0,46	3,01	10,10
E2	17°58'00,4''	70°54'12,4''	6,50	0,79	3,34	11,62
		Promedio	6,11	0,63	3,18	10,86
Superficie		Mínimo	5,71	0,46	3,01	10,10
		Máximo	6,50	0,79	3,34	11,62

4.1.4. Aspectos ambientales (oceanografía física)

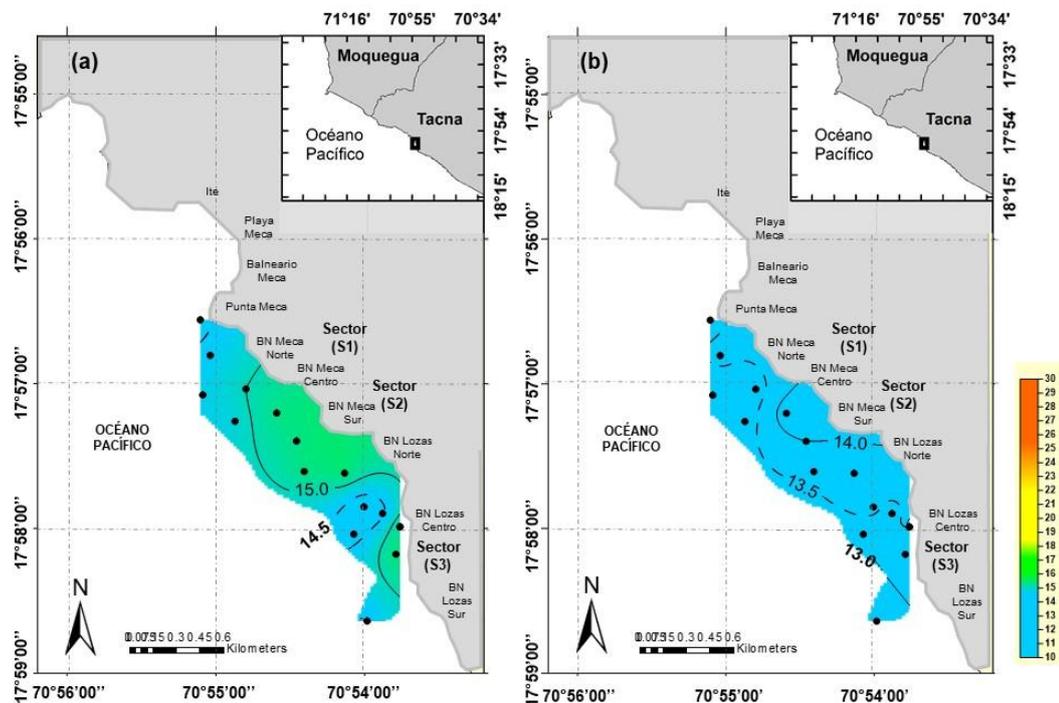
4.1.4.1. Distribución horizontal de la temperatura, salinidad y densidad

a. Temperatura

El valor calculado de la anomalía de temperatura superficial del mar fue de $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, con lo que se catalogó a la zona de estudio como de condiciones frías. El rango de temperatura en la superficie del mar registró valores entre $14,1$ y $15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un promedio de $14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. En general, la distribución térmica fue homogénea (ver Figura 34). Cerca al fondo, los valores fluctuaron entre $12,8$ y $14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un promedio de $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ver Figura 34).

FIGURA 34

Distribución de los valores de (a) temperatura superficial del mar y (b) temperatura en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



b. Salinidad

La distribución espacial de la salinidad en la superficie registró valores de 34,890 a 35,029 ups, con un promedio de 34,930 ups. Estas concentraciones de sales estaban asociadas a las aguas costeras frías (ACF) (ver Figura 35). A nivel de fondo, las concentraciones de sales variaron de 34,830 a 35,055 ups. Al igual que en la capa superficial, los valores corresponden a las ACF, las cuales están distribuidas en forma homogénea en ambos niveles (ver Figura 35).

c. Densidad

La distribución espacial de la densidad en la superficie y en el fondo fue homogénea, con valores cercanos a 1026,0 kg/m³ (ver Figura 36).

FIGURA 35

Distribución de los valores de (a) salinidad superficial del mar y (b) salinidad en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

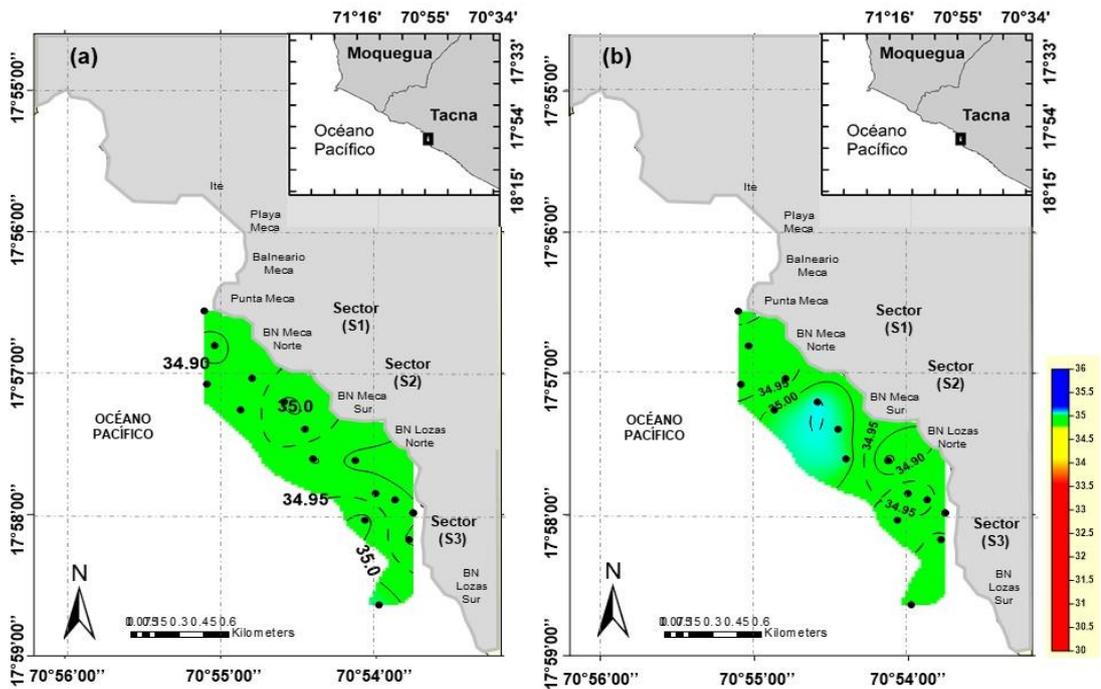
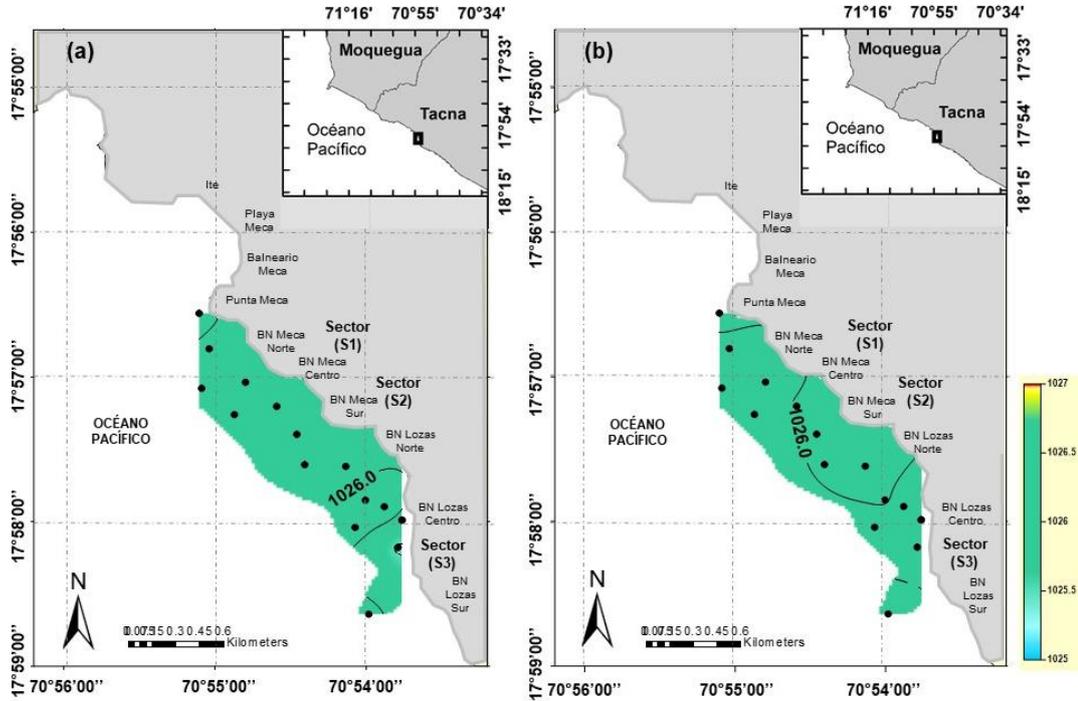


FIGURA 36

Distribución de los valores de (a) densidad superficial del mar y (b) densidad en el fondo del mar. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

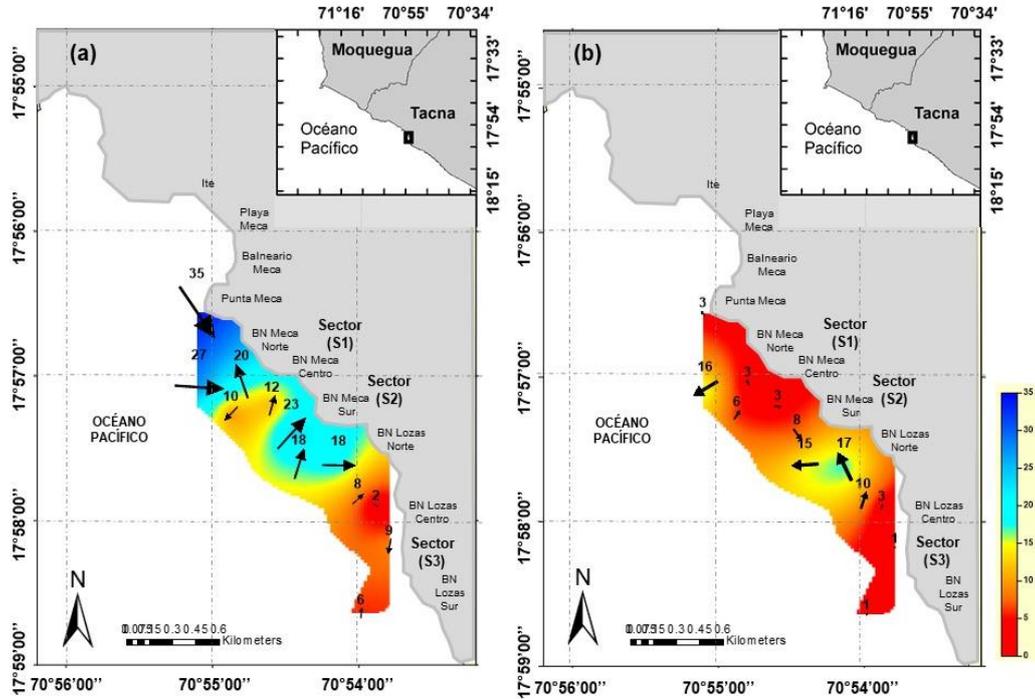


4.1.4.2. *Corrientes marinas*

La figura 37 muestra la distribución espacial de las corrientes marinas (CM) por niveles (superficie y fondo) y el campo de velocidades de los promedios por niveles en función del periodo de tiempo por registro en cada estación. Durante el monitoreo, la velocidad promedio para la capa superficial fue de 15,3 cm/s, con un máximo y un mínimo de 34,7 y 2,1 cm/s, respectivamente. A nivel del fondo, la velocidad varió entre 0,9 y 17,3 cm/s, con un promedio de 7,1 cm/s. En general, la distribución del campo de velocidades indica mayores intensidades en la superficie, cuyos valores dominantes estuvieron por encima de los 10 cm/s, con respecto a la capa de fondo, donde predominaron valores menores a 10 cm/s.

FIGURA 37

Distribución de (a) corriente de superficie y (b) corriente de fondo. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



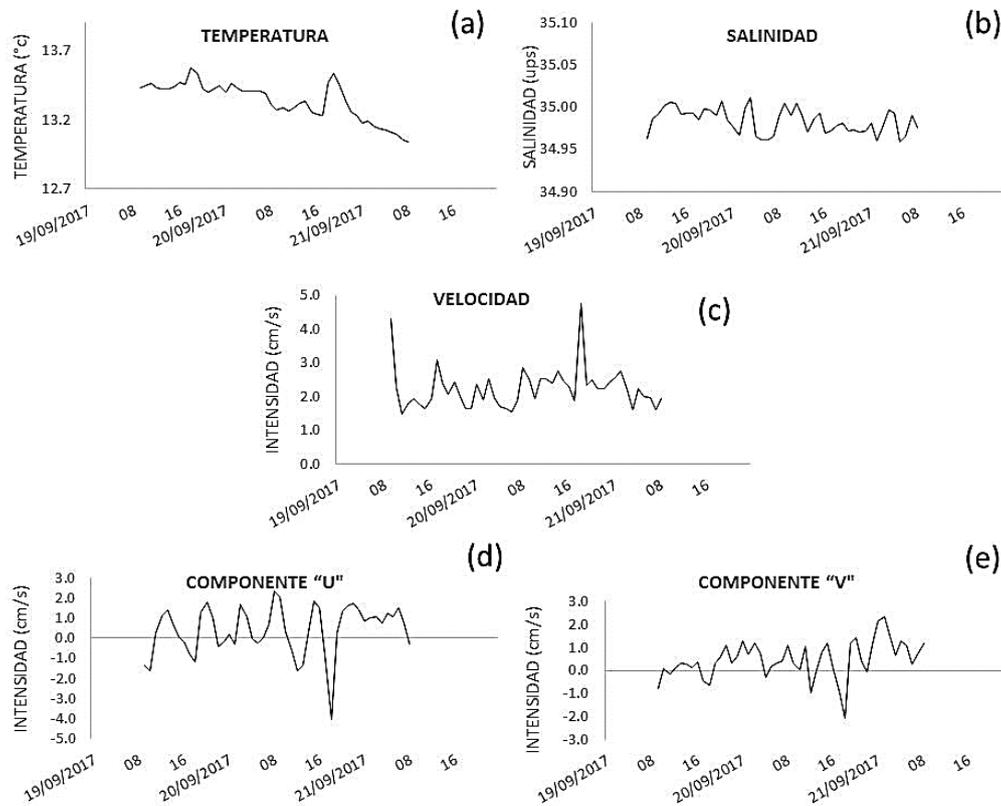
4.1.4.3. Muestreo estático: correntómetro RCM9 1362

Se instaló el correntómetro RCM9 1362 en una boya a 17 m de la superficie, instrumento que nos permitió conocer múltiples datos. En efecto, la intensidad de los flujos en la boya varió alrededor de 2,23 cm/s, con un valor máximo de 4,74 cm/s y un mínimo de 1,48 cm/s, resaltando dos picos que sobrepasaron los 4 cm/s (ver Figura 38c). La componente zonal (u, este-oeste) presentó magnitudes entre -4,03 y +2,33 cm/s, con un promedio de +0,4 cm/s. Además, si bien se observó una mayor frecuencia de pulsos hacia el este (+), destacó un pulso hacia el oeste (-) que superó los 4 cm/s (ver Figura 38d). Respecto a la componente meridional (v, norte-sur), las

intensidades variaron de -2,09 a +2,34 cm/s, predominando los flujos hacia el norte durante el periodo evaluado (ver Figura 38e).

FIGURA 38

Series temporales de (a) temperatura, (b) salinidad, (c) velocidad de las corrientes, (d) componente este-oeste y (e) componente norte-sur. Datos obtenidos con el correntómetro RCM9 instalado en un punto fijo durante el periodo de estudio. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.4.4. Muestreo dinámico: distribución vertical

A continuación, se presenta el análisis de la distribución vertical de las variables oceanográficas, para el transecto seleccionado en el área de estudio.

a. Sección paralela a la costa

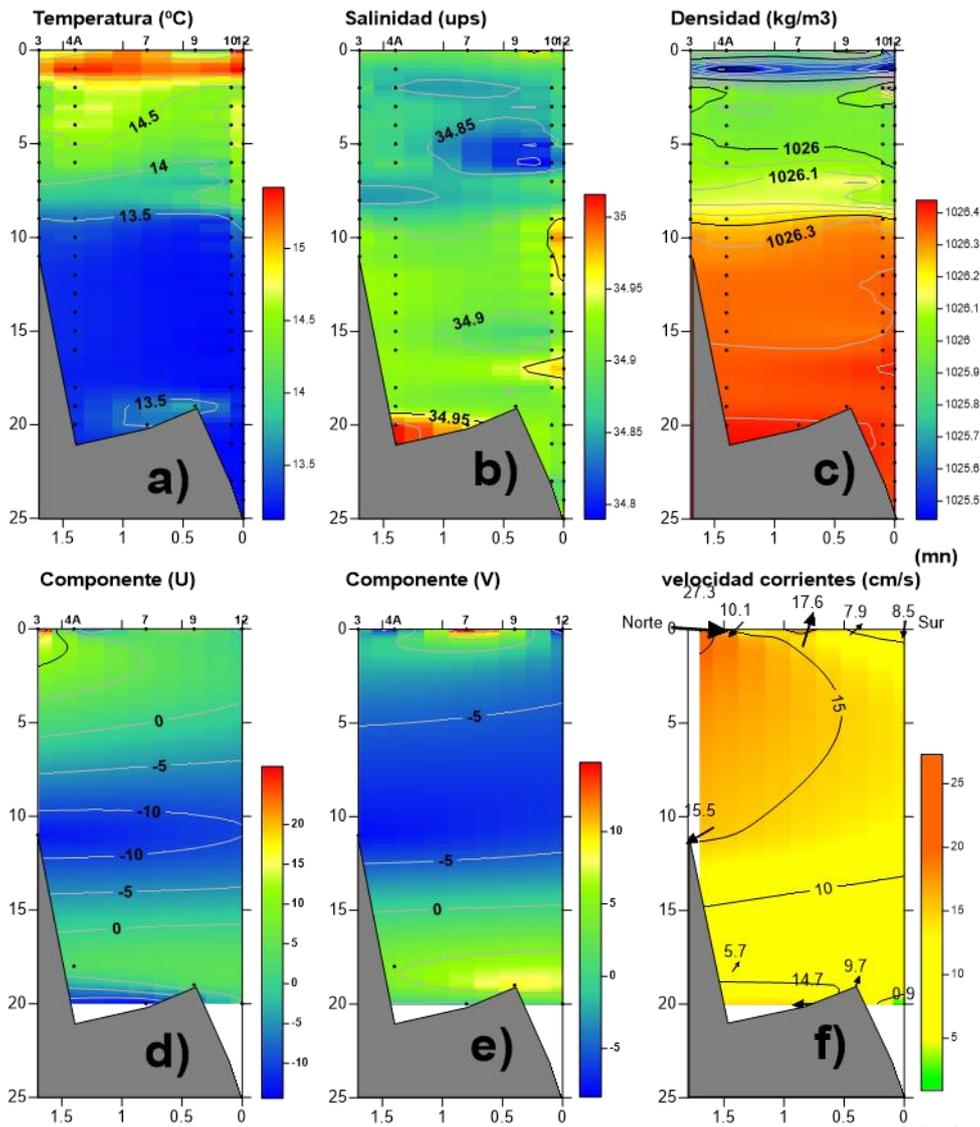
En las figuras 39a, 39b y 39c, se puede apreciar la distribución vertical de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la salinidad (ups) y la densidad (kg/m^3) entre los 0 y 25 m de profundidad y las 0 y 1,6 millas náuticas (mn). En general, las condiciones térmicas, halinas y de densidad fueron homogéneas. La estructura térmica (ver Figura 39a) presentó isotermas de 13,5 a 15,5 $^{\circ}\text{C}$; mientras que las concentraciones de salinidad, asociadas a las ACF, variaron de 34,8 a 35,0 ups, con un promedio de 34,9 ups (ver Figura 39b). Los valores de densidad oscilaron entre 1025,4 y 1026,4 kg/m^3 , con un promedio de 1026,2 kg/m^3 ; debe mencionarse que se registraron mayores variaciones en la capa sobre los 9 m de profundidad (ver Figura 39c).

Las figuras 39d y 39e muestran la distribución vertical de las componentes de las corrientes marinas. La componente este-oeste (u) reveló magnitudes entre -14,7 y 27,2 cm/s, con un promedio de 0,86 cm/s. Los flujos positivos, con orientación hacia el este, se ubicaron sobre los 8 m; en cambio, entre los 8 y 14 m, los flujos fueron negativos o hacia el oeste. Por su parte, la variación de la componente norte-sur (v) fue de -8,4 a 16,8 cm/s, con un promedio de 1,0 cm/s. Se observó una alternancia entre flujos hacia el norte y el sur, donde los valores positivos indican orientación hacia el norte y los negativos, hacia el sur (ver Figura 39e).

Finalmente, en la figura 39f se observa la distribución vertical de las corrientes marinas, las cuales registraron intensidades de 0,9 a 27,3 cm/s y un valor promedio de 11,8 cm/s. Los flujos, en promedio, fueron más intensos en la zona norte, entre los 0 y 12 m de profundidad.

FIGURA 39

Distribución vertical: (a) temperatura, (b) salinidad, (c) densidad, (d) componente “u”, (e) componente “v” y (f) velocidad de corrientes. Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



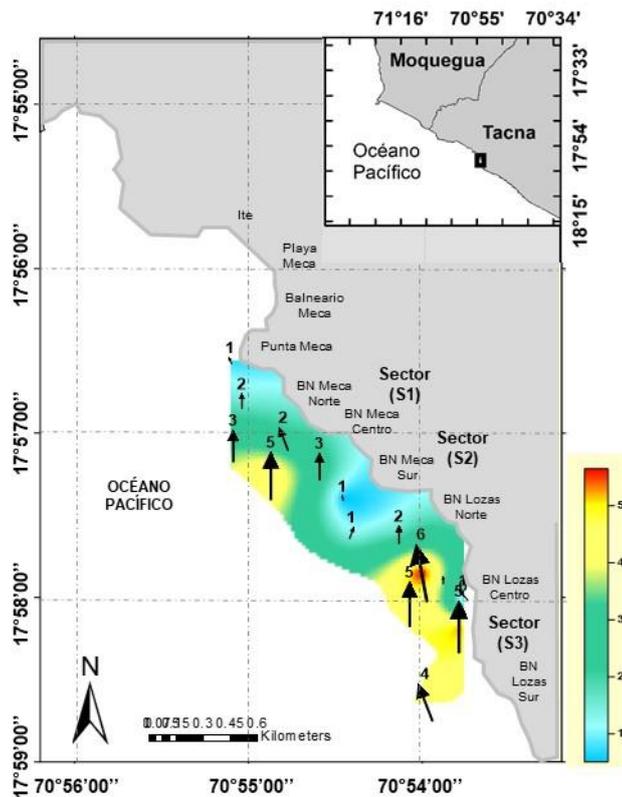
4.1.4.5. Velocidad de viento

La figura 40 presenta el campo de vientos, los cuales registraron intensidades de 0,1 a 5,8 m/s, con un promedio de 2,6 m/s. En general, los vientos predominantes

fueron los del sur, por lo que las mayores intensidades se detectaron en la zona sur. En cambio, las menores se localizaron cerca de la línea de costa en la zona centro-norte.

FIGURA 40

Dirección e intensidad de los vientos (m/s). Área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.5. Aspectos socioeconómicos (actividades económicas)

4.1.5.1. Características sociales y económicas en la localidad de Morro Sama

a. Características generales de la actividad pesquera

i. Costos de operación e inversión

El gasto por la faena de pesca durante la época de invierno es mayor, debido a que la zona de pesca se encuentra más lejos del punto de embarque. Por ello, el 60 %

de los pescadores invierten entre cien y doscientos soles (S/ 100,00 y 200,00); mientras el 40 %, entre doscientos y ochocientos soles (S/ 200,00 y 800,00).

Los gastos operativos generalmente son cubiertos por el armador, responsable del 90 % de ellos. En algunos casos, la pesca es considerada cautiva, debido a que quien asume los gastos operativos es el comerciante mayorista, lo que representa el 10 %.

ii. Distribución de ingresos económicos

Con relación a las ganancias por faena de pesca, se encontró que la embarcación y los tripulantes se llevan aproximadamente el 30 % de las ganancias cada uno, tanto en la estación de verano como en invierno.

iii. Ingresos económicos de la pesquería

Los niveles de ingresos son variados y dependen de la función del pescador artesanal, que puede ser armador, patrón, tripulante, buzo, etc. Otros factores que inciden directamente en los ingresos de los pescadores son las condiciones climatológicas y las de mercado. Ahora bien, estas últimas, a pesar de su alto grado de incidencia, no suelen ser tan determinantes en la pesca artesanal como las primeras, ya que en determinadas temporadas el clima no deja margen de maniobra a los pescadores.

iv. Comportamiento de la renta económica

Durante los meses de diciembre a marzo, época de verano, las actividades que se realizan usualmente corresponden a la denominada pesca de altura. Esta se

caracteriza por la extracción de los recursos *Coryphaena hippurus* o “perico” y *Cypselurus heterurus* o “pez volador”. En esta temporada, los niveles de ingreso promedio por pescador provenientes de esta actividad, que representan el 22 % de la pesca total, varían entre los S/ 300,00 y S/ 600,00.

Con respecto a la actividad extractiva costera, los ingresos son más bajos, pues implican el 40 % de los ingresos, entre S/ 50,00 y S/ 120,00 por faena.

Respecto a la actividad pesquera de altura durante los meses de abril a octubre, época de invierno, los pescadores tienen un ingreso menor a los S/ 200,00, que supone el 82 % de sus ingresos. Durante esta temporada, se extraen recursos como *Prionace glauca* o “tiburón azul” y *Isurus oxyrinchus* o “tiburón diamante”.

En este periodo, también se efectúa la actividad extractiva costera, que permite la captura de recursos bentónicos como *Octopus mimus* o “pulpo”, *Concholepas concholepas* o “chanque”, *Thaisella chocolata* o “caracol”, *Romaleon setosum* o “jaiba”, *Gari solida* o “almeja”, *Acanthopleura echinata* o “barquillo”, entre otros. Los ingresos fluctuaban entre S/ 20.00 y S/ 60.00 por faena de pesca, lo que representaba el 47%.

v. Relación beneficio-costos (B/C)

En los últimos años, la relación de beneficio-costos (B/C), para los pescadores artesanales de la zona de Morro Sama, ha sido muy variable. Esta ha tenido cambios considerables de $(B/C > 1)$, $(B/C = 1)$ y $(B/C < 1)$, demostrando que las ganancias de los pescadores no han superado los costos de inversión.

b. Características de la población afectada

A continuación, mencionamos las principales características de los pescadores de la región Tacna:

- *Género*: El 100 % de los pescadores artesanales pertenecen al género masculino, es decir, la actividad pesquera la realizan exclusivamente hombres. Esto se debe a que los pescadores se dedican mayormente al buceo, por lo cual es poco probable que el género femenino participe de esta actividad.
- *Edad*: El 4 % de los pescadores tienen entre 18 y 25 años; el 30 %, entre 26 y 36 años; el 36 %, entre 36 y 45 años, y el 30 % son mayores a los 45 años.
- *Estado civil*: El 14 % de los pescadores tienen la condición de solteros, el 42 % se encuentra legamente casado, el 42 % presenta el estado de convivencia y solo el 2% está divorciado.
- *Procedencia*: El 42 % de los pescadores procede del departamento de Puno; el 20 %, de la ciudad de Tacna; el 18 %, de la ciudad de Moquegua; el 4 %, de la ciudad de Arequipa, y el 16 % restante, de otras ciudades del país.
- *Nivel de educación*: El 56 % de los pescadores culminó la educación secundaria, mientras que el 10 % no llegó a terminarla. Por otro lado, el 14 % ha culminado la educación primaria y solo el 2 % no pudo hacerlo. El 8 % tiene estudios técnicos completos, mientras que el 2 % no los ha acabado. Finalmente, solo el 2 % de los pescadores presentan estudios universitarios completos, mientras que el 6 % no los ha culminado.

4.1.6. Criterios técnicos para la identificación y delimitación de hábitats

4.1.6.1. Módulo 1: Fortalecimiento de capacidades (regulación asociada a los arrecifes artificiales)

Con relación a los aspectos normativos, referiremos los casos de algunos países:

a. Caso España

La legislación española define al arrecife artificial (AA) del siguiente modo:

Conjunto de elementos, constituidos por diversos materiales inertes y con diversas formas, o bien, los cascos de buques pesqueros de madera específicamente adaptados para este fin, que [...] se distribuyen sobre una superficie delimitada del lecho marino con objeto de proteger, regenerar y desarrollar las poblaciones de especies de interés pesquero. (Real Decreto n.º 798/1995, art. 39)

Asimismo, los AA incluyen los módulos o unidades que los conforman, el espacio que ocupan sobre el fondo marino, el perímetro del área donde se distribuyen y la columna de agua hasta la superficie sobre dicha área del fondo.

En la regulación existente sobre los AA, en el contexto de la política pesquera de España y en el ámbito de la normativa española, se distinguen las competencias de la administración general del Estado (y dentro de la misma, de los Ministerios de Medio Ambiente; Agricultura, Pesca y Alimentación; Fomento; Industria, Turismo y Comercio; etc.) y de las comunidades autónomas.

No obstante, toda esta normativa que define la construcción, instalación, uso y protección de los AA está supeditada a los acuerdos que España tiene suscritos a nivel internacional y que superan el marco de la Unión Europea. Se trata de los convenios de Londres, Barcelona y OSPAR, que fundamentalmente regulan los efectos contaminantes que estas instalaciones pueden causar en el medio marino.

Sin embargo, no refieren a su impacto sobre la protección, regeneración o explotación de los recursos pesqueros.

b. Caso México

La normatividad que rige el vertimiento de AA en México se basa en el régimen de la Secretaría de Marina (oficio n.º SDT/TAB-27/267/2014). Esta exige la presentación de un resolutivo de impacto ambiental, autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que consiste en la elaboración de un manifiesto basado en el formato n.º 8 SMEDCM: Sustancias, Materiales y Estructuras Destinadas a Construcciones en el Mar.

Esta regulación indica que se deberá gestionar oficialmente, ante la Comandancia del Mando Naval, la solicitud de permiso firmada por el interesado, con cuarenta días hábiles de anticipación a la fecha contemplada para realizar el vertimiento. Además, tendrán que adjuntarse en anexos los formatos correspondientes al dictamen técnico de la Secretaría de Salud (SSA), el dictamen técnico de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el dictamen técnico de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), así como el pago de productos y aprovechamiento por medio de la Forma 16 del SAT.

Asimismo, la construcción e instalación de AA constituye una actividad que promueve la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA,) a través de la Comisión Nacional de Agricultura y Pesca (CONAPESCA), como una alternativa viable para lograr la conservación y el incremento de los recursos pesqueros.

c. Caso Estados Unidos de América

Existen pocas leyes referidas al vertimiento de estructuras que afecten o interactúen en aguas navegables de los Estados Unidos de América. Sin embargo, la mayoría de los proyectos relacionados a la construcción de arrecifes son supervisados por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Este regimiento, a través de la Sección 704 (b) de la Ley de Recursos Hídricos (WRDA) de 1986, es el encargado de implementar y evaluar proyectos de restauración ecológica, incluyendo los relacionados a la construcción de estructuras artificiales.

Por otro lado, la construcción y el inicio de construcción de cualquier estructura, como muelles, embarcaderos, vertederos, rompeolas u otras, quedan prohibidas. Solo se exceptúan aquellos recomendados por el jefe del Cuerpo de Ingenieros y autorizados por el secretario de Guerra de los Estados Unidos de América.

La regulación federal indica —en el título 33: Navegación y Aguas Navegables; capítulo II: Cuerpo de Ingenieros, Departamento de la Armada, Departamento de Defensa; sección 322: Permisos para estructuras o trabajos que afecten aguas navegables de los Estados Unidos; numeral 332.5: Políticas especiales, (b) Arrecifes artificiales (solicitud), 33 CFR 322.2 (g)— que el ingeniero del distrito podrá revisar las disposiciones del solicitante para la ubicación, construcción, monitoreo, mantenimiento y manejo del arrecife artificial propuesto. También podrá determinar si dichas provisiones son consistentes con otras normas, como las relacionadas con 1) especies en peligro de extinción —Act. Sección 7 (1973)—, 2) protección de mamíferos marinos —Act. (1972)—, 3) política medioambiental nacional —Act. (1969)—, 4) protección marina y

santuarios —Act. (1972)—, 5) conservación histórica nacional —Act. (1966)— y 6) gestión de zonas costeras —Act. (1972)—.

d. Caso Perú

La propuesta de directrices para la construcción, instalación, implementación, gestión y monitoreo de los AA en el Perú, elaborada por el Grupo Técnico de Trabajo Especializado-Arrecifes Artificiales (GTTE-AA), contiene los lineamientos para la formulación de proyectos relacionados a los AA. Está basada en la normativa internacional, como la correspondiente a la aplicación de políticas ambientales del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Convenio de Londres (1972) y el Protocolo de Londres (1996) de la División del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional (OMI).

Dicho documento, hasta la fecha de redacción de la presente tesis, se encuentra en revisión de la Comisión Multisectorial para la Gestión Ambiental del Medio Marino Costero (COMUMA) para su aprobación.

4.1.6.2. Módulo 2: lecciones aprendidas en materia de AA

a. Caso España

En las islas Canarias existen seis áreas de AA: los más antiguos se ubican en la vertiente oeste de la isla de La Palma y en el suroeste de Gran Canaria; mientras que los más modernos, en la costa noreste de Lanzarote y sureste de Fuerteventura. Entre 1991 y 2010, se han llevado a cabo diversas campañas de evaluación de la biomasa, abundancia y diversidad de las especies agregadas a estos sistemas de AA,

constituidos mayoritariamente por módulos de producción. El programa de seguimiento se realizó con base en las pescas selectivas, la evaluación acústica y los censos visuales de las especies de peces presentes en el área inmediata a los módulos, comparando los valores obtenidos con los estimados para arrecifes naturales y fondos arenosos próximos.

Al final del periodo de evaluación se constató que todos los AA presentaron una biomasa y abundancia ictiológica, así como una diversidad de especies, más altas que las observadas en los sistemas naturales de control. Asimismo, la variabilidad espacial y temporal observada fue también muy elevada.

Por otro lado, lamentablemente, las áreas bajo la influencia de los arrecifes se hallan sometidas a pesca, lo que puede tener efectos perjudiciales y hacer de este un sistema ecológico sobreexplotado. Por todo ello, se les está recomendando una modificación en la normativa que permita asimilar a los AA como reservas marinas, con una zona integral —donde estaría prohibida la pesca— y un área de amortiguamiento a su alrededor.

b. Caso México

En las costas de los estados de Tabasco y Veracruz, se instalaron treinta unidades de AA, a través de la Fundación Produce de Veracruz, enmarcado en la propuesta de innovación tecnológica para la implementación de AA, como unidades de producción marina (UPMAR). Esto se hizo con el objetivo de propiciar la creación y protección de nuevos hábitats que ofrezcan las condiciones ambientales que, a su vez, faciliten los procesos de fijación, colonización, reproducción y reclutamiento de flora y fauna marina. Socialmente, buscaron que, valiéndose de las UPMAR, se

genere una “red de seguridad” y “fondo de retiro”, ya que proporcionaron lugares secundarios de pesca cerca de la costa para un sector sensible de la comunidad pesquera, como son los pescadores veteranos, ajenos a las nuevas tecnologías y fuentes de financiamiento.

Por otra parte, la selección del lugar para la instalación de las UPMAR estuvo relacionada con la identificación de las oportunidades de desarrollo sostenible de las localidades y de cuidado del medio ambiente. En efecto, se buscó generar áreas de aprovechamiento pesquero en zonas con relativa calma, donde los pescadores optaran por actividades sin riesgo de corrientes ni oleajes fuertes, y donde se propiciará la estabilización de la costa a mediano plazo.

La estrategia del proyecto estuvo enmarcada en cuatro etapas: 1) construcción, 2) transporte y desplante, 3) colocación y 4) seguimiento, siendo esta última la de mayor importancia. Ciertamente, en esa fase se identificaron las especies claves, los taxa, las asociaciones de riqueza específica, densidad y diversidad, que fueron evaluados a corto plazo (mínimo 1 año), mediano plazo (mínimo 3 años) y largo plazo (mínimo 5 años).

Debido a que los AA son actualmente, en todo el mundo, una herramienta para afrontar la problemática pesquera, social y tecnológica, la eficiencia del sistema UPMAR responde a que, 15 días después de su instalación, se poblaron el 100 % de algas marinas; en tres meses, se generó la atracción de peces de importancia comercial, y, a mediano plazo, el ambiente marino sobreexplotado viene generando nuevas áreas de protección y refugio para especies marinas, produciendo algunos beneficios económicos a la población local por el ecoturismo.

c. Caso Estados Unidos de América

En las costas del estado de Virginia, se han desarrollado diversos proyectos relacionados a los estudios de ostras en el río Piankatank, que es alimentado por uno de los pantanos más grandes de Virginia, en la bahía Chesapeake. Debido a la hidrografía, la circulación y el flujo del agua, es catalogado como uno de los estuarios de retención (trampa) de semillas de ostras más importantes del estado norteamericano, siendo administrado por la Comisión de Recursos Marinos de Virginia (VMCR), como un área de reposición de semillas de ostras.

Actualmente, el proyecto “Restauración de ostras a gran escala en el río Piankatank” es uno de los más relevantes de Virginia, dada su eficacia en reclutar y concentrar un gran número de ejemplares juveniles de ostras. Esto ha sido aprovechado por la VMCR y la industria privada, las cuales, a través del mencionado proyecto, han instalado AA con la finalidad de retener a estas ostras juveniles, para luego trasladarlas a otros ríos donde la concentración de ostras es mucho más baja.

Asimismo, los arrecifes instalados en el río Piankatank son monitoreados constantemente para determinar el estado poblacional de las ostras, así como para saber el nivel de desgaste de sus valvas y establecer cuotas de cosecha en áreas destinadas a ese fin. En este contexto, durante la última década, la población de ostras asentada en los arrecifes ha posibilitado el establecimiento de cuotas de captura.

El VMCR ha instalado más de cien estructuras artificiales en toda la bahía de Chesapeake, las cuales son monitoreadas por el Instituto de Ciencias Marinas de Virginia (VIMS), que proporciona información a mediano y largo plazo sobre el

estado poblacional de ostras en esta parte del río Piankatank. En la primavera del 2014, se cosecharon 20 000 ejemplares de semillas de ostras, con un posterior asentamiento de 40 000 cepas de nuevas semillas. Por otro lado, The Nature Conservancy promete la instalación de nuevos AA, que cubrirían 8,5 hectáreas dentro del río Piankatank.

Este proyecto —formulado entre la Comisión de Recursos Marinos de Virginia, The Nature Conservancy, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), y cofinanciado por la Fundación Mary Morton Parsons, la Fundación Ambiental de Virginia y otros donantes privados y públicos— comenzó en mayo del 2014, lo que ha permitido incrementar considerablemente la población de ostras a lo largo de la bahía y en las proximidades del río Piankatank.

4.1.6.3. Módulo 3: análisis de matrices para la priorización de hábitats

a. Fase preliminar

Se analizaron nueve matrices de evaluación que contenían:

- a) Información de la delimitación del área propuesta.
- b) Información de los aspectos referidos al área propuesta.

En ese sentido, se consideraron los criterios del nivel y la calidad de información, los posibles objetivos, la competencia multiinstitucional y los aspectos sociales, económicos, ambientales, ecológicos, pesqueros y culturales. Además, se priorizaron tres áreas: el sector sur del borde costero del área de Meca-Lozas, seguido del sector centro y el sector norte.

b. Fase de evaluación

De acuerdo con los resultados preliminares, y con la intención de analizar las matrices de las tres áreas priorizadas, todos los criterios de selección estuvieron bajo la supervisión de especialistas extranjeros. El análisis final incluyó la problemática, las alternativas, la pesquería, la expectativa de la comunidad pesquera, la accesibilidad de comunidades locales, las actividades económicas y tradicionales, las áreas de importancia social y económica, las oportunidades de inversión y subvención de entidades públicas o privadas, el interés de la comunidad científica y educativa, así como los aspectos ambientales relevantes.

Los principales alcances y criterios examinados por área fueron el aspecto social, la cooperación interinstitucional, las alianzas estratégicas y la identificación y descripción de conflictos. Asimismo, se consideraron las estrategias para abordar el sector social, el nivel de capacitación, entendimiento y sensibilización a las comunidades y, sobre todo, el nivel de difusión o información que debe aplicarse. En el aspecto logístico, se determinó que la accesibilidad por vía terrestre y marítima, y la disponibilidad de materiales, equipos y maquinaria contribuyen en la elección de un área adecuada para la instalación de AA.

Para la valoración global, que permitió obtener una visión integrada y sintética de los diferentes criterios identificados relacionados a la priorización de áreas, se llevó a cabo un diagnóstico general, que incluyó acciones e impactos directos e indirectos. Esto fue lo que posibilitó la elaboración de una matriz genérica para la identificación y definición de criterios asociados a la priorización de áreas (ver Tabla 9); además, se pudo establecer una escala de valoración: nula (0), baja (1), media (2) y alta (3).

TABLA 9

Matriz genérica de identificación y definición de los principales criterios de selección de áreas prioritarias para la implementación de arrecifes artificiales, 2017

Criterios	Definición
Social	Áreas de interés por parte de la comunidad local (p. e., productivo o recreacional).
Económico	Áreas con potencial de desarrollo e inversión de proyectos para nuevas alternativas de uso y aprovechamiento (p. e., subvención del sector público o privado).
Ambiental	Áreas libres de actividades, productos o servicios que puedan interactuar con el ambiente (p. e., vertidos industriales).
Ecológico	Áreas importantes de diversidad biológica, desde el punto de vista sistémico y funcional (p. e., zonas de retención y producción de semillas, avistamientos).
Pesquero	Áreas que desarrollan actividades pesqueras de baja o mediana intensidad en pro de comunidades locales (p. e., bancos naturales, zonas de pesca).
Científico	Áreas con información relevante obtenida a través de métodos científicos (p. e., evaluaciones, prospecciones, ELBAS).
Político	Áreas de interés exploradas por el Estado para el desarrollo económico y social equitativo (p. e., gobierno central, regional o local).
Cultural	Áreas de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico.
Educativo	Áreas de interés educacional por parte de centros de estudios (p. e., universidades, institutos, centros de investigación).

La aplicación de esta matriz genérica para la valoración de criterios permitió priorizar las áreas preliminarmente identificadas. Entre ellas, destacó, con 23 puntos, el borde costero del sector sur entre Meca y Lozas, en la región Tacna. Los criterios económico, ambiental, científico, político y educativo fueron los de mayor consideración (ver Tabla 10).

TABLA 10*Matriz de valoración de criterios en las áreas priorizadas para la implementación de arrecifes artificiales, 2017*

Información de áreas priorizadas			Valoración de criterios para la implementación de arrecifes artificiales									
Ubicación	Área propuesta	Objetivo	Social	Económico	Ambiental	Ecológico	Pesquero	Científico	Político	Cultural	Educativo	Total valoración
Ilo	Borde costero entre Meca y Lozas (Sama-Tacna)	Crear refugios y estructuras de adhesión para la captación de semillas y retención de juveniles de peces e invertebrados que contribuyan a la recuperación ecológica del ecosistema marino.	2	3	3	2	2	3	3	2	3	23
Tumbes	Borde costero El Bravo (Contralmirante Villar-Tumbes)	Proteger el ecosistema bentodemersal mediante la instalación de arrecifes artificiales disuasivos para la pesca de arrastre de fondo.	2	1	3	3	3	3	1	2	0	18
Santa Rosa	Borde costero entre Las bajas-Los bajos (Vegueta-Huacho)	Restaurar los hábitats marinos degradados por actividades pesqueras, mediante la instalación de arrecifes artificiales de protección.	2	1	3	2	3	2	1	1	0	15

4.1.7. Propuesta de diseño y construcción de arrecifes artificiales

Se describió la estructura urbana próxima al área de estudio, así como actividades urbanas y portuarias que podrían generar un deterioro y tener repercusiones directas en los ecosistemas marinos. Además, se realizó una valoración de los bienes y servicios, necesaria para dar respuesta a la situación actual del área y su relación con los resultados del estudio de línea base ambiental.

4.1.7.1. Interacción de la información biológica, ambiental, oceanográfica y socioeconómica

La propuesta de diseño de las estructuras de los AA y la elección del tipo de material a utilizar se basaron en la identificación de los recursos objetivos *Concholepas concholepas* o “chanque” y *Aulacomya atra* o “choro”. Además de los elementos de investigación y los criterios (ver Tabla 11), para la ubicación del área de estudio y los requisitos de decisión, con la finalidad de garantizar la seguridad de las estructuras y eliminar posibles accidentes en el fondo marino, se consideran:

- El área acuática donde se obtuvo el consentimiento de los pescadores antes de la inspección del sitio.
- El área acuática donde los criterios fueron apropiados en la encuesta para evaluar el sitio de instalación del arrecife.
- Las áreas acuáticas que son importantes para el desove de organismos marinos, la formación de hábitats y la protección de los recursos marinos.
- Las áreas acuáticas donde la circulación de embarcaciones no es frecuente (teniendo en cuenta la profundidad del agua para la seguridad de las embarcaciones).

- El área acuática donde la pendiente es suave y el suelo es plano, y no hay peligro de que el fondo alrededor del arrecife se desplace por las corrientes y las olas, y ocasione que el arrecife sea enterrado o perdido.
- Las áreas acuáticas donde no se esperan cambios ambientales, debido a proyectos de recuperación, agregados marinos, creación de parques industriales y proyectos en superficies públicas del agua.
- Las áreas acuáticas donde no hay posibilidad del hundimiento de los arrecifes, después de analizar los datos del estudio geológico y la investigación por estratos de profundidad.

TABLA 11

Principales criterios, métodos de investigación para la ubicación e identificación, y principales requisitos de selección en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

Criterios	Método de investigación	Requisitos para identificar el sitio apropiado
Profundidad del agua	Equipo SONAR (mide en MBES).	Áreas de agua donde no hay riesgo de ser enterrados o perdidos debido a eventos antrópicos y naturales.
Oxígeno disuelto	Medición en capa superficial y profunda.	Más de 5 mg/L.
pH	Medición en capa superficial y profunda.	6,5-8,5.
Velocidad de la corriente de agua	Correntómetro en superficie y fondo (dirección y velocidad).	Velocidad máxima <2 m/s.
Topografía submarina	Medición de la cobertura a través del ecosonda multihaz (MBES) o la imagen del sonar de barrido lateral (SSS). Explorador por estratos.	Área de la mar plana menor de 5/1000 inclinación.
Fondo marino	La granulometría se analiza mediante el método unificado y la resistencia se calcula con el método de cálculo de la capacidad de soporte en tierra.	Cuando la cantidad de retención es superior al 60 %, se estima la fuerza de apoyo en tierra y se examina la estabilidad de asentamiento del caladero por instalación de los arrecifes.
Organismos	Características del hábitat, actividad extractiva mediante buceo y otras	Lugares de desove, disponibilidad de hábitat

	actividades de pesca. (Emplear solo buceo científico).	(investigación directa o utilización de los datos de estudios preliminares), datos de captura y/o desembarque. Investigación cualitativa del zooplancton y fitoplancton.
Algas marinas (solo arrecifes de invertebrados y algas)	Muestreo a través de unidades identificadas (cuadrados grillados). Descripción de las características fotosintéticas de las algas. Caracterización de la distribución e intensidad de penetración de luz solar en el cuerpo de agua.	Basado en las características fotosíntesis de las algas marinas y la investigación de la distribución de la intensidad de luz.
Utilización de la pesca	Número de embarcaciones pesqueras, temporadas de pesca, tendencias anuales de los desembarques de pesca.	Número de embarcaciones pesqueras por tipo de aparejo, investigación de tendencias de pesca (es posible utilizar datos estadísticos locales, nacionales, etc.)
Contaminación ambiental	Identificación de posibles puntos de contaminación, tipos de contaminación. Informes técnicos, opiniones nacionales y locales.	Donde no hay preocupación por la contaminación ambiental.

Los datos obtenidos *in situ* fueron correlacionados con las características físicas del área de estudio, considerando los recursos objetivos *Concholepas concholepas* o “chanque” y *Aulacomya atra* o “choro”. Por otro lado, se sabe que toda actividad pesquera tiende a generar alteraciones en los ecosistemas marinos. Sin embargo, también resulta relevante la existencia de otras actividades de origen industrial y doméstico, que podrían influir en el deterioro del hábitat marino, lo que deriva en la pérdida de la diversidad biológica y la consecuente disminución de su productividad.

Estos impactos podrían llegar a manifestarse sobre el ambiente marino, principalmente en la fase de instalación, ocasionando sobre el fondo marino una modificación parcial o total del ecosistema. No obstante, este efecto se minimizaría si se siguen los procesos de análisis de los resultados obtenidos respecto al estado preoperacional y la problemática existente propuesta en este trabajo.

4.1.7.2. *Tipo de arrecife según su finalidad y efectos directos e indirectos*

Las incidencias que pueden llegar a manifestarse sobre el ambiente marino derivado del diseño de AA se centran en la fase de construcción e instalación. De forma general, todas las acciones que se realicen sobre el fondo marino pueden suponer una modificación parcial o total, con la pérdida potencial de sus funciones. Sin embargo, esta afectación puede ser evitada, tomando en cuenta el estado preoperacional y la problemática que podría presentarse.

En la tabla 12, se resume el tipo de arrecife que podría utilizarse, según la finalidad y sus posibles efectos. En el área entre Meca y Lozas, los AA tendrían una interacción con la biodiversidad marina; por tanto, su finalidad está destinada a la gestión pesquera. En ese contexto, la propuesta sugiere el uso de AA mixtos. Los efectos categorizados como directos, indirectos y probables podrían relacionarse con:

- a) El ambiente marino: El aumento de biomasa de las especies marinas es un efecto directo; mientras que el incremento de la producción y recuperación de los ecosistemas y el incremento de la supervivencia, crecimiento y reproducción de las especies, efectos indirectos.
- b) El ambiente terrestre: La alteración en el borde costero podría considerarse como un efecto probable.

El factor humano: La mejora en los ingresos económicos, la protección contra actividades no amigables con el ecosistema, las investigaciones sobre el comportamiento de los ecosistemas y el fomento de otras actividades acuáticas y de turismo podrían generarse como efectos indirectos; mientras que la fácil localización de las especies marinas, como un efecto probable (ver Tabla 12).

TABLA 12

Resumen del tipo de arrecife según la finalidad y los efectos directos, indirectos y posibles efectos que se presenten en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

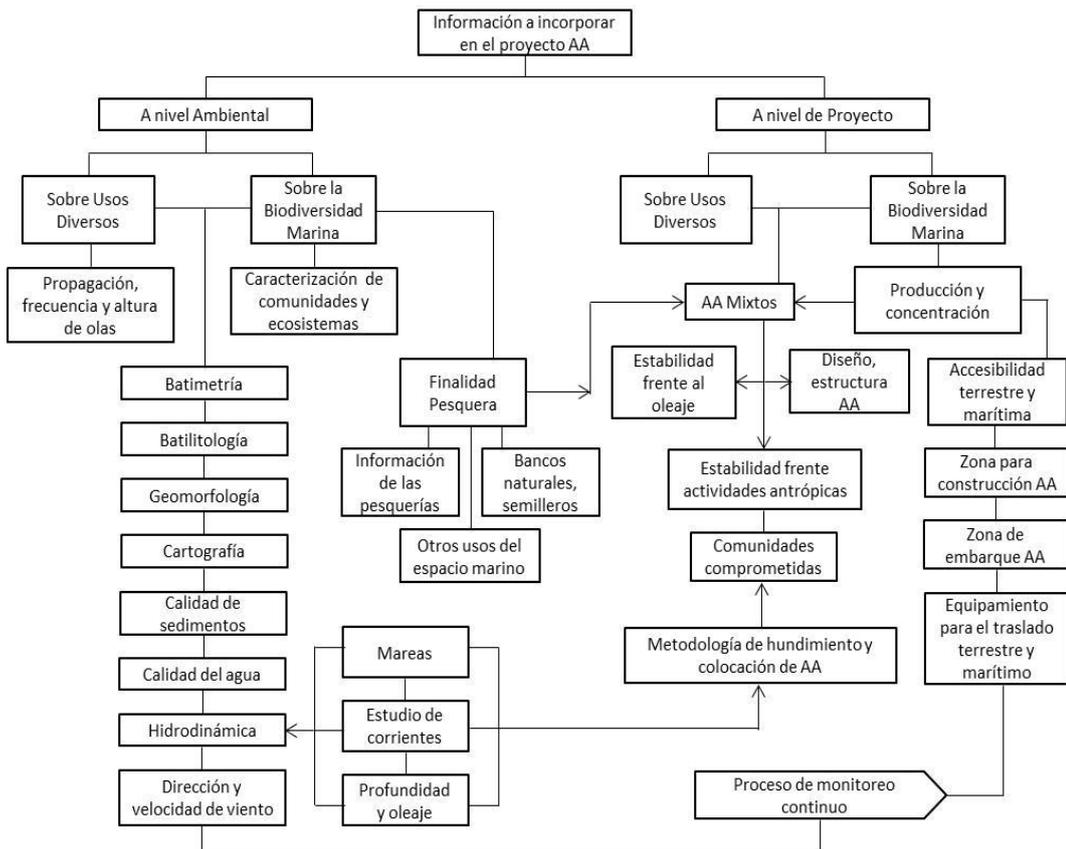
		Efectos de los arrecifes artificiales sobre el área Meca-Lozas				
		Finalidad	Tipo de estructura	Ambiente Terrestre	Ambiente Marino	Factor Humano
Tipo de arrecife artificial según la finalidad y objetivo (Diseño, Estructura, Tamaño, Forma, Materiales)	Acción sobre la biodiversidad Marina		Protección con elementos disuasivos	Alteración del borde costero	Protección de los ecosistemas	Control de pesca ante actividades no amigables
		Pesqueros	Producción	Alteración del borde costero	Incremento de la supervivencia, crecimiento y reproducción	Incrementa la biomasa de recursos pesqueros
			Concentración o atracción	Alteración del borde costero	Concentración de especies en una zona determinada - No aumenta productividad	Fácil localización de especies marinas
			Mixtos (producción-concentración)	Alteración del borde costero	Aumenta biomasa de especies marinas	Mejora los ingresos económicos
	Ecologicos	Estructuras de acuerdo a la finalidad	Alteración del borde costero	Incrementa la producción y recuperación de ecosistemas	Protección contra actividades no amigables con el ecosistema	
	Acción sobre Usos Diversos	Educativos y científicos	Estructuras mixtas	Alteración del borde costero	Incrementa la supervivencia, crecimiento y reproducción	Investigación sobre el comportamiento de los ecosistemas
		Turísticos	Estructuras mixtas	Alteración del borde costero	Incrementa la supervivencia, crecimiento y reproducción	Fomenta otras actividades acuáticas y de turismo

4.1.7.3. *Propuesta de flujograma para la implementación de arrecifes artificiales*

De acuerdo con las recomendaciones y especificaciones técnicas, se describieron los aspectos generales más importantes, como base de partida, diseño y documentación necesaria, que incluyen los estudios a nivel ambiental y a nivel de esta investigación (ver Figura 41).

FIGURA 41

Flujograma para la implementación de arrecifes artificiales en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.1.7.4. Características y criterios de diseño e implementación de arrecifes artificiales

Las estructuras se basaron en una propuesta de escenarios de arrecifes artificiales mixtos que favorecerán el reclutamiento, asentamiento, reproducción y repoblamiento, principalmente, de las especies objetivo identificadas en esta investigación.

Estas estructuras tendrán el peso suficiente para otorgar estabilidad contra oleajes y corrientes de fuerte intensidad. Las unidades arrecifales constarán de superficies amplias con huecos dispuestos horizontal y verticalmente, de tal manera que permitan la penetración de la luz solar, la circulación de las corrientes y una mayor oxigenación interna y entre las estructuras arrecifales (ver Figuras 42 y 43).

FIGURA 41

Estructura de atracción y reproducción de peces en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017

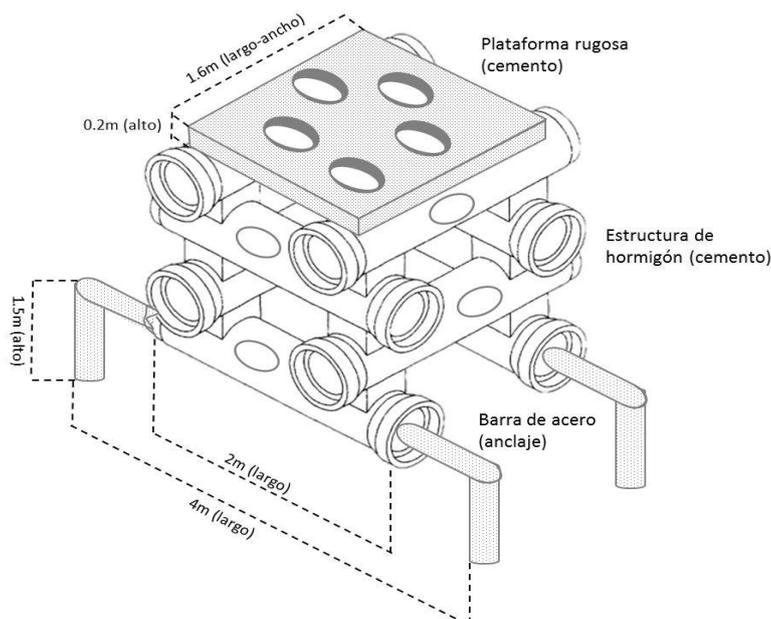
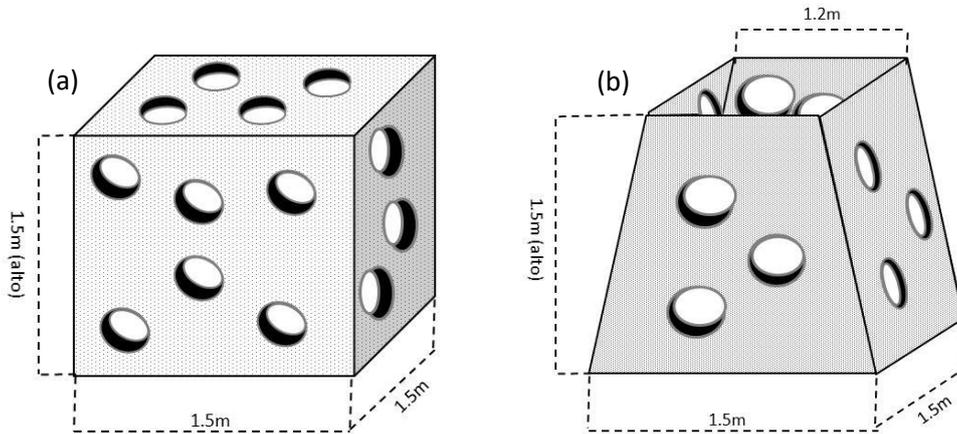


FIGURA 42

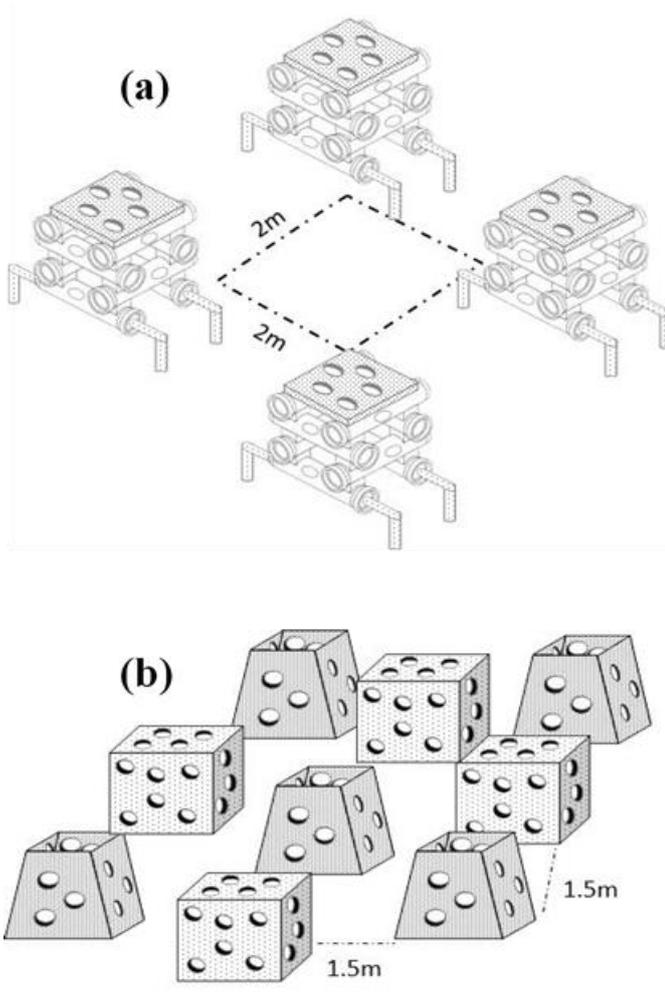
Estructuras de atracción y asentamiento de recursos hidrobiológicos marinos: (a) protección y asentamiento de invertebrados marinos, y (b) atracción de peces e invertebrados marinos, en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



La distribución de las unidades arrecifales, que constituirán los sets, los grupos y el complejo arrecifal, relacionadas a la zona delimitada dentro del área Meca-Lozas, conlleva la formación de tres grupos: a) conglomerado para la atracción y reproducción de peces, b) disperso mixto para la atracción de invertebrados y peces, y c) conglomerado para la protección y asentamiento de invertebrados marinos. Las unidades arrecifales, en el primer grupo, estarán distribuidas cada 2 m; en el segundo grupo, cada 1,5 m; y, finalmente, en el tercer grupo, las estructuras arrecifales estarán juntas entre sí (ver Figuras 44a y 44b). En general, la vida útil de estas estructuras deberá ser mayor a los 50 años.

FIGURA 43

Distribución de las estructuras de atracción y asentamiento de recursos hidrobiológicos marinos: (a) conglomerado para atracción y reproducción de peces, y (b) disperso para atracción de peces e invertebrados marinos, en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



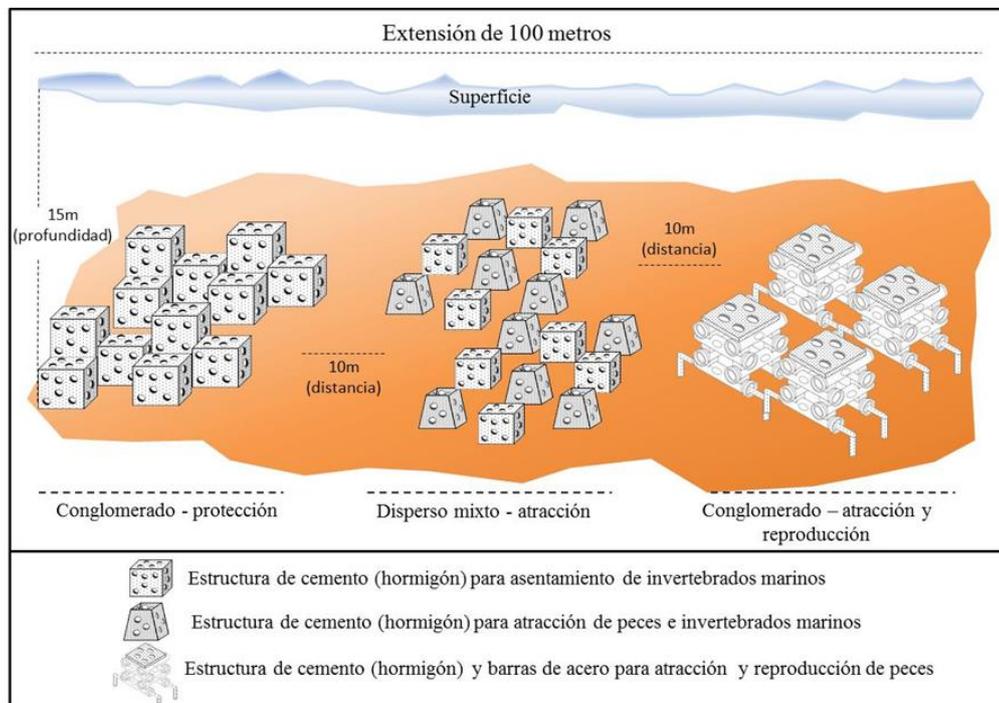
Con relación a los insumos y materiales, estos deberán estar completamente libres de contaminantes, ser durables en el tiempo y no ser corrosivos; por ello, pueden ser de hormigón. Los insumos como el cemento deberán ser puzolánicos, con mayor resistencia a la agresión de las sales del agua de mar. Para las estructuras de metal complementarias a las unidades arrecifales, se utilizarán barras corrugadas

de acero. Las unidades tendrán formas y dimensiones de fácil uso para su construcción y posterior unión entre sí.

Por último, considerando las especies objetivo, el escenario de distribución de los arrecifes mixtos (metal y concreto) en el espacio marino del área de Meca-Lozas será como se indica en la figura 45.

FIGURA 44

Propuesta de escenario de arrecifes artificiales mixtos para la recuperación de recursos hidrobiológicos marinos en el área de Meca-Lozas, en Tacna, 2017



4.2. Contrastación de hipótesis

A partir de lo desarrollado a lo largo de la presente investigación, tomando en cuenta la información biológica, la calidad ambiental, oceanográfica y socioeconómica, y los análisis estadísticos expuestos en las secciones precedentes, hemos demostrado la hipótesis planteada al inicio del trabajo como una respuesta tentativa.

En este sentido, el proceso de análisis y contrastación de las variables independientes y dependientes nos permitió determinar la validez de la hipótesis principal de esta tesis. En efecto, las investigaciones sobre las condiciones y el estado inicial de los hábitats en el ecosistema marino contribuirán en la propuesta final del documento técnico de diseño, tipo, forma, tamaño, número y distribución de las estructuras arrecifales en los hábitats de Meca-Lozas. Esto posibilitará la recuperación y conservación los hábitats en cuanto a la composición de especies y a las diferencias en los atributos de biodiversidad y abundancia de individuos, cumpliendo eficazmente con sus objetivos y funciones ecológicas.

4.2.1. Variables independientes

De lo analizado e investigado, podemos verificar que los estudios preliminares sobre los aspectos biológicos, ecológicos, de calidad ambiental, oceanográficos y socioeconómicos han incrementado de manera significativa nuestro conocimiento sobre las condiciones naturales de los hábitats existentes en el área de Meca-Lozas. De ese modo, se ha podido llegar a una descripción más eficiente de las características físicas, biológicas, ecológicas y socioeconómicas utilizadas y analizadas para tal fin.

Asimismo, se observó que, con esta información, se pudo delimitar con exactitud, dentro del área de estudio, la zona específica para la instalación de las estructuras arrecifales mixtas propuestas para la elaboración del documento técnico de diseño, tipo, forma, tamaño, número y distribución en los hábitats de Meca-Lozas, en Tacna.

Se aprecia también, de los datos analizados que, al identificar las especies y recursos objetivos y estratégicos, estos constituyeron un insumo importante para el planteamiento del objetivo principal, así como de la finalidad de las estructuras arrecifales en la presente investigación.

4.2.2. Variables dependientes

Se determinó que únicamente a través de la información exacta sobre las características biológicas, ecológicas, ambientales, oceanográficas y socioeconómicas se puede materializar la propuesta de diseño y construcción de estructuras arrecifales en un determinado lugar. Se evidenció que, con esos datos procesados, en todas las etapas del proceso de investigación preliminar —cuando se efectúa la selección de áreas, la delimitación de zonas y el levantamiento de información, a efectos de determinar una aplicación correcta—, las probabilidades de un diseño apropiado y exitoso se elevan considerablemente.

De igual manera, se constató que la propuesta para el diseño, la construcción y la instalación de arrecifes artificiales cumple mejor con los objetivos planteados, si se tiene más información y hay un mayor involucramiento de los principales actores. Por ello estimamos que los criterios para definir el diseño, la dimensión y la configuración de elementos como la forma, el tamaño, el peso y el tipo de

superficie, así como el número de estructuras y su disposición en el espacio, pudieron ser identificados a plenitud y que su aplicación ha sido óptima. Así, podemos afirmar que el principal aporte ha sido crear un documento técnico para futuros proyectos de instalación de arrecifes artificiales.

En ese contexto, consideramos que el conocimiento y el manejo de esta información incidirán beneficiosamente en el planteamiento y aplicación de estructuras arrecifales. A su vez, esto permitirá recuperar y conservar los hábitats en cuanto a la composición de especies, además de los atributos de biodiversidad y abundancia de individuos, cumpliendo eficazmente con sus objetivos y funciones ecológicas.

4.3. Discusión de resultados

El presente trabajo de investigación constituye, en el Perú, el primer documento técnico que busca proponer el diseño y construcción de arrecifes artificiales en función a las características propias del área de estudio. Con ese fin, se han analizado diferentes aspectos biológicos, ecológicos, ambientales, oceanográficos y socioeconómicos, y se han empleado diversas técnicas y herramientas. Los objetivos de este proyecto se relacionan con la recuperación y conservación de los hábitats marinos en el área de Meca-Lozas, en Tacna.

Por otro lado, si bien los estudios preliminares resultan fundamentales para la ejecución de proyectos vinculados al diseño y construcción de AA, resulta relevante contar con normativas y lineamientos que contribuyan en la formulación de este tipo de proyectos. En tal sentido, la propuesta de directrices para la construcción, instalación, implementación, gestión y monitoreo de los AA en el

Perú, elaborada en 2016 por el Grupo Técnico de Trabajo Especializado-Arrecifes Artificiales (GTTE-AA), la misma que tiene como base la normativa internacional, debería ser revisada y aprobada por la Comisión Multisectorial para la Gestión Ambiental del Medio Marino-Costero (COMUMA). Esto se debe a que el mencionado documento contiene la propuesta de un marco normativo para el Perú, en materia de arrecifes artificiales.

A nivel internacional, existen diversas normativas sobre el vertimiento de estructuras de AA. México, por ejemplo, exige la presentación de un resolutive de impacto ambiental autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, bajo el régimen de la Secretaría de Marina. En Estados Unidos de América, la construcción de arrecifes artificiales es supervisada por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada, entidad encargada de implementar y evaluar proyectos de restauración ecológica, incluyendo los relacionados a la construcción de AA. En España, la regulación vigente sobre los AA se enmarca en la política pesquera y en la normativa española, que distingue las competencias de la Administración General del Estado y de las comunidades autónomas, y está supeditada a los acuerdos internacionales que España ha suscrito.

El análisis simultáneo de matrices, las cuales integraron las propuestas de otras áreas de investigación, conllevó el empleo de técnicas, metodologías y, sobre todo, experiencias de expertos internacionales. Esto fue primordial para identificar y valorar, en función de la información existente, cada una de las propuestas iniciales.

Por otro lado, si bien la normativa internacional establece los lineamientos necesarios para la ejecución de proyectos relacionados a la construcción e

instalación de los AA —de conformidad con lo señalado por la División de Aplicación de Políticas Ambientales del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Convenio de Londres (1972) y el Protocolo de Londres (1996) de la División del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional (OMI)—, esta no contempla criterios de identificación y priorización de áreas como posibles escenarios para la instalación de AA.

En ese sentido, el análisis realizado en este trabajo, desde una perspectiva integradora y sintética, permitió identificar y describir los principales criterios —como los sociales, económicos, ambientales, ecológicos, pesqueros, científicos, políticos y educativos— para elaborar una matriz genérica de selección de áreas prioritarias para la implementación de AA.

Con relación a los aspectos biológicos, ambientales, oceanográficos y socioeconómicos derivados del planteamiento de los objetivos del presente estudio, observamos que los resultados responden las preguntas planteadas respecto al uso y la aplicación de las estructuras arrecifales.

Estos resultados otorgan un patrón de comportamiento típico del área de Meca-Lozas, que posibilita identificar las especies objetivo que podrían aumentar con la incorporación de nuevas estructuras artificiales, favoreciendo su reproducción y asentamiento, así como considerar las singularidades propias de los hábitats que las conforman. Es importante señalar también que el número de muestreos contribuyó de manera sustancial en la caracterización de los hábitats y de las comunidades que en ellas habitan, haciendo además que los índices de riqueza tengan un valor bastante significativo.

El Instituto del Mar del Perú (2006a) identificó un total de 69 especies, agrupadas en 11 Phylum, las que estarían asociadas en particular a la presencia de *Concholepas concholepas* o “chanque” y a los estructuradores ecosistémicos *Pyura chilensis* o “cochiza”, *Semimytilus algosus* o “chorito” y *Aulacomya atra* o “choro”. Sin embargo, en este estudio se detectaron 151 especies, sobre todo en las zonas donde la profundidad era mayor a los 10 m y donde la presencia y cobertura del *Semimytilus algosus* o “chorito” fue más considerable.

La configuración del fondo marino incluyó plataformas rocosas a profundidades menores a los 10 m y espacios amplios de arena, conchuela y mixtos, principalmente a profundidades mayores a los 10 m. Esta descripción se asemeja a lo reportado por el Imarpe (2006a), donde el lecho marino estuvo representado por sustratos duros, blandos y mixtos a lo largo de los bancos naturales de Meca y Lozas.

Asimismo, en el estudio de las características bioecológicas del banco natural de Santa Rosa, próxima al área de Meca-Lozas, el Imarpe (2006b) describió fondos marinos rocosos, arenosos y combinaciones de ambos. En consecuencia, podemos manifestar que estos ambientes suelen tener ambientes casi similares; no obstante, su configuración y cobertura en el lecho marino podrían generar cambios significativos en la estructuración de las comunidades bentónicas.

Los principales recursos de relevancia económica presentes en el área de Meca-Lozas fueron *Concholepas concholepas* o “chanque”, *Thaisella chocolata* o “caracol” y *Fissurella* sp. o “lapas”. La población de chanque, conformada en su mayoría por ejemplares juveniles, evidenció un rango de tallas entre 23 y 84 mm de longitud peristomal.

Esta misma tendencia fue reportada por el Imarpe (2006a), que aseveró que la talla media del chanque fue 54,84 mm, y que la incidencia de ejemplares juveniles de esta especie fue del 96,16 %. Por ello, dicha área es considerada como un banco semillero al estar conformada por una población joven de chanque. En cuanto al estado reproductivo, la entidad pública indicó que el 40 % de los ejemplares de chanque está en etapa de previtelogénesis y recuperación; mientras que en el presente estudio se halló un estado de máxima madurez en machos y hembras. Se debe resaltar que estas diferencias tuvieron que ver con el periodo de muestreo, que fue en junio y setiembre, respectivamente.

De otro lado, en Andalucía, España, los estudios de prospección realizados en los fondos marinos permitieron detectar ciertas actividades que afectan el ecosistema marino. Por lo tanto, la información obtenida previamente ha permitido elaborar diseños que contrarresten estas actividades. A pesar de ello, la instalación de estos arrecifes no resulta suficiente para proteger estos ecosistemas, si no hay un compromiso asumido de las poblaciones directamente involucradas, así como de las entidades gubernamentales y la comunidad en general (Castillo, 2011).

El área de estudio de la presente investigación se localiza cerca al puerto de El Faro, en el distrito Morro Sama de la provincia de Morro Sama. Los núcleos de población más cercanos son las comunidades de Punta Meca y Morro Sama, además de la población de Ite, que tiene una distribución aproximada de 3299 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2013). Sin embargo, en esta zona se han producido, en los últimos años, cambios demográficos muy importantes.

Con respecto a la actividad pesquera, debe tomarse como referencia el número de pescadores artesanales, cuya evolución ha revelado un ascenso, lo que

parece un reflejo de la migración poblacional de zonas alto andinas, especialmente de Puno. En efecto, este departamento es el lugar de procedencia del 42 % de la población vigente, seguido de Tacna, Moquegua y Arequipa. Esto ha venido influyendo de manera directa en la relación costo-beneficio, presentando cambios considerables de +1 a -1, lo que determina que las ganancias de los pescadores en muchos casos no han superado los costos de inversión.

En una investigación previa para la construcción e instalación de un arrecife artificial en el Mediterráneo de Andalucía, España, destaca el hecho de que en el área de estudio la producción pesquera extractiva comercializaba 3666 toneladas en 2010, y que esta cantidad disminuyó considerablemente en años más recientes (Castillo, 2011). Por ello, el incremento de los pescadores influyó no solo en las densidades poblacionales de las zonas ribereñas, sino también en la disponibilidad de los recursos pesqueros —debido al incremento del esfuerzo pesquero— y, por ende, en los ingresos finales de los pescadores.

En el área de estudio del presente trabajo, esta situación puede revertirse mediante la introducción, en los fondos marinos, de elementos que amplíen y otorguen nuevos espacios para la atracción, asentamiento y reproducción de los recursos hidrobiológicos. Esto permitirá generar, a su vez, actividades socioeconómicas alternativas, como el ecoturismo, el buceo recreativo, la pesca recreativa, entre otros. Por tanto, el establecimiento y diseño de estructuras arrecifales que le confieran un ambiente similar al medio natural servirá para cumplir con estos fines. Así, por ejemplo, Castillo (2011) manifiesta que, entre los principales motores económicos de Andalucía, resalta la actividad turística, la cual

podría repotenciarse con la incorporación de estas estructuras arrecifales en los fondos marinos.

Tras realizar el análisis y la comparación de los aspectos biológicos, ecológicos, ambientales y oceanográficos, se consideró relevante establecer algunos criterios fundamentales para el diseño de los arrecifes. Estos fueron la profundidad, las concentraciones de oxígeno, el pH, la velocidad de corriente, la topografía submarina, el fondo marino, la presencia de organismos claves, las algas, la utilización de artes de pesca y los niveles de contaminación. Por ende, los AA, basados en los objetivos de la investigación, deberán cumplir una función mixta para favorecer el reclutamiento, asentamiento, reproducción y repoblamiento de los recursos hidrobiológicos, en particular de aquellos identificados como estratégicos. Asimismo, deberán otorgar estabilidad, y su diseño y configuración no deberán modificar negativamente las funciones naturales del ecosistema.

Por otra parte, Gayo (1998) analizó diversos diseños de estructuras arrecifales en España y determinó que las formas hidrodinámicas elaboradas con concreto y acero de refuerzo son mejores en comparación con otros elementos naturales o disponibles en el medio. Sin embargo, encontró que existen otras tecnologías más suaves, como el concreto sin acero de refuerzo, más durable y de menor costo, cuyo volumen y peso facilita y hace menos compleja su transportación, hundimiento y colocación. Este es el caso que propone la fundación Reef Ball (www.reefball.org).

No obstante, si consideramos que los materiales e insumos, las dimensiones y las estructuras de los arrecifes no otorgan un peso y volumen adecuado, estos no podrían cumplir a plenitud con su objetivo y por el contrario podrían generar un

problema mayor. Ante ello, resalta la importancia de contar con información relevante del área de estudio, a fin de establecer y diseñar estructuras arrecifales estables, duraderas y no perjudiciales para el ecosistema marino.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La evaluación de los aspectos bioecológicos, ambientales y socioeconómicos de la zona marino-costera de Meca-Lozas en el litoral de Tacna ha permitido elaborar una propuesta técnica de diseño y construcción de estructuras arrecifales efectivas para la recuperación y conservación de sus hábitats. Esta propuesta técnica es un paso importante hacia la implementación de medidas efectivas para la gestión sostenible de los ecosistemas marinos en Meca-Lozas.
- Los resultados bioecológicos y ambientales han permitido comprender la complejidad del ecosistema marino-costero en el área Meca-Lozas, así como resaltar la necesidad de conservar y gestionar adecuadamente estos hábitats para garantizar su sostenibilidad a largo plazo, en especial las zonas de menor profundidad, donde el sustrato rocoso presenta parches del estructurador *Semimytilus algosus* (chorito) y, donde la diversidad fue más representativa. Asimismo, si bien se logró registrar recursos importantes como *Aulacomya atra* (choro) y *Fissurella* sp. (lapas), sus densidades fueron bajas. Por otro lado, los parámetros de calidad ambiental, como los valores de sólidos

suspendidos totales y las concentraciones de mercurio y plomo estuvieron dentro del límite de los ECA's, principalmente en las proximidades de los sectores centro y sur.

- Como parte de la propuesta técnica, y para la identificación y delimitación de hábitats, resulta fundamental, realizar un exhaustivo análisis de aspectos sociales, económicos, ambientales, ecológicos, pesqueros, científicos, políticos, culturales y educativos, acorde con la preservación de las áreas que describan gran relevancia ecológica y funcional. La propuesta de estos criterios técnicos se basa, principalmente en la necesidad de preservar y mantener la biodiversidad en el área Meca-Lozas, considerando la legislación ambiental vigente y los intereses de conservación y aprovechamiento sostenible.
- El espacio delimitado entre la zona 1 ($17^{\circ}57'25,1''$ S – $71^{\circ}54'25,2''$ W) y la zona 2 ($17^{\circ}57'43,2''$ S – $71^{\circ}54'3,6''$ W), dentro de un área aproximada de 0,814 km, reúne las características para instalar arrecifes artificiales, mediante una propuesta técnica que se trasluce en tres grupos arrecifales importantes. Un primer grupo representado por conglomerados para la atracción y reproducción de peces. Un segundo grupo representado por estructuras dispersas y mixtas ideadas para la atracción de invertebrados y peces, y un tercer grupo representado por estructuras conglomeradas para la protección y asentamiento de invertebrados marinos, lo que contribuirá en la preservación y uso sostenible de la biodiversidad, contribuyendo al equilibrio ecológico y la sostenibilidad en el área Meca-Lozas.

5.2. Recomendaciones

- Esta investigación representa un aporte en el campo de estudio relacionado a los arrecifes artificiales. Por lo tanto, estos resultados pueden convertirse en una referencia para futuros proyectos en la zona marina costera del Perú.
- Resulta relevante el planteamiento y establecimiento de protocolos que resuman las metodologías para el levantamiento de información biológica, ambiental y socioeconómica que posibiliten el diseño y construcción de arrecifes artificiales.
- Es fundamental asegurar un compromiso de financiamiento por parte de los gobiernos regionales y locales para la ejecución de proyectos de recuperación de ecosistemas marinos mediante el uso de nuevas tecnologías, como los arrecifes artificiales. Este apoyo político y financiero no solo facilitará la implementación de iniciativas innovadoras que restauren la biodiversidad y mejoren la salud de los océanos, sino que también permitirá a las comunidades locales beneficiarse de un desarrollo sostenible y resiliente. Al invertir en la recuperación de los ecosistemas marinos, los gobiernos regionales no solo cumplen con sus responsabilidades ambientales, sino que también promueven la creación de empleos y el fortalecimiento de la economía local, garantizando un futuro próspero y equilibrado para las generaciones venideras.
- Este trabajo contribuye a las propuestas de instalación de estructuras arrecifales, por lo que las metodologías pueden ser aplicadas en cualquier lugar y/o espacio marino en la zona marina costera del Perú.

BIBLIOGRAFÍA

- Álamo, V. y V. Valdivieso (1997). *Lista sistemática de moluscos marinos del Perú*. Instituto del Mar del Perú. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/1436/1/LISTA%20SIS%20TEMATICA%20DE%20MOLUSCO.pdf>.
- Anderson, M. J.; R. N. Gorley y K. R. Clarke (2008). *PERMANOVA+ for PRIMER. Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-e Ltd.
- Arenas, V.; M. Á. Lozano; M. L. Jiménez; C. Meiners; M. E. Velarde... (2011). *Biodiversidad marina de la costa central de Veracruz*. Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología.
- Argüelles, J.; E. Torres; W. Condori y R. Cisneros (2016). Protocolo para muestreo biológico y biométrico de gasterópodos marinos. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 43(4), 365-374. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3124/1/Informe%2043%284%29-3.pdf>.
- Banco Central de Reserva del Perú (2013). *Informe económico y social. Región Tacna. Encuentro económico*. Banco Central de Reserva del Perú. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2013/tacna/ies-tacna-2013.pdf>.

- Bergasa, O.; I. Blanch; A. Boyra; Y. Cárdenes; F. Espino... (2004). *Canarias por una costa viva. Memoria final del proyecto 2002-2004*. Bioges.
<https://www.oceanografica.com/descargas/MemoriaCCV.pdf>.
- Bohnsack, J. y D. Sutherland (1985). Artificial Reef Research: a Review with Recommendations for Future Priorities. *Bulletin of Marine Science*, 37(1), 11-39.
<https://www.researchgate.net/publication/233528170>.
- Carpenter, J. H. (1966). New Measurements of Oxygen Solubility in Pure and Natural Water. *Limnology and Oceanography*, 11(2), 264-277.
<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.1966.11.2.0264>.
- Castillo, C. (2015). *Aspectos bioecológicos y socio-económicos del banco natural Meca-Las Lozas de la provincia Jorge Basadre Grohmann de Tacna, como potencial área marina protegida*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1008/TM166_Castillo_Rojas_CR%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Castillo, F. del (2011). *Estudio previo para la construcción e instalación de un arrecife artificial en el LIC "Arrecifes de roquetas de mar" (Almería). Proyecto LIFE09 NAT/ES/000534*. Junta de Andalucía.
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/397194/Anejo_A4_LIFERoquetas.pdf.
- Chao, A. (1987). Estimating the Population Size for Capture-Recapture Data with Unequal Catchability. *Biometrics*, 43(4), 783-791. [http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/1000%20Taiwan%20\(Independent\)/PDF/Biometrics43,%20783.pdf](http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/1000%20Taiwan%20(Independent)/PDF/Biometrics43,%20783.pdf).
- Chirichigno, N. (1970). Lista de crustáceos del Perú (Decápoda y Stomatópoda) con datos de su distribución geográfica. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 35, 3-95.
<https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/263/1/INF%2035.pdf>.

- Clarke, K. R. y R. N. Gorley (2006). *PRIMER v6. User Manual/Tutorial*. Primer-E Ltd.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (2010). *Informe "Uso potencial y regulación de arrecifes artificiales en México"*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca / Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104395/Act_04_Informe_Taller_Arrecifes_Artificiales_Cam2010.pdf.
- Daza, J.; R. Vela y J. García (2008). *Los arrecifes artificiales en Andalucía*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Arrecifes%20artificiales.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias. (7 de junio de 2017). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 015-2015-MINAM, que modifica los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establece disposiciones complementarias para su aplicación. (19 de diciembre de 2015). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/Decreto-Supremo-N%C2%B0-015-2015-MINAM.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 096-2013-PCM, que crea la Comisión Multisectorial de Naturaleza Permanente para la Gestión Ambiental del Medio Marino-Costero. (27 de agosto de 2013). <https://www.minam.gob.pe/comuma/wp-content/uploads/sites/106/2015/07/DS-N%C2%B0-096-2013-PCM-Crean-COMUMA.pdf>.
- Decreto Supremo n.º 002-2008-MINAM, que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. (30 de julio de 2008). https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2008-minam.pdf.

- Edwards, A. y E. Gomez (2007). *Reef Restoration. Concepts & Guidelines: Making sensible management choices in the fase of uncertainty*. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme. https://www.researchgate.net/publication/237049987_Reef_Restoration_Concepts_Guidelines.
- Foote, K. G.; H. P. Knudsen; G. Vestnes; R. Brede y R. L. Nielsen (1981). Improved Calibration of Hydroacoustic Equipment with Copper Spheres. *International Council for the Exploration of the Sea*, CM1981/B:20, (mimeo). https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/bitstream/handle/11250/102773/CM_1981_B_20.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Gayo, J. (1998). Arrecifes artificiales: estructuras llenas de vida. *Informes de la Construcción*, 50 (458), 5-16. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/875/957>.
- Gobierno Regional de La Libertad (2009). *Mejoramiento del hábitat marino-costero mediante la construcción e implementación de “arrecifes artificiales” en la localidad de Magdalena de Cao, provincia de Ascope, departamento de La Libertad. Expediente técnico*. Gobierno Regional de La Libertad. Gerencia Regional de la Producción.
- Gobierno Regional de Tacna (2014). *Estudio socioeconómico. Asociación de buzos civiles y pescadores artesanales de la heroica ciudad de Tacna. Octubre 2014*. Gobierno Regional de Tacna.
- Grasshoff, K.; K. Kremling y M. Ehrhardt (1999). *Methods of Seawater Analysis. Extended Edition*. Wiley-VCH.

- Grove, R. y C. Sonu (1983). *Review of Japanese Fishing Reef Technology. Technical Report. 83-RD-137, P112.* Southern California Edison Company
- Heltshe, J. F. y N. E. Forrester (1983). Estimating Species Richness Using the Jackknife Procedure. *Biometrics*, 39(1), 1-11.
- Hernández-Sampieri, R. y C. Mendoza (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México D. F.: Mc Graw Hill Education.
- Instituto del Mar del Perú (2023). *Estado biológico poblacional y ambiental de los recursos caracol, cangrejo peludo y choro en las islas Ballestas-Paracas-Pisco-Ica. Informe interno.* Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras.
- Instituto del Mar del Perú (2021). *Estado biológico poblacional de los recursos caracol, concha pintada y pulpo en las islas Chincha-Paracas-Pisco-Ica. Informe interno.* Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras.
- Instituto del Mar del Perú (2019). *Evaluación de la información recopilada en el sitio piloto Meca-Lozas, en Tacna, como propuesta para la instalación de arrecifes artificiales en Perú. Taller de trabajo. Informe interno.* Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras.
- Instituto del Mar del Perú (2017a). *Acciones conjuntas de cooperación científica, tecnológica y financiera en el marco del proyecto Arrecifes artificiales en el Perú. Informe interno.* Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones en Biodiversidad.
- Instituto del Mar del Perú (2017b). *Comunidades bentónicas de los ecosistemas de fondos blandos y duros en el intermareal y submareal somero. Sitio piloto Punta San Juan, 2014. Informe interno.* Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones en Biodiversidad.

- Instituto del Mar del Perú (2016). Arrecifes artificiales: *Estrategia para la conservación de ecosistemas marinos en el Perú. I Curso-Taller. Informe interno*. Instituto del Mar del Perú / Área Funcional de Investigaciones en Biodiversidad.
- Instituto del Mar del Perú (2013). *Protocolo de muestreo de agua, sedimentos y organismos acuáticos*. Instituto del Mar del Perú.
- Instituto del Mar del Perú (2006a). *Estudio de las características bioecológicas de bancos naturales “semilleros” Meca-Las Lozas, en la región Tacna. Informe interno*. Instituto del Mar del Perú / Centro Regional de Investigación Pesquera de Ilo.
- Instituto del Mar del Perú (2006b). *Estudio de las características bioecológicas de bancos naturales “semilleros” Santa Rosa, en la región Tacna. Informe interno*. Instituto del Mar del Perú / Centro Regional de Investigación Pesquera de Ilo.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2013). *Compendio estadístico del Perú 2013* (t. 1). Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Jensen, A. C.; K. J. Collins y A. P. M. Lockwood (eds.) (2000). *Artificial Reefs in European Seas*. Kluwer Academic Publishers.
- Marincovich, L. (1973). Intertidal Mollusks of Iquique, Chile. *Bulletin of the Natural History Museum of Los Angeles County*, (16), 1-49.
- Marenter (2014). Aplicaciones diversas de arrecifes artificiales a base de elementos de concreto tipo ReefBall. *ArtificialReefs*. <https://www.artificialreefs.org/ScientificReports/Aplicaciones%20Diversas%20de%20Arrecifes%20Artificiales.htm>.
- Ministerio del Ambiente (2016). *Propuesta de directrices para la construcción, instalación, implementación, gestión y monitoreo de los arrecifes artificiales (AA) en el Perú*. Grupo Técnico de Trabajo Especializado “Arrecifes Artificiales” de la Comisión Multisectorial para la Gestión Ambiental del Medio Marino Costero -

- COMUMA. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/comuma/wp-content/uploads/sites/106/2018/08/directrices.pdf>.
- Ministerio del Ambiente (2010b). *El Convenio sobre la Diversidad Biológica en el Perú. Análisis de su aplicación y avances en el Perú*. Ministerio del Ambiente. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/321/BIV00192.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ministerio del Ambiente (2010a). *Compendio de la legislación ambiental peruana. Volumen V. Calidad ambiental*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39056>.
- Ministerio de Medio Ambiente (2008). *Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales*. Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20arrecifes%20artificiales_tcm30-157012.pdf.
- Nuez, D. de la (2013). Los arrecifes artificiales y la protección del ecosistema marino. *Ojo científico*. <http://www.ojocientifico.com/4806/los-arrecifesartificiales-y-la-proteccion-del-ecosistema-marino>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2010). *Visión general del sector pesquero nacional. Perú. FID/CP/PER*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/fcp/es/FI_CP_PE.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (s. f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/mdg/goal-7/es/>.
- Ortiz, J. C. (2015). *Introducción a la oceanografía física. Notas de clase*. Universidad del Norte.

- Pérez, R. (2001). Arrecifes artificiales. “Una nueva forma de conservación de ecosistemas marinos”. *Diálogos*, 2(2), 57-64.
<http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/artificialreefbenefitsenespanol.pdf>
- Ramos, A. (2002). Arrecifes artificiales como medidas de restauración de hábitats marinos costeros. *Ecosistemas*, 11(1).
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/305/300>.
- Real Decreto n.º 798/1995, por el que se define los criterios y condiciones de las intervenciones con finalidad estructural en el sector de la pesca, de la acuicultura y de la comercialización, la transformación y la promoción de sus productos. (19 de mayo de 1995). <https://www.boe.es/boe/dias/1995/06/29/pdfs/A19596-19614.pdf>.
- Resolución Ministerial n.º 005-2014-MINAM, que aprueba el Reglamento Interno de la Comisión Multisectorial de Gestión Ambiental del Medio Marino-Costero. (9 de enero de 2014). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/01/RM-N%C2%B0-005-2014-MINAM.pdf>
- Resolución Ministerial n.º 003-2002-PE, que aprueba el Protocolo de Monitoreo de Efluentes para la Actividad Pesquera de Consumo Humano Indirecto y del Cuerpo Marino Receptor. (10 de enero de 2002).
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/per158351.pdf>.
- Riggio, S.; F. Badalamenti y G. D’Anna (2000). Artificial Reefs in Sicily: An Overview. En A. C. Jensen, K. J. Collins y A. P. M. Lockwood (eds.), *Artificial Reefs in European Seas* (pp. 65-73). Kluwer Academic Publishers.
- Riley, J. P. y R. Chester (1971). *Introduction to Marine Chemistry*. Academic Press.
- Sanjinez, M.; A. Taipe; P. Berrú y S. Alfaro (2016). Protocolo para muestreo biológico y biométrico de bivalvos marinos. *Informe Instituto del Mar del Perú*, 43(4), 349-364.

<https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3118/1/Informe%2043%284%29-2.pdf>.

Seaman, W. y L. Sprague (1991). *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. Academic Press.

Tunnell, J.; E. Chávez y K. Withers (eds.) (2010). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas / Instituto Politécnico Nacional. https://www.researchgate.net/profile/Ernesto-Chavez-2/publication/287243414_Coral_reefs_of_the_Southern_Gulf_of_Mexico/links/575869ab08ae9a9c954a77ba/Coral-reefs-of-the-Southern-Gulf-of-Mexico.pdf.

ANEXOS

Anexo 1

Formato 1. Matriz de información de área propuestas para arrecifes artificiales

I. NOMBRE DE ÁREA	II. DELIMITACIÓN DEL ÁREA	III. FINALIDAD DEL USO DE ÁREA *	IV. OBJETIVO (x) *	
Propuesta del Área de estudio.	Ubicación con coordenadas geográficas, profundidad, tipo de sustrato, accesibilidad al área (Incluir mapas).	Interacción sobre el Medio Marino.	Arrecifes Artificiales de protección de zonas costera.	
			Arrecifes Artificiales para la protección del fondo marino.	
			Arrecifes Artificiales para incrementar el turismo y ocio en zonas costeras.	
			Arrecifes Artificiales para la creación de zonas de fondeo.	
			Arrecifes Artificiales para protección de infraestructura marina	
		Interacción sobre Comunidades Marinas.	Arrecifes Artificiales para la protección e incremento de la biodiversidad marina.	
			Arrecifes Artificiales para el incremento de los recursos pesqueros (Producción).	
			Arrecifes Artificiales para la concentración o atracción de recursos pesqueros.	
			Arrecifes Artificiales mixtos (Protección, Producción y Concentración).	
		Interacción sobre el Ecosistema.	Arrecifes Artificiales para la recuperación de ecosistemas marinos.	
			Arrecifes Artificiales para la recuperación de ecosistemas marinos degradados.	
		De Usos Múltiples	Arrecifes Artificiales para el buceo recreativo.	
			Arrecifes Artificiales para la pesca recreativa.	
Arrecifes Artificiales para la educación y ciencia.				
Profesional encargado de completar el formato: Nombre y apellido/correo electrónico/teléfono de contacto.				
*Tomado de la propuesta: " DIRECTRICES PARA LA CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, GESTIÓN Y MONITOREO DE LOS ARRECIFES ARTIFICIALES (AA) EN EL PERÚ" (Documento en revisión para su aprobación y publicación).				

Anexo 2

Formato 2. Matriz de información biológica, pesquera, ambiental, socioeconómica y cultural de áreas propuestas para arrecifes artificiales

V. INFORMACIÓN GENERAL DEL USO DE ÁREA *										VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	VII. OTRAS OBSERVACIONES
5.1. SOCIOECONÓMICOS	DETALLE DE LA INFORMACIÓN	5.2. AMBIENTALES	DETALLE DE LA INFORMACIÓN	5.3. ECOLOGICOS	DETALLE DE LA INFORMACIÓN	5.4. PESQUEROS	DETALLE DE LA INFORMACIÓN	5.5. CULTURAL	DETALLE DE LA INFORMACIÓN		
Rutas de navegación		Clima (vientos)		Comunidades biológicas		N° zonas de Pesca		N° conflictos sociales			
Turismo (Deportes y actividades náuticas).		Oceanografía		Diversidad de especies (especies protegidas).		N° de pescadores		Percepción del usuario por el área de uso			
Áreas de acuicultura y repoblamiento		Transporte de sedimento		Habitats (frágiles).		N° pescadores embarcados y no embarcados		Patrones de uso del área			
Emisores submarinos		Geomorfología		Fuente sumidero CO2		Esfuerzo pesquero		Toma de decisiones en el área			
Zonas militares		Calidad de agua		Rutas migratorias de especies marinas		N° de bancos naturales		Conocimiento y entendimiento del área			
Industria pesquera		Calidad de sedimentos				N° de recursos comerciales.		N° de recursos comerciales			
Patrimonio histórico		Batimetría				N° de artes de pesca		N° de artes de pesca			
Áreas Naturales Protegidas		Batilitología				% de aporte al PBI local de la actividad de pesca		% de aporte al PBI local de la actividad de pesca			
Cercanía de comunidades locales		Corrientes									
N° de empleos generados (Población directamente beneficiaria)		Contaminación									
Infraestructura urbana e industrial (P.e. muelles, desembarcaderos, plantas termoelectricas).		Otros									
Ínteres para el financiamiento externo (GORE's, Universidades, ONG's, sector privado).											
N° de conflictos sociales											
% de aporte al PBI local de otras actividades											
Nivel de pobreza											
Ingreso Percapita											
Profesional encargado de completar el formato: Nombre y apellido/correo electrónico/teléfono de contacto.											
*Tomado de la propuesta: " DIRECTRICES PARA LA CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, GESTIÓN Y MONITOREO DE LOS ARRECIFES ARTIFICIALES (AA) EN EL PERÚ" (Documento en revisión para su aprobación y publicación).											