

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Investigación de zonas aptas para el cultivo multi trófico integrado de
Kappaphycus alvarezii y *Crassostrea gigas* en Santa Elena-Ecuador

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Oceanográfica

Presentado por:

Lady Nicole Macas Mendez

GUAYAQUIL - ECUADOR

2021

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios, a mis queridos papá y mamá, hermanos, sobrino, a mi compañero y a ti, querido lector.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi estimado tutor, el Dr. Franklin Ormaza, por su guía y paciencia, a mi cliente, CENAIM, por su gran ayuda y facilidades prestadas en el trabajo de campo, al M.Sc. Divar Castro por sus aportes a la culminación de este proyecto, a la Dra. Indira Nolivos y M.Sc. Jonathan Cedeño por la información aportada y a mis queridas amigas y colegas, por sus palabras de aliento y constante apoyo, gracias.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; yo *Lady Nicole Macas Mendez* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lady Nicole Macas Mendez', written over a horizontal line.

Lady Nicole Macas
Mendez

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**LUIS MIGUEL
ALTAMIRANO
PEREZ**

.....
Luis M. Altamirano Perez, MSc
PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**FRANKLIN ISAAC
ORMAZA
GONZALEZ**

.....
Franklin I. Ormaza Gonzáles, PhD
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La maricultura ha generado interés en los últimos años debido a su importancia en la obtención de alimentos de alto valor nutricional para la creciente población mundial (FAO, 2015). En Ecuador se busca promover la diversificación del sector acuícola, por lo que este proyecto tiene como objetivo identificar zonas potenciales para el cultivo multi trófico de *Kappaphycus alvarezii* y *Crassostrea gigas*, en Santa Elena — Ecuador, ya que, para potenciar la producción de estas especies es necesaria la planeación espacial, teniendo como base los requerimientos biológicos de los organismos a cultivar, la normativa legal vigente y considerando posibles conflictos de uso. Se identificaron y obtuvieron 9 criterios ambientales y socio económicos, haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica y teledetección, a través de los satélites MODIS-Aqua de la NASA, CMEMS y la NOAA. El procesamiento de los criterios se realizó en ArcGIS, en donde a partir de métodos geoestadísticos de interpolación se obtuvieron capas con valores promedios de 10 años (2010-2019) para la época húmeda, época seca y anual, posteriormente se realizó la reclasificación de estas capas en base a los rangos óptimos de cultivo de ambas especies, para finalmente continuar con la superposición booleana de capas, dando como resultado un mapa donde se muestran las áreas aptas para el cultivo, que cubren 25 881.98 hectáreas, el 4.41% del área de estudio. Estos resultados indican que el análisis multicriterio ofrece una visión general que resulta importante para la toma de decisiones dentro del manejo costero integrado y la planeación espacial.

Palabras Clave: SIG, teledetección, maricultura, booleano, AMTI

ABSTRACT

*According to the Food and Agricultural Organization Mariculture has generated interest in recent years due to its importance in obtaining foods of high nutritional value for the growing world population. In Ecuador, the aim is to promote the diversification of the aquaculture sector, so this project goals to identify potential areas for the multi-trophic cultivation of *Kappaphycus alvarezii* and *Crassostrea gigas*, in Santa Elena – Ecuador. To enhance the production of these species Spatial planning is necessary, based on the biological requirements of the organisms to be cultivated, the current legal regulations and considering possible conflicts of use. Nine environmental and socio-economic criteria were identified and obtained, making use of Geographic Information Systems and remote sensing, through the MODIS-Aqua satellites of NASA, CMEMS and NOAA. The processing of the criteria was carried out in ArcGIS, where from geostatistical interpolation methods, layers with average values of 10 years (2010-2019) were obtained for the wet season, dry season and annual, later the reclassification of these was carried out. layers based on the optimal cultivation ranges of both species, to finally continue with the Boolean superposition of layers, resulting in a map showing the areas suitable for cultivation, which cover 25881.98 hectares, 4.41% of the study area. These results indicate that multi-criteria analysis offers an overview that is important for decision-making within integrated coastal management and spatial planning.*

Keywords: *GIS, remote sensing, mariculture, boolean, AMTI*

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 15 |
| 1. Introducción | 15 |
| 1.1 Descripción del problema | 15 |
| 1.2 Justificación del problema..... | 16 |
| 1.3 Objetivos | 19 |
| 1.3.1 Objetivo General | 19 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 19 |
| 1.4 Estado de la Maricultura en Ecuador | 19 |
| 1.5 Cultivo de especies exóticas..... | 20 |
| 1.5.1 Cultivo de <i>Kappaphycus alvarezii</i> | 21 |
| 1.5.1.1 Factores ambientales clave para el cultivo de K. alvarezii | 22 |
| 1.5.2 Cultivo de <i>Crassostrea gigas</i> | 24 |
| 1.5.2.1 Factores ambientales clave para el cultivo de C. gigas..... | 25 |
| 1.6 Uso de herramientas SIG y Análisis Multicriterio en planeación espacial | 27 |
| CAPITULO 2 | 28 |
| 2. Metodología | 28 |
| 2.1 Proceso de diseño | 28 |
| 2.2 Selección de criterios..... | 29 |
| 2.3 Obtención y tratamiento de datos satelitales | 30 |
| 2.3.1 Área de estudio..... | 30 |
| 2.3.2 Áreas Marinas Protegidas | 31 |
| 2.3.3 Puertos pesqueros y caletas | 32 |
| 2.3.4 Batimetría..... | 33 |
| 2.3.5 Clorofila – a, Temperatura Superficial del Mar, Kd PAR y Coeficiente de atenuación (Kd490)..... | 33 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| 2.3.6 | Salinidad y Corrientes | 33 |
| 2.4 | Software | 33 |
| 2.5 | Métodos geoestadísticos y de análisis espacial sobre las capas ráster | 34 |
| 2.5.1 | Estadísticas focalizadas | 34 |
| 2.5.2 | Calculadora ráster | 34 |
| 2.5.3 | Kriging..... | 34 |
| 2.6 | Obtención de datos in situ | 35 |
| 2.7 | Métodos de validación de datos in situ con datos satelitales | 37 |
| 2.8 | Análisis Multicriterio a través de SIG | 37 |
| 2.8.1 | Método booleano | 37 |
| CAPÍTULO 3 | | 39 |
| 3. | Resultados Y ANÁLISIS..... | 39 |
| 3.1 | Datos obtenidos del CTD | 39 |
| 3.2 | Resultados de análisis de laboratorio de datos in situ | 40 |
| 3.3 | Validación de datos | 43 |
| 3.3.1 | Coeficientes de correlación | 45 |
| 3.4 | Mapas de criterios de cultivo | 46 |
| 3.4 | Mapas booleanos de criterios de cultivo | 52 |
| 3.5 | Mapas de zonas aptas | 52 |
| 3.6 | Discusión..... | 54 |
| CAPÍTULO 4 | | 57 |
| 4. | Conclusiones Y Recomendaciones..... | 57 |
| 4.1 | Conclusiones | 57 |
| 4.2 | Recomendaciones..... | 58 |
| Bibliografía | | 60 |
| APÉNDICES..... | | 70 |
| 5. | Apéndice A | 70 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1 | Conceptos relevantes al estudio..... | 70 |
| 6. | Apéndice B | 72 |
| 6.1 | Características socioeconómicas del área de estudio | 72 |
| 6.1.1 | Áreas Marinas Protegidas en la zona..... | 72 |
| 6.1.2 | Actividades económicas..... | 73 |
| 7. | Apéndice C | 77 |
| 7.1 | Características ambientales del área de estudio | 77 |
| 7.1.1 | Batimetría..... | 78 |
| 7.1.2 | TSM | 79 |
| 7.1.3 | Salinidad | 80 |
| 7.1.4 | Turbidez | 81 |
| 7.1.5 | Visibilidad..... | 82 |
| 7.1.6 | Nitrito-N..... | 82 |
| 7.1.7 | Nitrato-N..... | 82 |
| 7.1.8 | Fosfato-P | 83 |
| 7.1.9 | Clorofila-a..... | 83 |
| 7.1.10 | Fitoplancton | 84 |
| 7.1.11 | Corrientes | 85 |
| 8. | Apéndice D | 87 |
| 8.1 | Leyes nacionales para la maricultura..... | 87 |
| 8.2 | Leyes internacionales para la maricultura..... | 88 |
| 9. | Apéndice E | 89 |
| 9.1 | Beneficios e impactos del cultivo multi trófico de ostras y macroalgas | 89 |
| 10. | Apéndice F..... | 91 |
| 10.1 | Procedimiento de análisis de laboratorio | 91 |
| 10.1.1 | Sólidos Suspendidos Totales (SST)..... | 91 |
| 10.1.2 | Clorofila..... | 91 |

| | | |
|--------|---|----|
| 10.1.3 | Fitoplancton | 92 |
| 10.1.4 | Nitrito-N y fosfato-P | 92 |
| 10.1.5 | Nitrato-N..... | 92 |
| 11. | Apéndice G | 93 |
| 11.1 | Mapas booleanos de los criterios de cultivo | 93 |

ABREVIATURAS

| | |
|----------|---|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| CENAIM | Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas |
| FAO | Food Agriculture Organization |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| MAGAP | Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca |
| TSM | Temperatura Superficial del Mar |
| MMO | Marine Management Organization |
| PAR | Radiación Fotosintéticamente Activa |
| JICA | Agencia de Cooperación Internacional de Japón |
| CNA | Cámara Nacional de Acuicultura |
| SIG | Sistemas de Información Geográfica |
| INOCAR | Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada |
| SNAP | Sistema Nacional de Áreas Protegidas |
| SPINCAM | Southeast Pacific Data and Information Network in Support to Integrated Coastal Area Management |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| CMEMS | Servicio de Monitoreo del Medio Marino de Copernicus |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| MODIS | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer |
| NetCDF | Network Common Data Form |
| ESRI | Environmental Systems Research Institute |
| CTD | Conductividad, Temperatura y Profundidad |
| TULSMA | Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente |
| STM | Secretaría Técnica del Mar |
| CONVEMAR | Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| kg | Kilogramo |
| mg | Miligramo |
| g | Gramo |
| m | Metro |
| km | Kilómetro |
| ha | Hectáreas |
| ups | Unidades Practicas de Salinidad |
| cm | Centímetro |
| s | Segundo |
| m ³ | Metro cúbico |
| mm ³ | Milímetro cúbico |
| P | Fósforo |
| N | Nitrógeno |
| °C | Grado Celsius |
| cel | Células |
| Abs. | Absorbancia |
| μmol | Micro mol |
| μl | Micro litro |
| nm | Nanómetro |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Producción acuícola mundial. (FAO, 2020; pág. 22) | 15 |
| Figura 1.2 Producción mundial de pesca de captura y acuicultura. (FAO, 2020) | 17 |
| Figura 1.3 Control de dispersión de la macroalga. (Paredes, 2016)..... | 21 |
| Figura 1.4 Área geográfica potencial para el cultivo de <i>K. alvarezii</i> . (Hayashi et al., 2010) | 21 |
| Figura 1.5 Método de siembra en líneas. (Rincones, 2016)..... | 22 |
| Figura 1.6 Reclasificación de PAR para la idoneidad de cultivo de macroalgas, unidades en moles/m ² -d. (Roesijadi et al., 2011) | 23 |
| Figura 1.7 Método de siembra de ostras en Long-line. (García, 2015) | 25 |
| Figura 1.8 Valvas de <i>Crassostrea gigas</i> . (Gofas, 1982)..... | 25 |
| Figura 1.9 Efectos de la velocidad de la corriente en estructuras de cultivo y organismos cultivados. (Kapetsky et al., 2013)..... | 26 |
| Figura 2.1 Primera parte del proceso de diseño del proyecto. (Elaboración propia) .. | 28 |
| Figura 2.2 Segunda parte del proceso de diseño del proyecto. (Elaboración propia) | 28 |
| Figura 2.3 Localización del área de estudio. (Elaboración propia) | 31 |
| Figura 2.4 Áreas Marinas Protegidas en la zona de estudio (Elaboración propia)..... | 32 |
| Figura 2.5 Puertos pesqueros artesanales y caletas más relevantes en la provincia de Santa Elena (Elaboración propia) | 32 |
| Figura 2.6 Ejemplo de estadísticas focalizadas en vecindades rectangulares. (ESRI, 2016) | 34 |
| Figura 2.7 Análisis de tendencia espacial del coeficiente de atenuación. (Elaboración propia) | 35 |
| Figura 2.8 Ubicación de las estaciones de muestreo para sicigia y cuadratura (Elaboración propia) | 36 |
| Figura 2.9 Coeficiente de correlación de Pearson. (Hernández et al., 2018)..... | 37 |
| Figura 2.10 Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson. (Hernández et al., 2018) | 37 |
| Figura 3.1 Anomalías de SST en las 4 regiones Niño (NOAA, 2021)..... | 40 |
| Figura 3.2 Variación de la TSM (°C) in situ con la profundidad (Elaboración propia) | 43 |
| Figura 3.3 Variación de la TSM (°C) satelital con la profundidad (Elaboración propia) | 43 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.4 Variación de la Salinidad (UPS) in situ con la profundidad (Elaboración propia) | 44 |
| Figura 3.5 Variación de la Salinidad (UPS) satelital con la profundidad (Elaboración propia) | 44 |
| Figura 3.6 Diagramas de correlación lineal de TSM entre datos satelitales e in situ. (Elaboración propia) | 45 |
| Figura 3. 7 Distancia a puertos/caletas en el área de estudio. (Elaboración propia). 46 | |
| Figura 3.8 Batimetría para el área de estudio. (Elaboración propia) | 46 |
| Figura 3.9 Concentración promedio de clorofila-a (a) en época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia) | 47 |
| Figura 3.10 TSM promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia) | 48 |
| Figura 3.11 Kd490 promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia) | 49 |
| Figura 3.12 PAR promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para el área de estudio. (Elaboración propia) | 50 |
| Figura 3.13 Salinidad promedio anual para el área de estudio. (Elaboración propia) 51 | |
| Figura 3.14 Valores promedio anuales de corrientes para el área de estudio. (Elaboración propia) | 51 |
| Figura 3.15 Mapa booleano de zonas aptas para el posible cultivo más allá de las 3 millas náuticas para (a) mapa A, (b) mapa B y (c) mapa C | 53 |
| Figura 3.16 Mapa A' de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas | 53 |
| Figura 3.17 Mapa B' de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas | 54 |
| Figura 3.18 Mapa C de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas | 54 |
| Figura 6.1 Sectores de petróleo y gas en el área del golfo de Guayaquil. Nota: faltan datos sobre pozos en la zona ecuatoriana (COI-UNESCO, 2021)..... | 74 |
| Figura 6.2 Cables submarinos en el área del golfo de Guayaquil. (COI-UNESCO, 2021) | 75 |
| Figura 6.3 Sector del transporte marítimo y puertos en el área del golfo de Guayaquil (COI-UNESCO, 2021) | 75 |

| | |
|--|----|
| Figura 6.4 Sector pesquero en el área del golfo de Guayaquil. (COI-UNESCO, 2021) | 76 |
| Figura 7.1 Localización de las Macrozonas. (Consulsua – Geoestudios, 2014) | 77 |
| Figura 7.2 Esquema de las áreas 7 y 8. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 78 |
| Figura 7.3 Localización de afloramientos de materiales en el área 7. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 78 |
| Figura 7.4 Localización de afloramientos de materiales en el área 8. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 79 |
| Figura 7.5 Ubicación de estaciones en la Macrozona 4 para el registro de corrientes. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 85 |
| Figura 7.6 Ubicación de estaciones en la Macrozona 5 para el registro de corrientes. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 86 |
| Figura 9.1 Las macroalgas reducen la acidificación. (Price, 2018) | 89 |
| Figura 11.1 Mapa booleano de Áreas Marinas Protegidas | 93 |
| Figura 11.2 Mapa booleano de batimetría | 93 |
| Figura 11.3 Mapa booleano de distancia a puertos/caletas | 94 |
| Figura 11.4 Mapa booleano de Salinidad promedio anual | 94 |
| Figura 11.5 Mapa booleano de clorofila-a para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual | 95 |
| Figura 11.6 Mapa booleano de TSM para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual | 96 |
| Figura 11.7 Mapa booleano de KD490 para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual | 97 |
| Figura 11.8 Mapa booleano de PAR para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual | 98 |
| Figura 11.9 Mapa booleano de corrientes promedio | 99 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Problemas asociados a la falta de planeación espacial y oportunidades derivadas de la zonificación acuícola. (FAO, 2018) | 18 |
| Tabla 1.2 Consideraciones sobre la introducción de las especies objetivo de este proyecto..... | 20 |
| Tabla 1.3 Impacto de distintos rangos de TSM sobre <i>K. alvarezii</i> . (Glenn,1990) | 22 |
| Tabla 1.4 Rangos de tolerancia de crecimiento de <i>K. alvarezii</i> para distintas variables. (Elaboración propia) | 24 |
| Tabla 1.5 Rangos de tolerancia de crecimiento de <i>C. gigas</i> para distintas variables. (Elaboración propia) | 27 |
| Tabla 2.1 Definición de Factores y Restricciones para el cultivo. (Elaboración propia) | 29 |
| Tabla 2.2 Lista de equipos para toma de muestras | 36 |
| Tabla 2.3 Booleanización de los criterios. (Elaboración propia) | 38 |
| Tabla 3.1 Temperatura y Salinidad tomadas en sicigia y cuadratura a distintas profundidades (Elaboración propia) | 39 |
| Tabla 3.2 Turbidez en las estaciones de sicigia y cuadratura | 40 |
| Tabla 3.3 Concentración de solidos suspendidos totales (mg kg^{-1}) para ambas estaciones. | 40 |
| Tabla 3.4 Concentración de clorofila (mg m^{-3}) para ambas estaciones. | 41 |
| Tabla 3.5 Resultados del análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton para ambas estaciones. | 41 |
| Tabla 3.6 Concentración de nitrito ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) para ambas estaciones. | 42 |
| Tabla 3.7 Concentración de nitrato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) para ambas estaciones..... | 42 |
| Tabla 3.8 Concentración de fosfato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) para ambas estaciones. (Elaboración propia) | 42 |
| Tabla 6.1 Actividades Económicas Predominantes por Parroquias de Santa Elena (Fundación Santiago de Guayaquil,2011) | 73 |
| Tabla 7.1 Promedio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$): Macrozona 4. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 80 |
| Tabla 7.2 Promedio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$): Macrozona 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 80 |

| | |
|---|----|
| Tabla 7.3 Promedio de salinidad (ups): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 80 |
| Tabla 7.4 Promedio de turbidez (UTN): Macrozona 4. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 81 |
| Tabla 7.5 Promedio de turbidez (UTN): Macrozona 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 81 |
| Tabla 7.6 Promedio de visibilidad (m): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 82 |
| Tabla 7.7 Promedio de nitrito ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 82 |
| Tabla 7.8 Promedio de nitrato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 82 |
| Tabla 7.9 Promedio de fosfato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 83 |
| Tabla 7.10 Escala de clorofila a: Producción Primaria. (Tapia, 2006) | 83 |
| Tabla 7.11 Promedio de clorofila a (mg m^{-3}): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 83 |
| Tabla 7.12 Valores promedios y máximos de velocidades de corriente (m/s): Macrozona 4 (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 86 |
| Tabla 7.13 Valores promedios y máximos de velocidades de corriente (m/s): Macrozona 5 (Consulsua - Geoestudios, 2013) | 87 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La maricultura o acuicultura marina es un método de producción basado en el cultivo, manejo y cosecha de organismos marinos confinados o dispuestos en sistemas construidos en el mar (López A. , 2019). La producción acuícola mundial alcanzó otro récord histórico de 114.5 millones de toneladas de peso vivo en 2018, con un valor total de venta de \$263 600 millones (FAO, 2020, pág. 22).

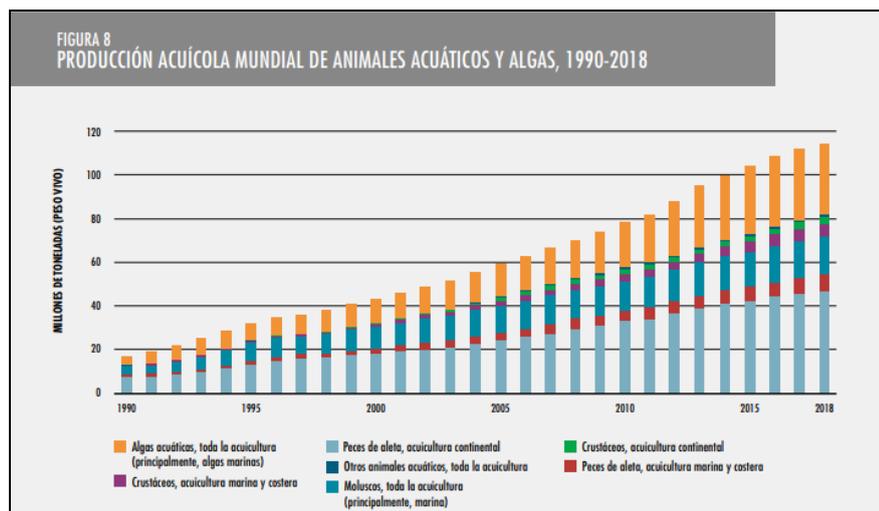


Figura 1.1 Producción acuícola mundial. (FAO, 2020; pág. 22)

Lo anterior descrito permite dilucidar la importancia de la acuicultura tanto a nivel económico como social, por su gran potencial en la generación de nuevos empleos (directos e indirectos), desarrollando las economías locales e ingresos para el país.

La acuicultura es una práctica milenaria que se ha expandido durante siglos gracias a los avances tecnológicos, creciendo de tal manera que actualmente suministra más de la mitad del pescado que es para consumo humano (Cai & Zhou, 2019). Sin embargo, se registran producto de esta actividad, efectos negativos sobre el ambiente, que incluyen conflictos entre los usuarios de los recursos, destrucción de servicios ambientales de enorme importancia y de hábitats como los manglares, selección deficiente de sitios de cultivo, uso de productos químicos y veterinarios sin control,

contaminación de los recursos, exceso de nutrientes, fugas de especies no endémicas y la producción insostenible de aceite y harina de pescado (FAO, 2020). Por lo que una de las alternativas frente a la producción de desechos de esta actividad son el policultivo de especies de igual nivel trófico y la Acuicultura Multi Trófica Integrada (AMTI), que describe un cultivo con especies de niveles tróficos distintos en un mismo sistema, en donde los desechos de una especie se convierten en el suministro de otra, obteniendo una mayor eficiencia en la producción, lo que posibilita la sostenibilidad, la estabilidad económica por la variedad de productos de acuicultura, la reducción de riesgos en la producción y una mayor aceptabilidad social al implementarse mejores prácticas de gestión (FAO, 2009; González et al., 2015).

Ecuador posee varios kilómetros de línea de costa con el potencial de ser utilizados para el desarrollo de cultivos marinos. Este proyecto busca identificar las zonas potenciales en donde pueda desarrollarse esta actividad para un cultivo multi trófico de dos especies exóticas: la macroalga *Kappaphycus alvarezii* y la ostra *Crassostrea gigas*, ampliamente estudiadas, con valor en el mercado y actualmente introducidas en el país de forma comercial. La zona de estudio corresponde al Mar Territorial y Aguas Interiores de la provincia de Santa Elena, en donde, tras recopilar información sobre los requerimientos ambientales, oceanográficos y legales para ambas especies, se evaluarán los criterios y las condiciones ambientales adecuadas en la zona para el cultivo con sistemas en suspensión, a través del análisis multicriterio de tipo booleano usando información obtenida mediante teledetección y manejando los datos a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Es importante además determinar la validez de los datos satelitales por lo que se tomarán muestras de agua en dos puntos cercanos a Palmar, para sicigia y cuadratura en el mes de junio y julio, para su posterior análisis de laboratorio y análisis estadístico. Finalmente se identificará, sobre las zonas aptas encontradas, los posibles conflictos de uso de los recursos marino costeros lo que permitirá conocer los espacios marítimos viables para la actividad de maricultura antes descrita.

1.2 Justificación del problema

Se espera que la población mundial alcance los 11 200 millones de habitantes para el año 2100, esta propensión tendría importantes efectos sobre las futuras generaciones

(ONU, 2019). La acuicultura y maricultura (figura 1.2) son una forma de obtener alimentos de alto valor nutricional para la creciente población, debido a esto surge la necesidad de hacer de esta actividad una práctica sostenible (FAO, 2020).

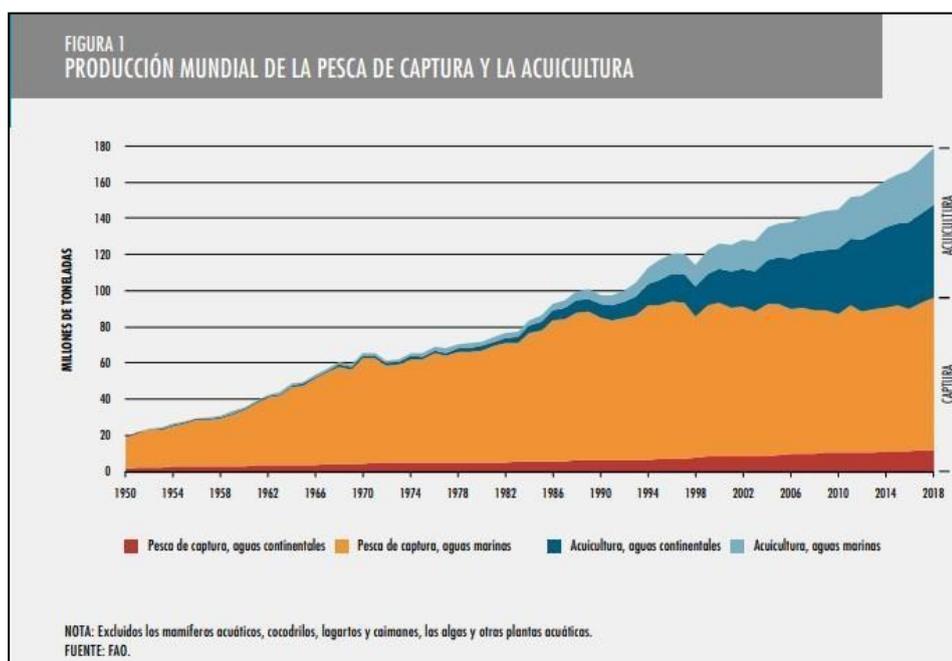


Figura 1.2 Producción mundial de pesca de captura y acuicultura. (FAO, 2020)

En Ecuador, el principal impacto de la actividad acuícola se da en las camaroneras con la tala de los manglares, seguido de la contaminación por los efluentes con contenido de nutrientes, bacterias, detritos, químicos y antibióticos usados en los monocultivos semi-intensivo e intensivos, que además vuelven a la producción susceptible a enfermedades (Rodríguez et al., 2016). Debido a esto y al alto potencial del país para desarrollar la maricultura se busca promover la diversificación del sector acuícola en el país a través de AMTI.

Uno de los principales requisitos para potenciar la industria de la acuicultura es la identificación de zonas de cultivo mar adentro que sean aptas y sostenibles (Seafarm, 2014). Se conocen numerosos beneficios de la planeación y el manejo espacial, como una mayor productividad y retorno para los inversionistas y una disminución más efectiva de los riesgos ambientales, económicos y sociales, ya que la inoportuna selección de sitios para granjas acuícolas y una poco apropiada disposición espacial forman una

importante restricción para el desarrollo y la expansión sostenible de esta industria que debe coexistir junto a otros usos de los recursos costeros y continentales (ver tabla 1.1) (FAO, 2015).

Tabla 1.1 Problemas asociados a la falta de planeación espacial y oportunidades derivadas de la zonificación acuícola. (FAO, 2018)

| Problemas | Oportunidades |
|--|--|
| <p>Enfermedades de los peces y falta de bioseguridad efectiva, por ejemplo, cuando las granjas están demasiado cerca unas de otras y/o no respetan las reglas básicas de prevención de enfermedades a nivel de granja.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Minimizar riesgos de enfermedades de los peces y coordinar la respuesta a brotes. • Mejorar el acceso a recursos financieros para atender problemas de bioseguridad. |
| <p>Problemas ambientales tales como eutrofización, biodiversidad y pérdida de servicios ecosistémicos, por ejemplo, cuando existen demasiadas granjas en una determinada área o cuerpo de agua.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Enfoques de buena coordinación e integración para el uso y administración de recursos naturales. • Mejora en el bienestar animal y tasas de crecimiento. |
| <p>Problemas de producción tales como menor crecimiento y biomasa de moluscos (por ejemplo, ostiones y almejas) debido a la excesiva densidad de cultivo y sobreconsumo de oxígeno y microalgas en un estanque común.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Mejora de productividad y rendimiento de moluscos. |
| <p>Conflictos sociales, problemas de equidad y falta de confianza pública en la sustentabilidad de la acuicultura, por ejemplo, cuando la acuicultura compite con otros usuarios en el acceso al agua y uso de espacio.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la confianza y transparencia mediante la participación de actores en todos los niveles, incluyendo el registro de manejo ambiental. • Mejora de la percepción pública de la acuicultura. |
| <p>Problemas post - cosecha y de comercialización, por ejemplo, cuando los acuicultores vecinos carecen de servicios post – cosecha.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Mejor acceso a servicios comunes en la etapa postcosecha para grupos de acuicultores. • Administración y certificación por áreas como un modelo de gobernanza y riesgo compartido para la acuicultura sostenible. |
| <p>Financiamiento de riesgo. Los gobiernos nacionales e instituciones financieras desconocen los mejores sitios prospectados para el desarrollo acuícola y cuáles son los más promisorios antes de comprometer recursos para el desarrollo.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Información a nivel nacional de áreas disponibles para invertir en la acuicultura. • Implementación de estrategias de manejo por áreas (por ejemplo, grupos de |

| | |
|---|---|
| | acuicultores) que faciliten el acceso a financiamiento. |
| Falta de resiliencia a las variaciones del clima y cambio climático, así como a otras amenazas externas y desastres, por ejemplo, huracanes tsunamis, sequía y contaminación industrial a las fuentes de agua. | <ul style="list-style-type: none"> • Un sector más resiliente, mejor adaptado a imprevistos. • Mecanismos más efectivos para los gobiernos y otras instituciones, incluyendo organizaciones de la sociedad civil, para ofrecer servicios que satisfagan los compromisos con el desarrollo acuícola sustentable. |

De entre quienes compiten por los usos de las aguas costeras tenemos; las rutas comerciales de navegación, las áreas militares restringidas, los parques eólicos, oleoductos, actividades recreativas y las reservas naturales (Bischof y Wiencke, 2012). Por ello, termina siendo necesaria la planeación espacial en base a los requerimientos biológicos de las especies a cultivar, siguiendo la normativa legal vigente y considerando los posibles conflictos de uso sin dejar de tener en cuenta los aspectos de sostenibilidad al planificar un sitio de cultivo en el mar (Radiarta et al., 2011).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Identificar zonas potenciales para el cultivo multi trófico de *Kappaphycus alvarezii* y *Crassostrea gigas* en Santa Elena – Ecuador como una herramienta de apoyo para la diversificación de la acuicultura.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los requerimientos ambientales, oceanográficos y legales de ambas especies.
2. Comparar los datos sobre los requerimientos de cultivo, obtenidos a través de teledetección con los datos obtenidos in situ.
3. Identificar los posibles conflictos de uso de recursos marino-costeros en las zonas seleccionadas como aptas para esta actividad.

1.4 Estado de la Maricultura en Ecuador

La acuicultura en Ecuador está representada por el monocultivo de camarón *Litopenaeus vannamei* que se encuentra consolidado en el país como el segundo

producto no petrolífero de exportación. Para el 2015 existían 213 000 hectáreas de granjas acuícolas de camarón y tilapia en el país. Actualmente la producción anual es de más de 635 000 toneladas y con un valor de mercado que superaba los 3 650 millones de dólares para finales de 2019 (CNA, 2019). Mientras que la acuicultura de otras especies se encuentra en etapa primaria de desarrollo, sin cultivos comerciales relevantes.

1.5 Cultivo de especies exóticas

Tabla 1.2 Consideraciones sobre la introducción de las especies objetivo de este proyecto

| <i>K. alvarezii</i> | <i>C. gigas</i> |
|---|---|
| El sector acuícola debe su crecimiento a la introducción de especies exóticas en zonas que no corresponden a sus espacios naturales. Los datos disponibles sugieren que la introducción de esta macroalga para fines comerciales no ha mostrado efectos nocivos relevantes sobre la biota nativa, aunque es recomendable seguir con un adecuado estudio de impacto ambiental en la zona, buenas prácticas de acuicultura y evitar los cultivos en ambientes coralinos (McHugh, 2002). | No existe evidencia de la presencia de esta especie en bancos naturales en las zonas tropicales de las costas del Pacífico americano, esto aplicaría para la costa ecuatoriana. No obstante, es necesario un seguimiento constante de la especie durante el cultivo y poner en práctica técnicas de acuicultura responsable, como garantizar la producción de organismos que sean 100 % triploides (organismos estériles), ya que presentan una mínima amenaza para las especies nativas (Helm, 2005; Lodeiros et al., 2017). |



Figura 1.3 Control de dispersión de la macroalga. (Paredes, 2016)

1.5.1 Cultivo de *Kappaphycus alvarezii*

Esta macroalga es una especie originaria de Filipinas, considerada la fuente principal de *kappa* carragenina, que actúa como un compuesto espesante. Su crecimiento óptimo, que puede ser de 2 a 3 meses tras la siembra, se da en aguas tropicales en un área geográfica mundial que se encuentra entre los +10 ° y -10 ° grados de latitud como se muestra en la figura 1.4. (Hayashi et al., 2010; Barrios, 2005).

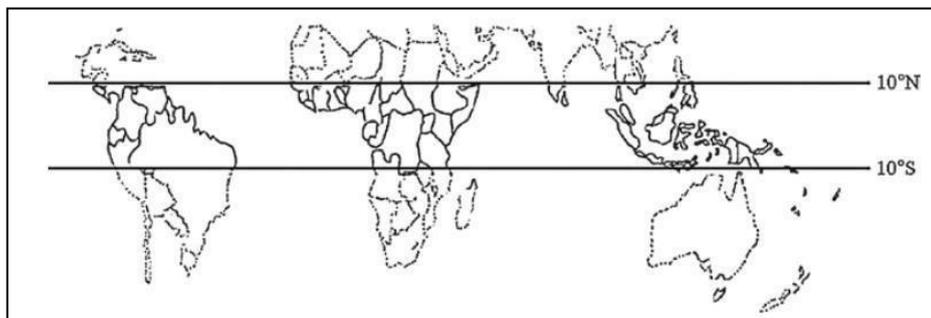


Figura 1.4 Área geográfica potencial para el cultivo de *K. alvarezii*. (Hayashi et al., 2010)

En el año 2014 en Ecuador se comenzó el cultivo en el sector de Salinas. Habiendo entregado el MAGAP en concesión, 10 hectáreas dentro de la primera milla náutica. El cultivo en el mar se hizo mediante el sistema “Long - line” como se puede ver en la figura 1.5, en una zona con poca variabilidad en la temperatura superficial del mar (TSM) (Paredes, 2016; Sepúlveda, 2014).



Figura 1.5 Método de siembra en líneas. (Rincones, 2016)

1.5.1.1 Factores ambientales clave para el cultivo de *K. alvarezii*

Dentro del diseño de un plan de cultivo de *Kappaphycus*, existen varios factores ambientales que afectan en mayor o menor medida su crecimiento, mismos que se encuentran detallados en la tabla 1.4. La TSM, en rangos óptimos (tabla 1.3) garantiza una buena producción, cantidad y calidad de carragena (Akatsuka, 1994; Glenn y Doty, 1990). Deben evitarse las grandes fluctuaciones de temperatura, como las zonas intermareales expuestas que se calientan rápidamente durante el día (Luning, 1990; MMO,2013).

Tabla 1.3 Impacto de distintos rangos de TSM sobre *K. alvarezii*. (Glenn,1990)

| Rango de Temperatura (°C) | Impacto sobre <i>K. alvarezii</i> |
|----------------------------------|--|
| < 18-20 | Muerte del alga |
| 20-25 | Aclimatización del alga |
| 25-30 | Óptimo crecimiento del alga |
| 30-35 | Aclimatización del alga y disminución de fotosíntesis |
| >35 | Inhibición del crecimiento y muerte del alga |

La velocidad de las corrientes influencia de manera significativa a los cultivos debido a que el movimiento del agua hace accesible para el alga los nutrientes al tiempo que ayuda a remover basura de los cultivos, sin embargo, este parámetro varía de forma considerable en poco tiempo debido a la influencia de los vientos, la temperatura del agua y las mareas (ver figura 1.9). Existen sitios factibles con baja concentración de

nutrientes y velocidades de 30 cm s^{-1} y otros con alta concentración de nutrientes y velocidades de 10 cm s^{-1} , asegurando ambos un crecimiento adecuado. (Batista de Vega et al., 2004), (Trespoe y et al., 2006; López y Toribio, 2008). En un estudio más reciente, de Nursidi et al. (2017), la velocidad de la corriente se mantuvo en el rango de 0.20-0.41 m s^{-1} , lo que aún se considera un rango tolerable para el alga.

La profundidad mínima de cultivo varía dependiendo del sistema a utilizar, un mínimo de 10 m resulta suficiente para mantener el flujo de agua y minimizar los posibles riesgos de blanqueamiento mientras que la profundidad máxima para sistemas de suspensión, se recomienda entre 20 a 25 m (Werner et al., 2004; Werner y Dring, 2011). Según Radiarta et al. (2011), una batimetría de entre 10 y 30 metros se considera igualmente óptima. La profundidad depende de los costos de instalación, el equipo disponible y las facilidades de mantenimiento y logística por lo que actualmente no se recomiendan profundidades mayores a 50 m (Radiarta et al., 2011).

La luz es un factor muy importante para el cultivo, al intervenir en la fotosíntesis y el crecimiento del alga, para esto, niveles bajos de turbidez son preferibles (MMO, 2013). Sin embargo, es bastante probable que sitios con aguas turbias tengan condiciones de luz adecuadas para al menos alguna especie de macroalga (Luning, 1990). La luz de longitud de onda apropiada (400 — 700 nm), que es un requerimiento para la fotosíntesis de las macroalgas, está incluida en medidas de Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). Las aguas oceánicas pueden ser evaluadas por su idoneidad en función de PAR usando la reclasificación de la figura 1.6, no obstante, este parámetro no se considera una limitación ambiental para el crecimiento de todas las especies de macroalgas (Roesijadi et al., 2011).

| | |
|------------------|----------------------|
| High Suitability | PAR ≥ 6.9 |
| Med Suitability | PAR $\geq 4.3 < 6.9$ |
| Low Suitability | PAR $\geq 2.6 < 4.3$ |
| Not Suitable | PAR < 2.6 |

Figura 1.6 Reclasificación de PAR para la idoneidad de cultivo de macroalgas, unidades en moles/m²-d. (Roesijadi et al., 2011)

Un valor óptimo de clorofila-a mínimo de 1 mg m⁻³ es descrito para el kelp, mientras que se sugieren valores máximos de 12 mg m⁻³ debido a problemas de eutrofización en la zona del Báltico (Radiarta et al., 2011; Nunes da Silva, 2016). Las macroalgas, además, tienen la capacidad de suprimir los nutrientes de las aguas adyacentes y acumular en su interior metales pesados entre otros contaminantes (Werner et al., 2004). Debido a esto se debe considerar la posible contaminación en áreas de influencia del cultivo, en particular con la producción de macroalgas para el consumo humano.

Tabla 1.4 Rangos de tolerancia de crecimiento de *K. alvarezii* para distintas variables.
(Elaboración propia)

| Variable | Óptimo | Subóptimo | Inadecuado | Referencia |
|---|-------------|----------------------------|------------|--|
| Temperatura (°C) | 24 – 30 | 20 -24 & 30-35 | <20 & >35 | (Glenn, 1990) |
| Salinidad (ups) | 32 – 36 | 28 - 32 | <28 & >36 | (De Paula et al., 2001) |
| Clorofila-a (mg m ⁻³) | 1 – 12 | - | <1 & >12 | (Radiarta et al., 2011; Nunes da Silva, 2016) |
| Corrientes (m s ⁻¹) | 0.05 – 0.30 | 0.30 - 0.41 | > 0.41 | (Glenn y Doty, 1992; McHugh 2002; Batista et al., 2004; Buck y Buchholz, 2005; Nursidi et al., 2017) |
| Batimetría (m) | 10 – 30 | 30 - 50 | >50 | (Radiarta et al., 2011; MMO, 2013) |
| Altura significativa de ola (m) | 1-4 | <1 & 4-6 | >6 | (Buck y Buchholz, 2005) |
| Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) (moles/m ² -d) | >=6.9 | >=4.3 & <6.9; >=2.6 & <4.3 | < 2.6 | (Roesijadi et al., 2011) |

1.5.2 Cultivo de *Crassostrea gigas*

En 1990 CENAIM con el apoyo de JICA, inició el cultivo de esta especie de ostra, que en la actualidad se explota comercialmente de forma limitada debido al poco interés de los productores y por la falta de regulaciones que permitan exportar el producto a mercados internacionales (Álvarez et al., 2008).

Este molusco, es una de las especies más importantes para la acuicultura mundial, debido a su adaptabilidad principalmente a la salinidad y temperatura del mar (Treviño et al., 2020; FAO, 2020).

En comunidades como Ayangue, Palmar, Chanduy y La Entrada se han llevado a cabo cultivos usando el sistema “Long - line” como se muestra en la figura 1.7, con resultados

alentadores. Su período total de crecimiento en condiciones favorables es de 8 a 10 meses, por lo que se la reconoce como una de las especies principales para la diversificación de la acuicultura en Ecuador (Lodeiros et al., 2017).

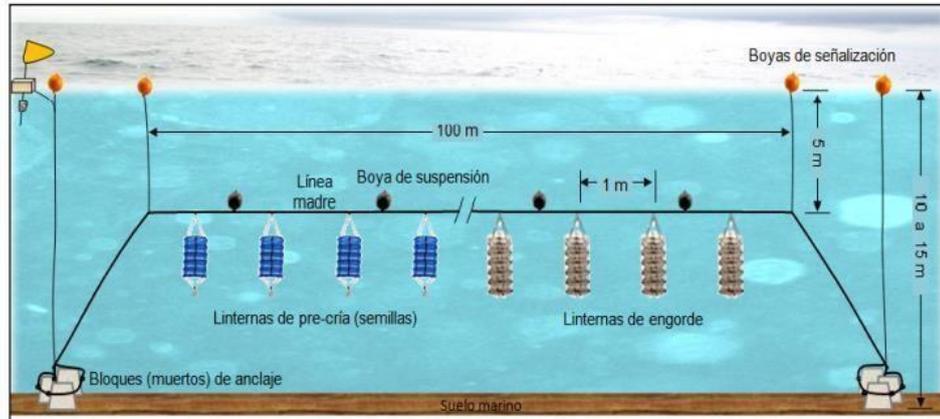


Figura 1.7 Método de siembra de ostras en Long-line. (García, 2015)

Posee dos valvas, siendo la izquierda cóncava como se muestra en la figura 1.8, lo cual le permite adherirse a sustratos rocosos, fangosos o arenosos (Rodríguez, 2015).

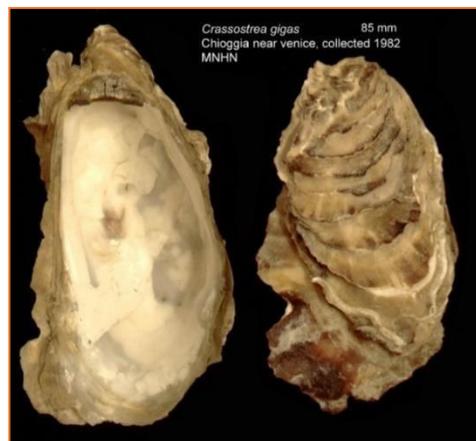


Figura 1.8 Valvas de Crassostrea gigas. (Gofas, 1982)

Es importante conocer que las variaciones bruscas de salinidad pueden tener efectos sobre su desarrollo y ser causantes de mortalidad. La temperatura influye en la sobrevivencia de los ostiones, debido a esto se recomienda su cultivo a más de un metro de profundidad (Ely et al., 2007).

1.5.2.1 Factores ambientales clave para el cultivo de *C. gigas*

En la literatura se encuentran rangos de tolerancia para ciertas variables (ver tabla 1.5), en los cuales *C. gigas* puede prosperar. Este organismo es eurihalino y euritérico.

(Miossec et al., 2009), lo que le permite sobrevivir y adaptarse a rangos de temperatura de - 2 a 35 °C (Héral y Deslous, 1990) sin embargo, eventos con altas temperaturas pueden afectar de forma negativa al crecimiento y la supervivencia debido al estrés y a la susceptibilidad a enfermedades (Kantzow et al., 2016). Como resultado del estudio de Lodeiros et al. (2017), se concluye que particularmente la temperatura tiene un efecto importante para la ostra, ya que los valores por encima de 26 °C incrementaron las tasas de crecimiento. Es muy probable que esta especie se haya adaptado por selección a las temperaturas en Ecuador y a su variabilidad por lo que se restringen los valores a rangos de crecimiento óptimos para la zona de estudio (Lodeiros et al., 2017).

La salinidad que soporta esta especie tiene rangos extremos, lo que le ha permitido prosperar en diferentes latitudes y sistemas, como estuarios, lagunas, zonas costeras y mar abierto (Miossec et al., 2009). Sin embargo, su rango óptimo de crecimiento según la FAO (2009) se da entre 20 y 25 ups, el cual se amplía hasta los 35 ups debido a la adaptabilidad de la especie a estos valores (Lodeiros et al., 2017). La principal fuente de apoyo como alimento al crecimiento de la especie es la clorofila-a, un rango para el crecimiento apto se describe en la tabla 1.4. (Palmer et al., 2020).

La velocidad de la corriente es un factor limitante para el área de estudio, ya que afecta tanto al diseño de las instalaciones marinas, así como a las condiciones relacionadas con el crecimiento de los organismos cultivados tal como se ve en la figura 1.9. Un rango adecuado permite el correcto intercambio de agua, oxígeno y nutrientes sin que los sistemas de cultivo se pierdan o deformen (Kapetsky et al., 2013).

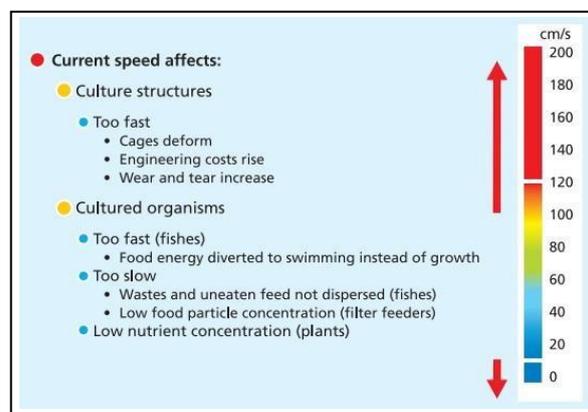


Figura 1.9 Efectos de la velocidad de la corriente en estructuras de cultivo y organismos cultivados. (Kapetsky et al., 2013)

Debido al sistema de anclaje, la profundidad de cultivo de jaulas y long-lines se restringe hasta máximo los 100 metros debido a los costos de instalación y mantenimiento (Browdy y Hargreaves, 2009).

Tabla 1.5 Rangos de tolerancia de crecimiento de *C. gigas* para distintas variables.
(Elaboración propia)

| Variable | Óptimo | Subóptimo | Inadecuado | Referencia |
|----------------------------------|------------------|-----------|---|-----------------------------|
| Temperatura (°C) | 20 - 29 | 29 – 35 | < 3, > 35 | (Lodeiros et al., 2017) |
| Salinidad (ppt) | 20 - 35 | 10 - 20 | < 10, > 35 | (FAO, 2009) |
| Clorofila-a (mg/m ³) | >1 | - | < 1 | (Barillé et al., 1993) |
| Corrientes (m/s) | 0.1 – 1 | - | > 1 | (Kapetsky et al.,2013) |
| Batimetría (m) | Intermareal - 40 | - | Profundidades más allá de las 2-3 millas de la línea de costa | (FAO, 2009) (Burbano, 2015) |

1.6 Uso de herramientas SIG y Análisis Multicriterio en planeación espacial

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección son herramientas que permiten evaluar la idoneidad de un sitio. Las imágenes satelitales ponen de manifiesto los sitios donde los usos del suelo importantes puedan entrar en conflicto con el desarrollo de la acuicultura y así brindar apoyo a la gestión de zonas costeras. Por otro lado, el Análisis Multicriterio proporciona la capacidad de manejar grandes cantidades de datos sobre distintos criterios, sin embargo, las soluciones suelen simplificarse dando paso a incertidumbres, al ser una herramienta estática que carece de dimensión temporal su subjetividad puede ser controversial. La combinación más usada de Análisis Multicriterio es la superposición booleana de capas y la suma ponderada o no booleana. Se considera a la superposición booleana muy conveniente de aplicar usando un software SIG (Nunes da Silva, 2016; Klinkenberg, 2007; Malczewski, 2006).

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Proceso de diseño

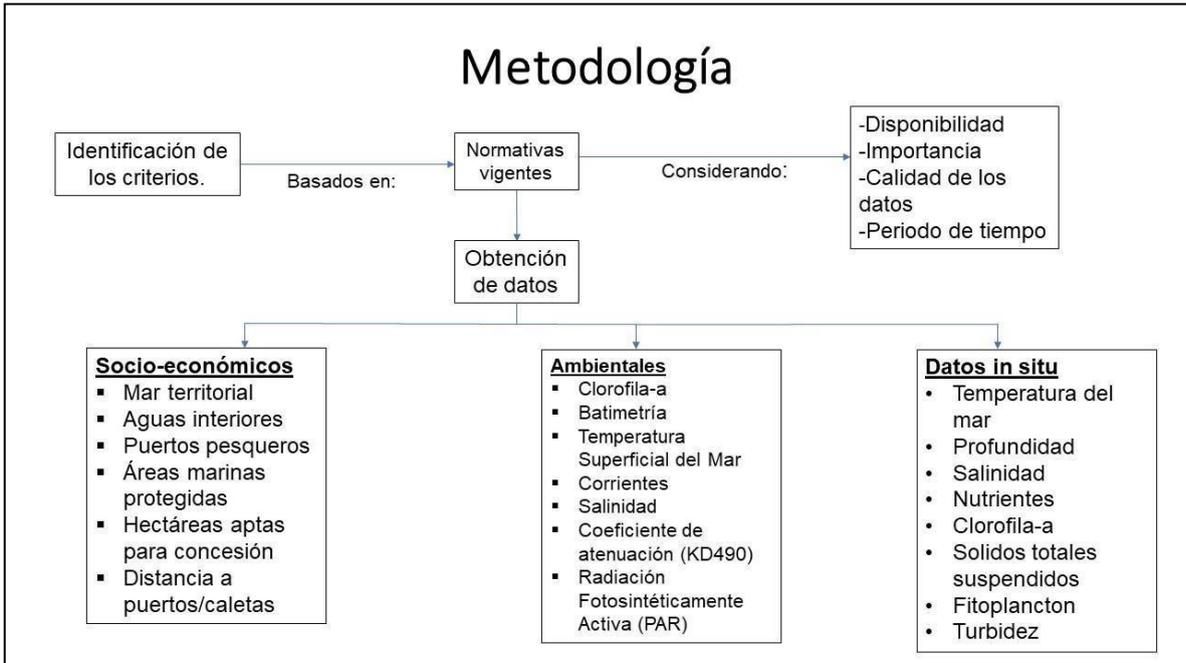


Figura 2.1 Primera parte del proceso de diseño del proyecto. (Elaboración propia)

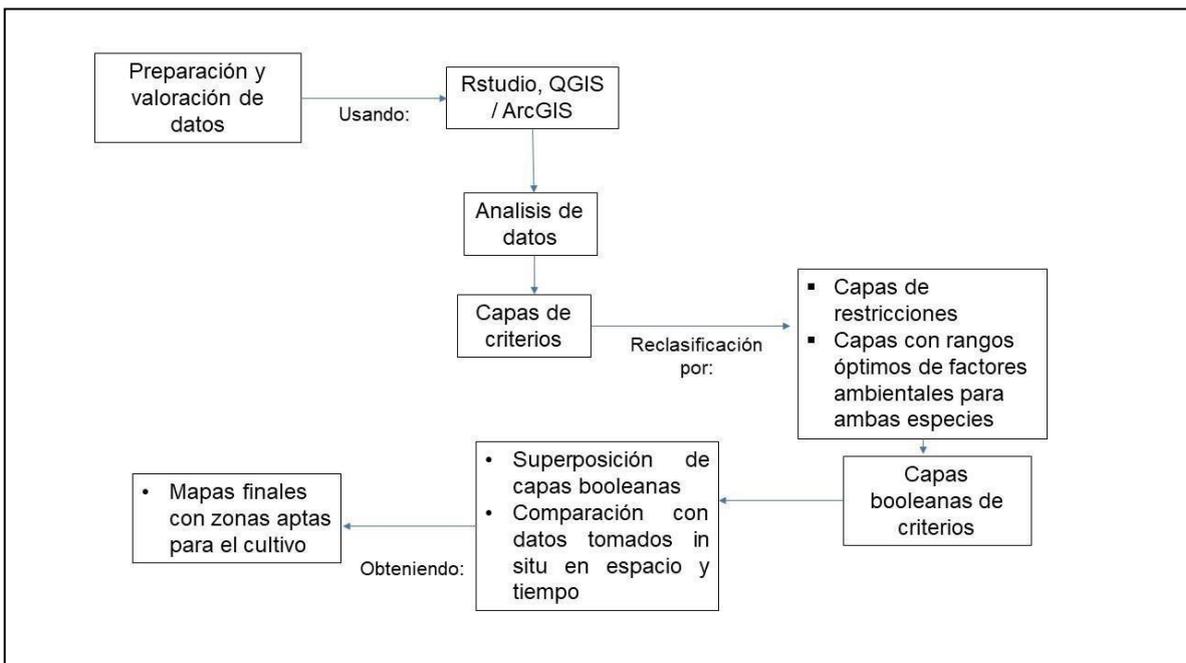


Figura 2.2 Segunda parte del proceso de diseño del proyecto. (Elaboración propia)

2.2 Selección de criterios

Identificar áreas aptas para la maricultura implica que los criterios a elegir permitan la coexistencia con otras actividades. Estas áreas potenciales suelen ser las que de momento tengan pocos usuarios, una calidad de agua apropiada, lejos de zonas frágiles ambientalmente e infraestructura básica cercana. Para escalas nacionales o regionales se pueden definir estas áreas en términos muy generales. Es necesario limitar criterios, como factores y restricciones con su nivel de importancia. Entre los factores fundamentales que determinan una zona apta tenemos: la batimetría, velocidad de las corrientes, temperatura y calidad de agua; siendo imprescindible determinar los rangos convenientes para cada criterio, basándose en la bibliografía así como en opiniones de expertos (FAO, 2018).

Tabla 2.1 Definición de Factores y Restricciones para el cultivo. (Elaboración propia)

| Criterio | Tipo | Motivo | Fuente |
|------------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Mar Territorial y Aguas Interiores | Restricción | Esta zona limita al resto de criterios al área de estudio. | INOCAR |
| Áreas marinas protegidas | Restricción | Como se mencionó, en el Acuerdo Ministerial 458, las áreas marinas protegidas quedan fuera de esta actividad, además, las especies tratadas en este proyecto son exóticas. | (SPINCAM) |
| Puertos pesqueros o caletas | Factor de importancia alta | Un puerto o caleta es indispensable para la logística, carga y descarga en la acuicultura marina. | Google Earth Pro |
| Batimetría | Factor de importancia media | A pesar que los cultivos suspendidos permiten que las granjas se ubiquen en zonas profundas, existen limitantes financieras, de operación e instalación que hacen inviable la actividad en grandes profundidades. | NOAA y cartas náuticas realizadas por INOCAR, facilitadas por GEMAC. |
| Clorofila - a | Factor de importancia media | La concentración de clorofila-a indica una mayor actividad fotosintética lo cual puede señalar zonas más aptas que otras. | OCEANCOLOR (NASA) |

| | | | |
|---|-----------------------------|---|-------------------|
| Temperatura superficial del mar | Factor de importancia alta | La temperatura del mar es el factor que más influye en el desarrollo y sobrevivencia de macroalgas y ostiones. | (CMEMS) |
| Salinidad | Factor de importancia baja | Los cambios bruscos de salinidad pueden tener efectos sobre el desarrollo de los organismos. | OCEANCOLOR (NASA) |
| Coeficiente de atenuación (KD490) | Factor de importancia media | La turbidez indica rangos óptimos para el cultivo, especialmente de macroalgas. | OCEANCOLOR (NASA) |
| Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) | Factor de importancia baja | Necesaria para el crecimiento adecuado de las macroalgas. | OCEANCOLOR (NASA) |
| Corrientes | Factor de importancia media | Corrientes demasiado bajas pueden impedir el transporte de nutrientes mientras que corrientes muy fuertes hacen inviable el sistema de cultivo. | (CMEMS) |

La tabla 2.1 indica los distintos criterios a considerar y su importancia para este estudio. Su selección se basó en los trabajos previos de Nunes da Silva (2016) y Roesijadi (2011) y tomando en cuenta la disponibilidad de los datos y la relevancia de los criterios ambientales sobre las especies y el tipo de cultivo.

2.3 Obtención y tratamiento de datos satelitales

Gran parte de los factores ambientales que aportan e influyen al desarrollo de la acuicultura pueden medirse a través de la teledetección por satélite. Los avances de estos sistemas y del procesamiento informático permiten que los productos de teledetección sean más accesibles y así sean de utilidad para la acuicultura en el mar y su manejo sostenible (Dean y Salim, 2013).

2.3.1 Área de estudio

El área de estudio se localizó desde el borde costero hacia el oeste de la línea de costa de la provincia de Santa Elena, cubriendo un área de aproximadamente 586 776 (ha) (ver figura 2.3). Esta área forma parte de las 12 millas náuticas del Mar Territorial y de las Aguas Interiores correspondientes a dicha provincia (ver apéndice D, *leyes internacionales para la maricultura*).

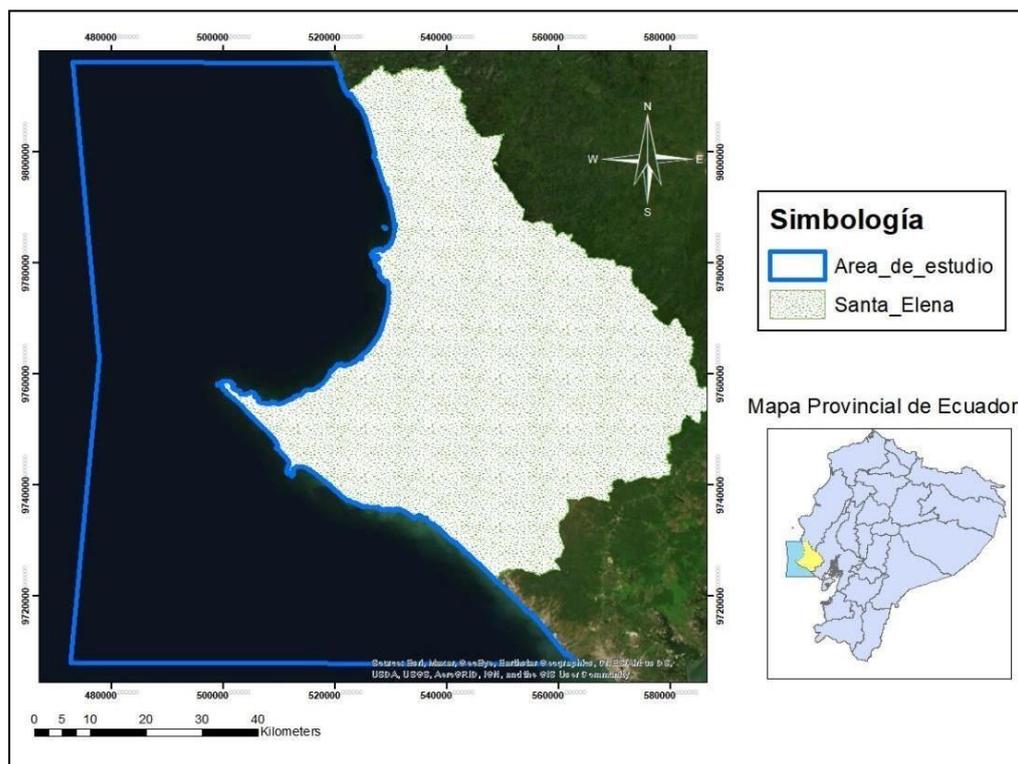


Figura 2.3 Localización del área de estudio. (Elaboración propia)

2.3.2 Áreas Marinas Protegidas

El conjunto de archivos de áreas protegidas marinas incluidas en el SNAP, se lo obtuvo del Proyecto Red de Información y Datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM). En la zona de estudio se encuentra La Reserva Marina El Pelado que posee una extensión de 13 005 ha en el mar y 96 ha terrestres y la Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena con una extensión de 52 231 ha en el mar y 203 ha terrestres (Cárdenas y Triviño, 2013) (ver apéndice B).



Figura 2.4 Áreas Marinas Protegidas en la zona de estudio (Elaboración propia)

2.3.3 Puertos pesqueros y caletas

Las ubicaciones espaciales de los puertos pesqueros y caletas (figura 2.5) más relevantes de la provincia, se obtuvieron a través de Google Earth Pro, que permite extraer datos con formato kml, para representar datos geográficos en tres dimensiones e importar esta información a un SIG.

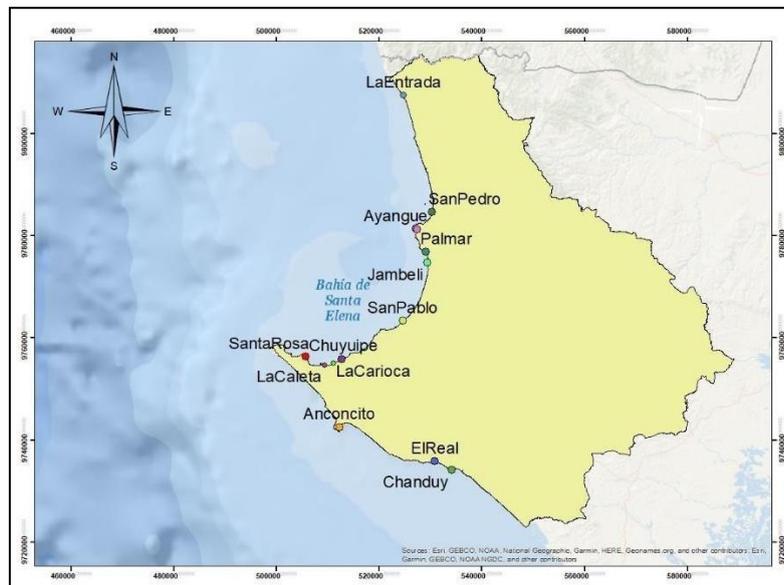


Figura 2.5 Puertos pesqueros artesanales y caletas más relevantes en la provincia de Santa Elena (Elaboración propia)

2.3.4 Batimetría

La batimetría que se utilizó fue de resolución de 1 minuto de arco, equivalente a 1.85 km aproximadamente, producida por el Centro Nacional de Información Ambiental de la NOAA. Esta capa de información se unió con 5 capas ráster de batimetría resultado de la digitalización y posterior interpolación geoestadística de las cartas náuticas IOA1051, IOA1052, IOA1054, IOA1060, IOA1060 elaboradas por INOCAR.

2.3.5 Clorofila – a, Temperatura Superficial del Mar, Kd PAR y Coeficiente de atenuación (Kd490)

Los conjuntos de datos se obtuvieron del sensor MODIS — Aqua para el área de estudio, en la plataforma OceanColor del Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica de la NASA, para un periodo de 10 años (2010-2019) de climatología mensual, que es una combinación de todos los datos recopilados en un mes a lo largo de todos los años de la misión seleccionada hasta la fecha. Resultando en archivos con extensión netCDF transformados posteriormente a 12 capas ráster con una resolución de 4 km, de donde posteriormente se obtuvieron los valores promedios para la época seca y húmeda.

2.3.6 Salinidad y Corrientes

El conjunto de datos para salinidad se obtuvo del re-análisis del Servicio de Monitoreo del Medio Marino de Copernicus (CMEMS) perteneciente a la Unión Europea. Este re-análisis se construye para ser lo más parecido a observaciones realistas y que concuerde con la física del modelo. Los datos corresponden a los valores promedio de todos los meses para un periodo de 10 años (2010-2019). Resultando en archivos con extensión netCDF transformados posteriormente a capas ráster para la zona de estudio, con una resolución de 8 km. Para el caso de las corrientes se obtuvieron 2 capas ráster con las componentes de velocidad hacia el este y hacia el norte.

2.4 Software

El software usado fue ArcGIS versión 10.5, que es un sistema que permite crear y utilizar mapas inteligentes, compilar información geográfica, crear y administrar bases de datos, resolver problemas de análisis espacial que permita mejorar la toma de decisiones, entre otros (ESRI, 2016).

2.5 Métodos geoestadísticos y de análisis espacial sobre las capas ráster

2.5.1 Estadísticas focalizadas

Generalmente los datos satelitales son de baja resolución ya que la información de alta resolución espacial es escasa o de acceso limitado, además, debido a las características del sensor, por motivos ambientales o el procesamiento de los datos, los ráster pueden presentar errores de falta de información, por lo que fue necesario corregir estos sectores con ausencia de datos (Yue et al., 2017). Esta corrección se realizó mediante estadísticas focalizadas, lo que permitió rellenar los vacíos con datos de las celdas vecinas, no obstante, esto es únicamente una estimación (Baugh et al., 2013). Con esta herramienta de análisis espacial se calcularon los valores promedios de las celdas vecinas, en un área rectangular de 3x3, a las celdas vacías (ver figura 2.6).

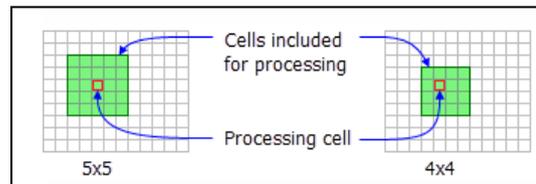


Figura 2.6 Ejemplo de estadísticas focalizadas en vecindades rectangulares. (ESRI, 2016)

2.5.2 Calculadora ráster

A través de esta herramienta y con el uso de operadores matemáticos básicos, se determinaron los valores promedios de las capas para la época seca y húmeda en base a los ráster de entrada de climatología mensual.

2.5.3 Kriging

Debido a que realizar cálculos entre las capas de criterios que tienen diferentes resoluciones produce una pérdida de información, se usó la herramienta de interpolación kriging para producir capas ráster de superficie continua con la misma resolución (Capdevilla & Mínguez, 2016). Este método geoestadístico avanzado de interpolación, utilizado en diversas aplicaciones como la geoquímica, modelamiento de contaminantes entre otros, primero calculó la autocorrelación espacial de los datos siguiendo un principio básico de geografía, en donde hay más posibilidad que lo que esté más cerca

sea más parecido a lo que está más lejos; para continuar con el proceso se elige el modelado del semivariograma el cual influye en la predicción de los valores. Entender la dependencia espacial de la data terminó siendo clave para la elección del modelo exponencial de ajuste de los datos (figura 2.7). Al final se generó una superficie estimada para cada capa de criterios en base a la data almacenada previamente.

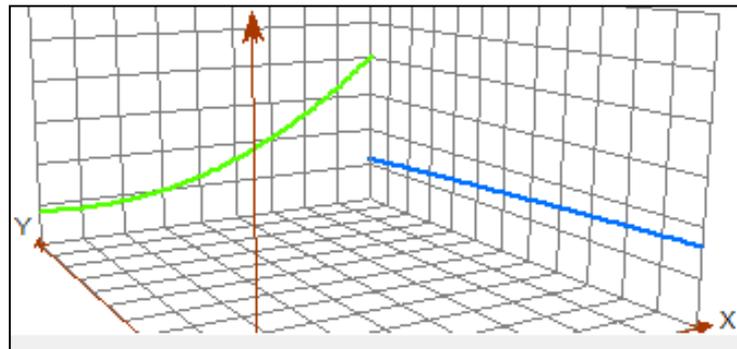


Figura 2.7 Análisis de tendencia espacial del coeficiente de atenuación. (Elaboración propia)

2.6 Obtención de datos in situ

Para conocer la variación de los datos in situ con los datos obtenidos mediante satélite se tomaron muestras de agua y se realizaron mediciones con un equipo CTD y se midió la turbidez con un disco Secchi en dos puntos cercanos a Palmar (ver figura 2.8), para las fechas de 24 de junio correspondiente a periodo de sicigia y 01 de julio correspondiente a periodo de cuadratura.

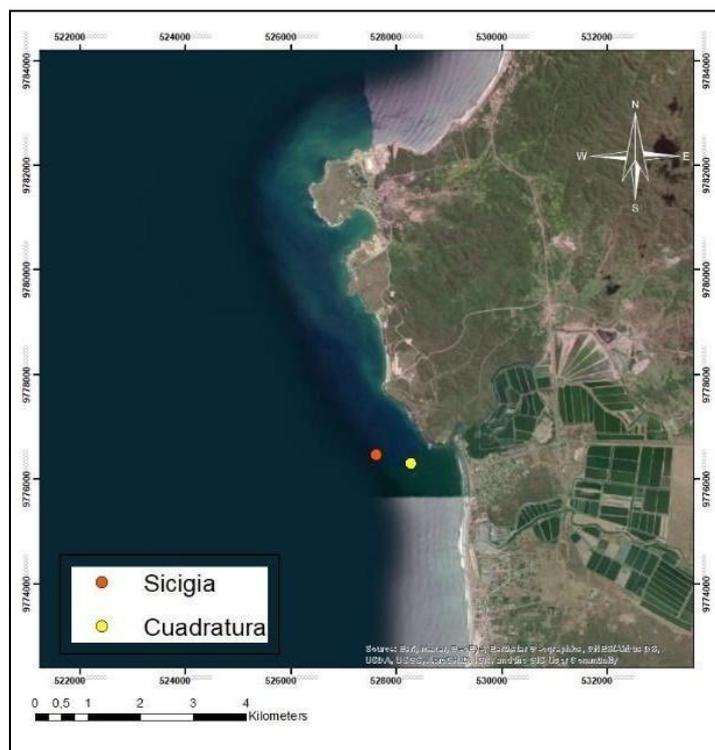


Figura 2.8 Ubicación de las estaciones de muestreo para sicigia y cuadratura (Elaboración propia)

Ambas mediciones comenzaron aproximadamente a las 10:00 de la mañana, partiendo desde el poblado de Ayangué con los equipos descritos a continuación:

Tabla 2.2 Lista de equipos para toma de muestras

| |
|---|
| Conductivity, Temperature, and Depth (CTD) |
| Global Positioning System (GPS) |
| Disco Secchi |
| Botella Niskin |
| Hielera |
| 2 botellas plásticas (capacidad 4 litros c/u) |
| Chaleco salvavidas |

Tras recolectar las muestras se procedió a llevarlas al laboratorio de Análisis Ambiental Químico de CENAIM. Aquí se realizaron la mayoría de los análisis requeridos descritos en el apéndice F, siguiendo el protocolo de este laboratorio.

2.7 Métodos de validación de datos in situ con datos satelitales

La obtención de datos mediante tecnología satelital posee varias ventajas con respecto a los métodos experimentales debido a su alta cobertura espacial y temporal además de los altos niveles de sensibilidad radiométrica y espectral como es el caso del sensor MODIS del satélite Aqua de la NASA. Sin embargo, la información puede verse alterada por la señal reflejada no solamente del océano, por lo que los datos provenientes de sensores satelitales precisan de un proceso de comparación que permita comprobar la fiabilidad de los mismos (Bastidas et al., 2006).

Se utilizó para este fin, el coeficiente de correlación (r) (Figura 2.9) y el diagrama de dispersión de Excel para cuantificar la intensidad de la relación entre los datos satelitales y los datos tomados in situ.

$$r_{XY} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{[\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2]^{1/2}} = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX}S_{YY}}}$$

Figura 2.9 Coeficiente de correlación de Pearson. (Hernández et al., 2018)

El coeficiente de correlación (r) tiene un valor sin unidades entre -1 y 1 (figura 2.10). A medida que r se aproxima a cero, la relación lineal es más débil y cuando r es positivo los valores de las variables tienden a incrementar juntos, mientras que cuando es negativo tienden a incrementarse en una variable y a disminuir en la otra.

| Rango de valores de r_{XY} | Interpretación |
|------------------------------|----------------------|
| $0.00 \leq r_{XY} < 0.10$ | Correlación nula |
| $0.10 \leq r_{XY} < 0.30$ | Correlación débil |
| $0.30 \leq r_{XY} < 0.50$ | Correlación moderada |
| $0.50 \leq r_{XY} < 1.00$ | Correlación fuerte |

Figura 2.10 Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson. (Hernández et al., 2018)

2.8 Análisis Multicriterio a través de SIG

2.8.1 Método booleano

Se realizaron mapas booleanos, de tipo verdadero/falso, reclasificando las capas de criterios. Resultando en mapas binarios en donde a lo píxeles que están en una zona

con rangos adecuados de crecimiento se les asignó el valor de 1, mientras que a los píxeles en las zonas con valores inadecuados se les asignó el valor de 0. Los parámetros y rangos necesarios para este método se ilustran en la tabla 2.3, importante considerar además las normas legales (apéndice D). Las capas booleanas resultantes se encuentran en el apéndice F.

Tabla 2.3 Booleanización de los criterios. (Elaboración propia)

| Criterios | Valor asignado | |
|---|----------------|---------------|
| | 1 | 0 |
| Mar Territorial y Aguas Interiores | Dentro | Fuera |
| Áreas Marinas Protegidas | Fuera | Dentro |
| Distancia a Puertos pesqueros o caletas (m) | 0-25000 | >25000 |
| Batimetría (m) | 10 - 30 | <10 & >30 |
| Clorofila – a (mg m^{-3}) | >1 | <1 |
| Temperatura Superficial del Mar ($^{\circ}\text{C}$) | 23 - 29 | <23 & >29 |
| Salinidad (ups) | 32 - 35 | <32 & >35 |
| Coeficiente de atenuación (Kd490) (m^{-1}) | < 0.18 | > 0.18 |
| Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) ($\text{moles/m}^2\text{-d}$) | >6.9 | <2.6 |
| Corrientes (m s^{-1}) | 0.05 – 0.35 | <0.05 & >0.35 |

Los rangos óptimos elegidos para el cultivo multi trófico de *K. alvarezii* y *C. gigas* y a los que se les asignó un valor de 1 en la tabla anterior, satisfacen al crecimiento de ambas especies al tomar como referencia los valores de rangos óptimos y subóptimos, debido a su capacidad de adaptación, tratados en la sección 1.5 en las Tablas 1.4 y 1.5. En el caso de las Áreas Marinas Protegidas (ver apéndice D, *leyes nacionales para la maricultura*), para la batimetría, se restringieron los valores de cultivo para la macroalga permitiendo igualmente el crecimiento de la ostra, para la clorofila-a, ambas especies requieren un valor por encima de 1 mg m^{-3} , para el rango de la temperatura superficial del mar se eligió el valor mínimo considerando a la macroalga y el valor máximo considerando a la ostra. Debido a que la ostra japonesa tolera rangos amplios de salinidad, este valor se restringió a los requerimientos del alga. Respecto al coeficiente de atenuación, los valores se restringieron para las zonas con aguas más turbias. Los valores de PAR se acotaron en base a la figura 1.6 en la sección de requerimientos para

la macroalga, por último, la velocidad de corriente se acotó a un valor mínimo y máximo en función de los requerimientos de la macroalga que puede tolerar corrientes de 0.41 m s^{-1} , para lo cual se decidió un valor máximo de 0.35 m s^{-1} , el cual se encuentra por debajo de las máximas velocidades en la capa y alejado seis centésimas de la velocidad tolerable.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Datos obtenidos del CTD

Se comparan los valores obtenidos con las características ambientales descritas en el apéndice C, sobre la macrozona 4 del trabajo: “Estudios de caracterización del Mar Territorial Continental del Ecuador, bases para lograr la zonificación marina” a cargo de la Secretaría Técnica del Mar (STM) para el año 2013, en donde se divide el Mar Territorial y Aguas Interiores correspondientes a la costa ecuatoriana en 5 zonas denominadas Macrozonas (figura 7.1).

Las tendencias decadales de TSM para el mes de junio (época seca) en el mar territorial ecuatoriano, son de 26.9°C como valor máximo, 19.4°C como valor mínimo y 24.2°C como valor más frecuente (Del Salto et al., 2018), mientras que el valor promedio obtenido por el CTD en sicigia fue de 25.2°C y en cuadratura 24.7°C .

Tabla 3.1 Temperatura y Salinidad tomadas en sicigia y cuadratura a distintas profundidades (Elaboración propia)

| Sicigia - 24 de junio del 2021 | | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Profundidad (m) | Temperatura (Celsius) | Salinidad (UPS) | Profundidad (m) | Temperatura (Celsius) | Salinidad (UPS) |
| 0.15 | 25.2 | 35.6 | 0.15 | 24.9 | 35.5 |
| 15.43 | 25.1 | 35.4 | 15.34 | 24.5 | 35.4 |
| 20.78 | 25 | 35.4 | | | |

Los valores más altos obtenidos del CTD en estas fechas se corresponden con la presencia de anomalías en la región Niño 1+2(figura 3.1) para finales del mes de junio y comienzos de julio.

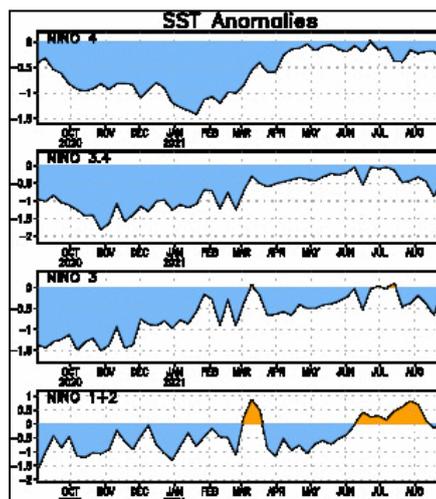


Figura 3.1 Anomalías de SST en las 4 regiones Niño (NOAA, 2021)

Turbidez

La visibilidad en estos puntos es menor que el promedio encontrado para la época seca en la macrozona 4 del apéndice C, debido a que cerca de la costa las aguas presentan mayor turbidez.

Tabla 3.2 Turbidez en las estaciones de sicigia y cuadratura.

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Sicigia - 24 de junio del 2021 | Cuadratura – 01 de julio del 2021 |
| Profundidad (m) | Profundidad (m) |
| 4 | 6 |

3.2 Resultados de análisis de laboratorio de datos in situ

Solidos Suspendidos Totales

Los valores mostrados en la siguiente tabla se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 100 mg kg⁻¹ indicado por el TULSMA.

Tabla 3.3 Concentración de solidos suspendidos totales (mg kg⁻¹) para ambas estaciones.

| | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | | |
|----------------|--------------------------------|------------|------|-----------------------------------|------------|------|
| Muestra | Peso 1 (g) | Peso 2 (g) | SST | Peso 1 (g) | Peso 2 (g) | SST |
| Superficial | 0.0962 | 0.1152 | 18.9 | 0.095 | 0.1148 | 19.7 |
| Subsuperficial | 0.0974 | 0.1186 | 21.1 | 0.0956 | 0.1165 | 20.8 |

Clorofila-a

Los valores se muestran más altos en comparación a los descritos en el apéndice C. Según el estudio de Rivera et al. (2005), en donde se comparan los métodos de estimación de clorofila-a entre el espectrofotométrico y el método fluorométrico resultando en que el primero, que fue usado en este proyecto, sobreestima la concentración debido a la presencia de feopigmentos y clorofila-b en la muestra.

Tabla 3.4 Concentración de clorofila (mg m⁻³) para ambas estaciones.

| Muestra | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | | | |
|----------------|--------------------------------|--------|--------|-------|-----------------------------------|--------|--------|-------|
| | Vol. medido (mm ³) | Abs. a | Abs. b | Chl a | Vol. medido (mm ³) | Abs. a | Abs. b | Chl a |
| Superficial | 9 600 | 0.023 | 0.007 | 4.35 | 8 800 | 0.034 | 0.010 | 5.63 |
| Subsuperficial | 9 600 | 0.042 | 0.012 | 7.68 | 9 600 | 0.038 | 0.005 | 8.45 |

Fitoplancton

La concentración de fitoplancton resultó significativamente más baja a la descrita para la macrozona 4 en el apéndice C, una de las razones puede ser la presencia de aguas más cálidas para la fecha. Por otro lado, las especies encontradas en mayor proporción fueron del grupo de las diatomeas para la estación de sicigia con valores de 0.04×10^6 cel kg⁻¹, concordando esto con lo esperado.

Tabla 3.5 Resultados del análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton para ambas estaciones.

| Muestra | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | |
|----------------|--|--|---|--------------------------------------|
| | Cualitativo | Cuantitativo (cel kg ⁻¹) | Cualitativo | Cuantitativo (cel kg ⁻¹) |
| Superficial | -Flagelados -Diatomeas | -Navicula = 5×10^3 -Diatomeas = 20×10^3 -Tetraselmis = 10×10^3 | -Amphora | -Amphora = 2.5×10^3 |
| Subsuperficial | -Navicula -Diatomeas -Flagelados -Isochrysis -Larva de ostra | -Navicula = 5×10^3 -Diatomeas = 10×10^3 -Flagelados = 20×10^3 -Isochrysis = 10×10^3 | -Chlorophyta -Diatomeas -Dinoflagelado protoperidinium | -Chlorophyta = 10×10^3 |

Nutrientes

Las concentraciones de nitrito se presentan mayores a las descritas para la época seca en la macrozona 4. El área estudiada por Romero et al (2018) para el mes de noviembre del 2018, que corresponde a toda la costa ecuatoriana, registró concentraciones de nitrito entre 0.0023 y 0.0230 mg kg⁻¹, encontrando el valor máximo frente a las costas de Chanduy y el golfo de Guayaquil. No obstante, ninguno de los valores sobrepasa el límite de 1 mg kg⁻¹ dispuesto por TULSMA.

Tabla 3.6 Concentración de nitrito (µmol kg⁻¹) para ambas estaciones.

| Muestra | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | |
|----------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Abs. | Concentration | Abs. | Concentration |
| Superficial | 0.003 | 0.141 | 0.003 | 0.141 |
| Subsuperficial | 0.001 | 0.150 | 0.001 | 0.150 |

Se encontraron valores de nitrato más bajos a los esperados registrados por Romero et al, (2018) que fueron (0.1151 - 0.2015 mg kg⁻¹) y se localizaron frente a la península de Santa Elena, mientras que concentraciones de 0.0288 mg kg⁻¹ fueron registradas en la mayor parte del área este estudio. Esto posiblemente debido al agotamiento del ion por su utilización.

Tabla 3.7 Concentración de nitrato (µmol kg⁻¹) para ambas estaciones.

| Muestra | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | |
|----------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Abs. | Concentración | Abs. | Concentración |
| Superficial | 0.020 | 0.044 | 0.037 | 0.097 |
| Subsuperficial | 0.018 | 0.044 | 0.025 | 0.062 |

El fosfato igualmente presentó concentraciones por debajo de los valores promedios de 0.053 mg kg⁻¹ registrados por Romero et al. (2018), y de 0.0242 mg kg⁻¹ registrados desde la puntilla de Santa Elena hacia el norte.

Tabla 3.8 Concentración de fosfato (µmol kg⁻¹) para ambas estaciones. (Elaboración propia)

| Muestra | Sicigia - 24 de junio del 2021 | | Cuadratura – 01 de julio del 2021 | |
|----------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Abs. | Concentración | Abs. | Concentración |
| Superficial | 0.009 | 0.097 | 0.010 | 0.106 |
| Subsuperficial | 0.007 | 0.062 | 0.010 | 0.106 |

3.3 Validación de datos

Temperatura

La comparación entre datos se realizó entre los valores medios diarios de TSM obtenidos del Servicio Marino de Copernicus para ambas estaciones y los datos obtenidos del CTD para ambas estaciones. Se observa en las figuras 3.2 y 3.3 que el comportamiento de la temperatura sigue patrones similares. Los datos in situ y satelitales presentan una diferencia de 0.92°C en promedio.

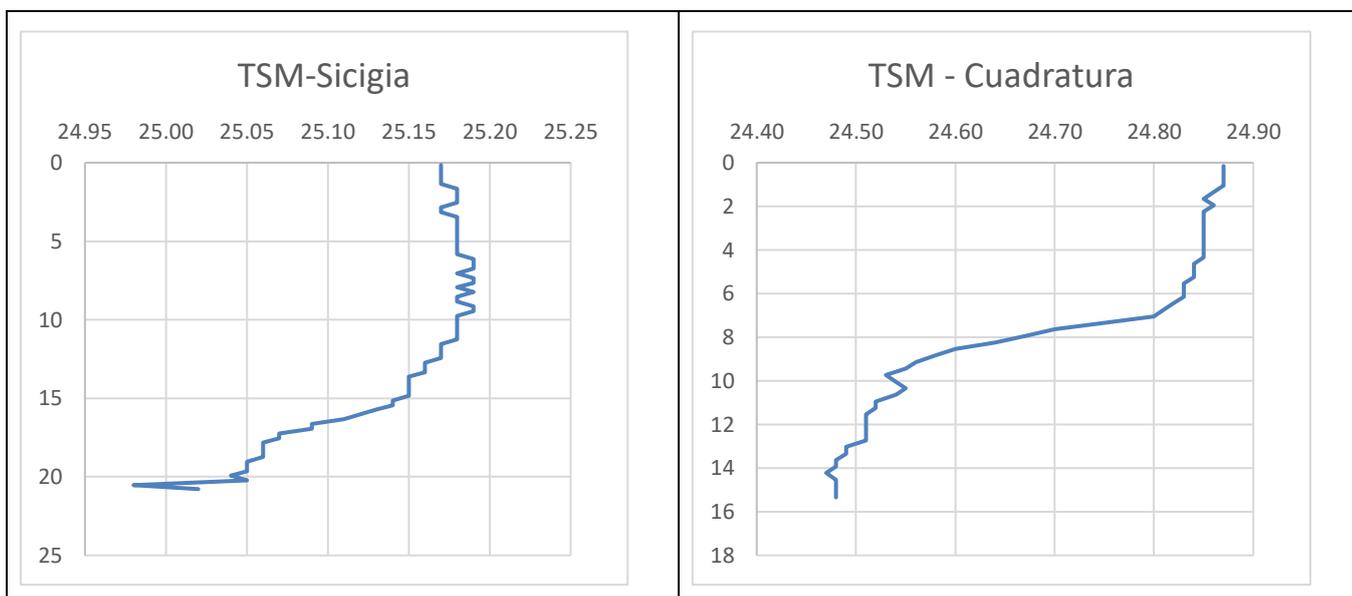


Figura 3.2 Variación de la TSM (°C) in situ con la profundidad (Elaboración propia)

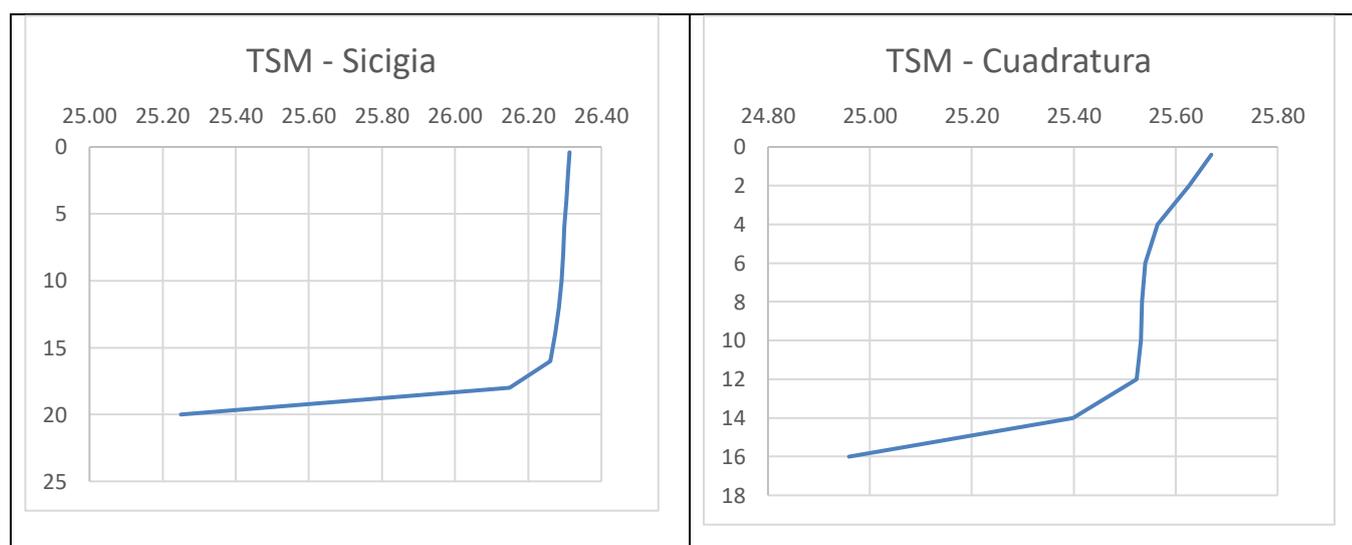


Figura 3.3 Variación de la TSM (°C) satelital con la profundidad (Elaboración propia)

Salinidad

La comparación entre datos se realizó entre los valores medios diarios de salinidad obtenidos del Servicio Marino de Copernicus y los datos obtenidos del CTD. Podemos observar en las siguientes figuras la diferencia entre ambos sets de datos, en donde los valores satelitales de sicigia y cuadratura presentan valores promedios de 33.53 y 33.69 (ups) respectivamente, mientras que los valores in situ para sicigia y cuadratura muestran promedios de 35.41 y 35.42 (ups) respectivamente.

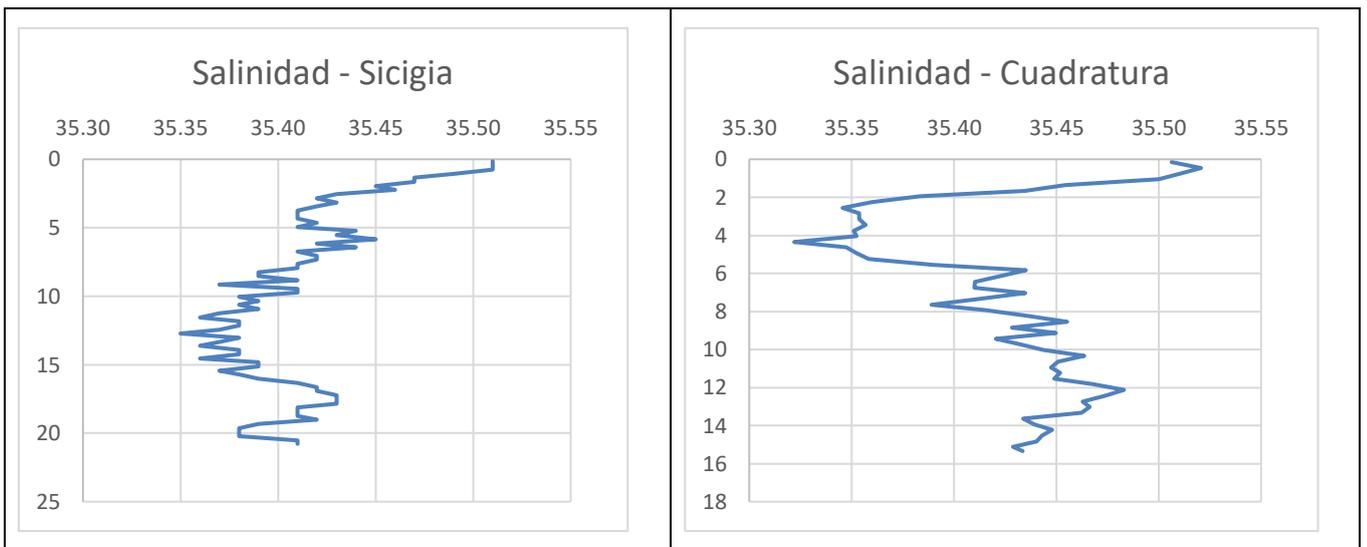


Figura 3.4 Variación de la Salinidad (UPS) in situ con la profundidad (Elaboración propia)

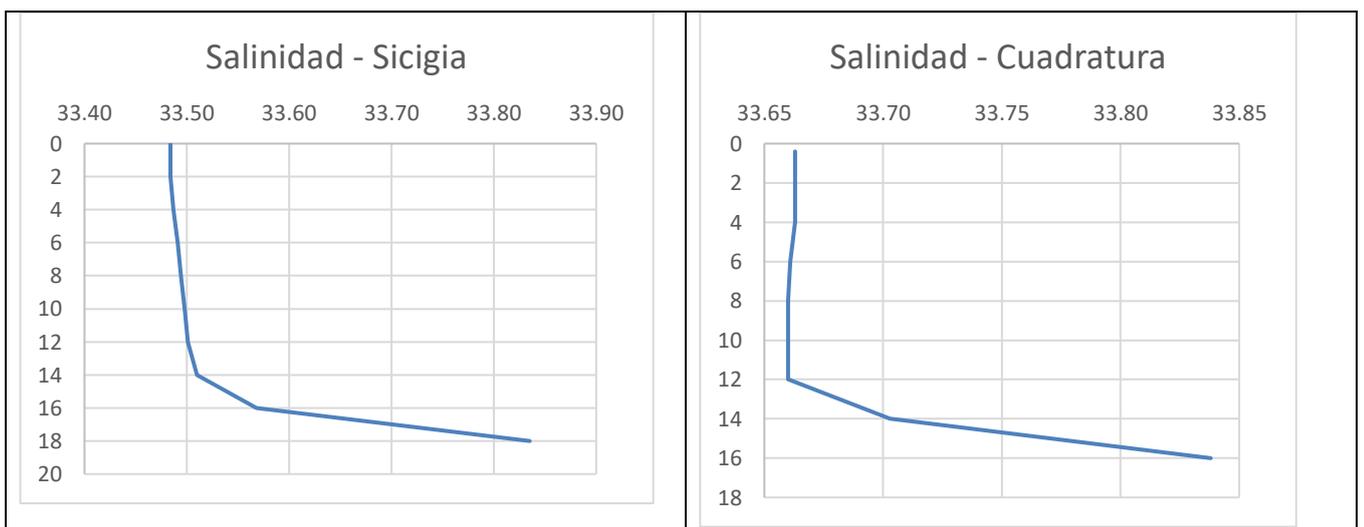
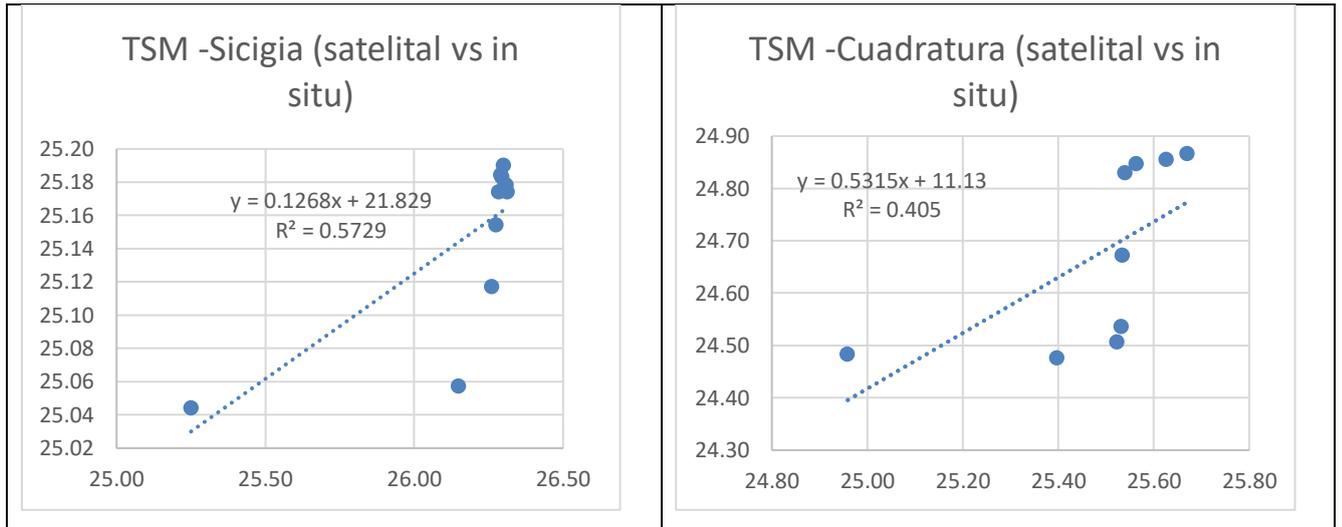


Figura 3.5 Variación de la Salinidad (UPS) satelital con la profundidad (Elaboración propia)

Se puede notar que los valores del CTD son más altos posiblemente debido a la cercanía a descargas de origen antropogénico en la zona de Palmar.

3.3.1 Coeficientes de correlación

A continuación, se observan las rectas de regresión de donde se obtuvo el coeficiente de correlación, para la TSM la relación lineal es positiva, lo que indica un comportamiento parecido a medida que aumenta la profundidad. Para sicigia tenemos un coeficiente de correlación (R) de 0.757 y para cuadratura un valor de 0.636 lo que, según la figura 2.10, indica un nivel de correlación fuerte.



**Figura 3.6 Diagramas de correlación lineal de TSM entre datos satelitales e in situ.
(Elaboración propia)**

3.4 Mapas de criterios de cultivo

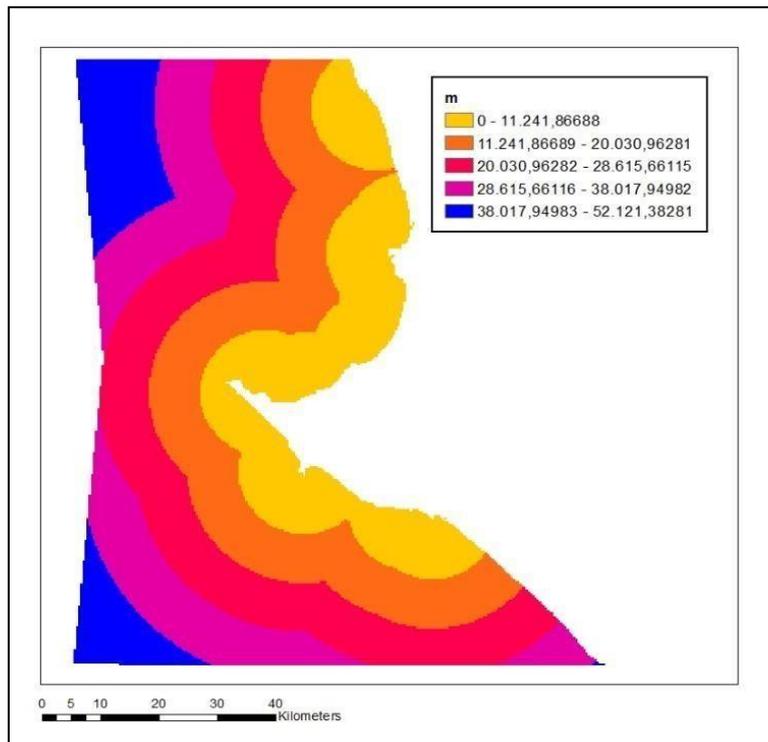


Figura 3.7 Distancia a puertos/caletas en el área de estudio. (Elaboración propia)

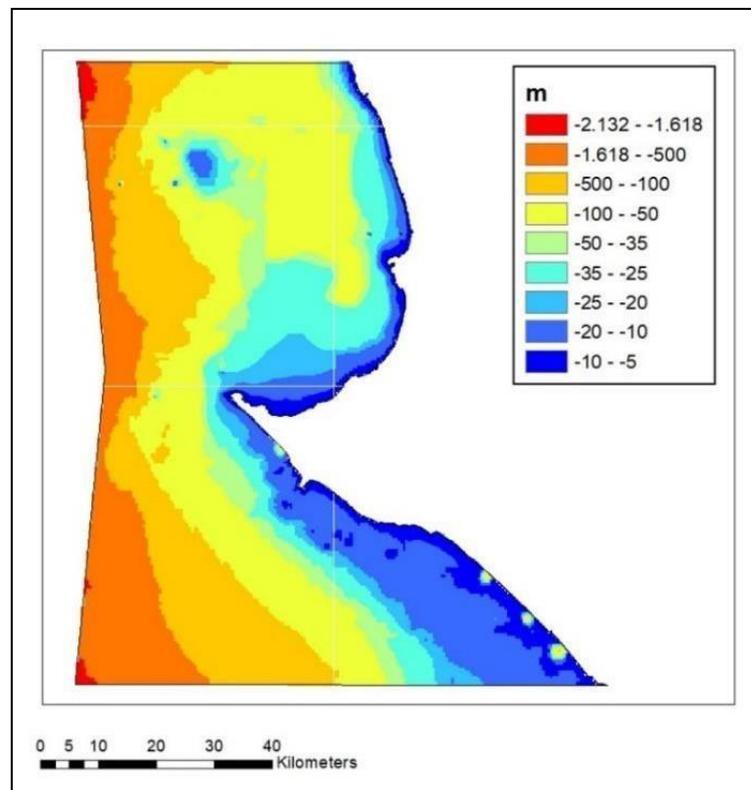


Figura 3.8 Batimetría para el área de estudio. (Elaboración propia)

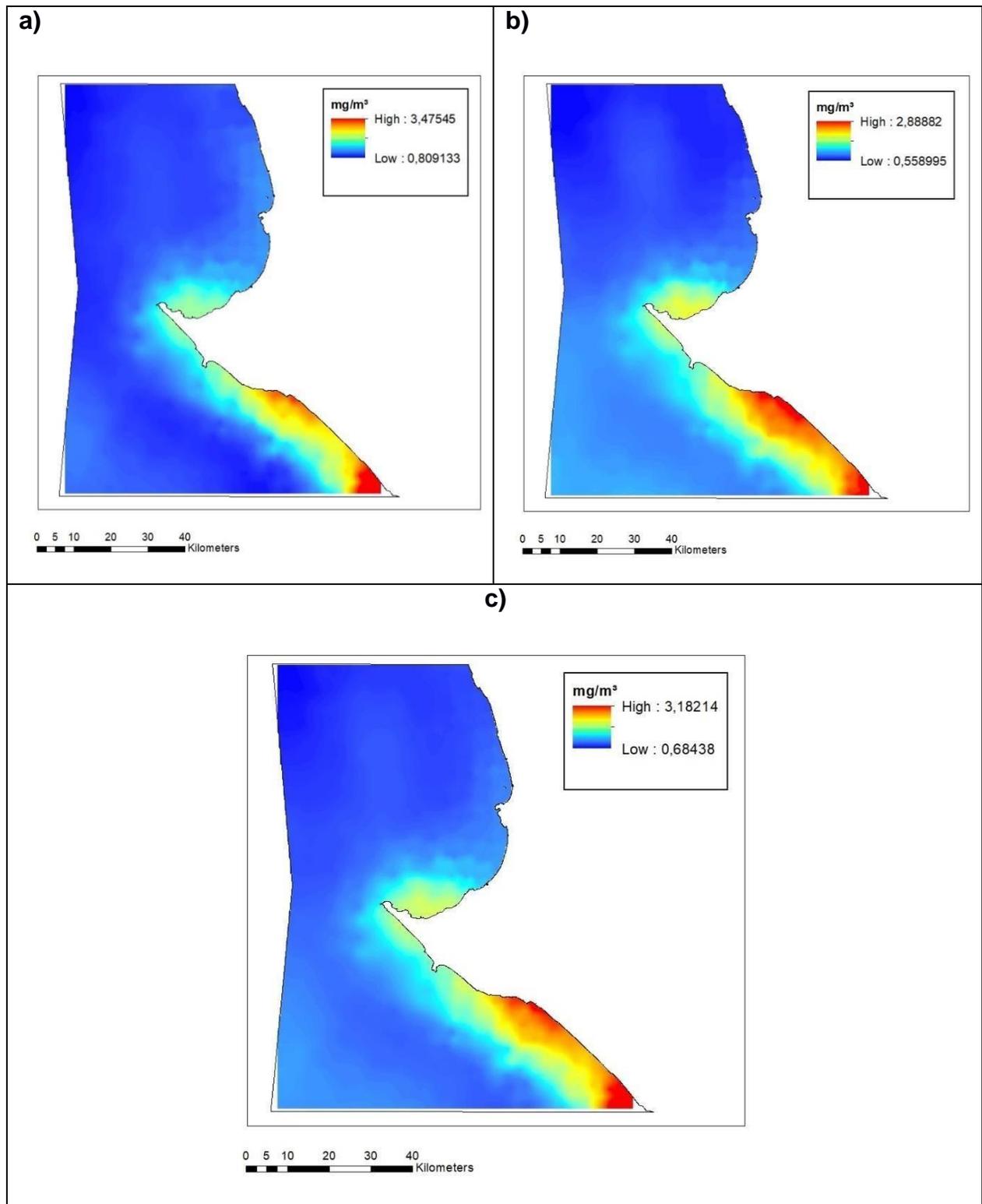


Figura 3.9 Concentración promedio de clorofila-a (a) en época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia)

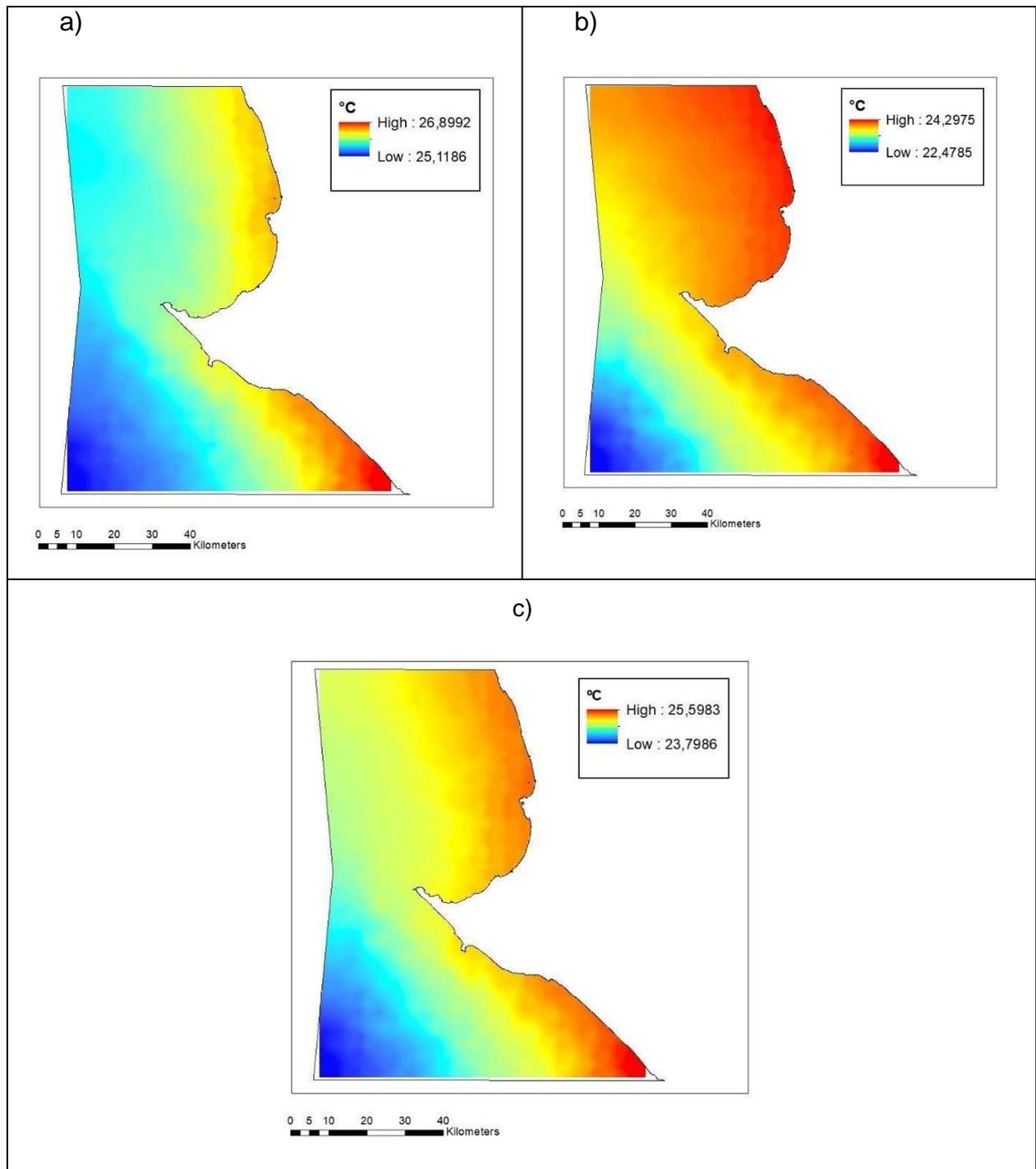


Figura 3.10 TSM promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia)

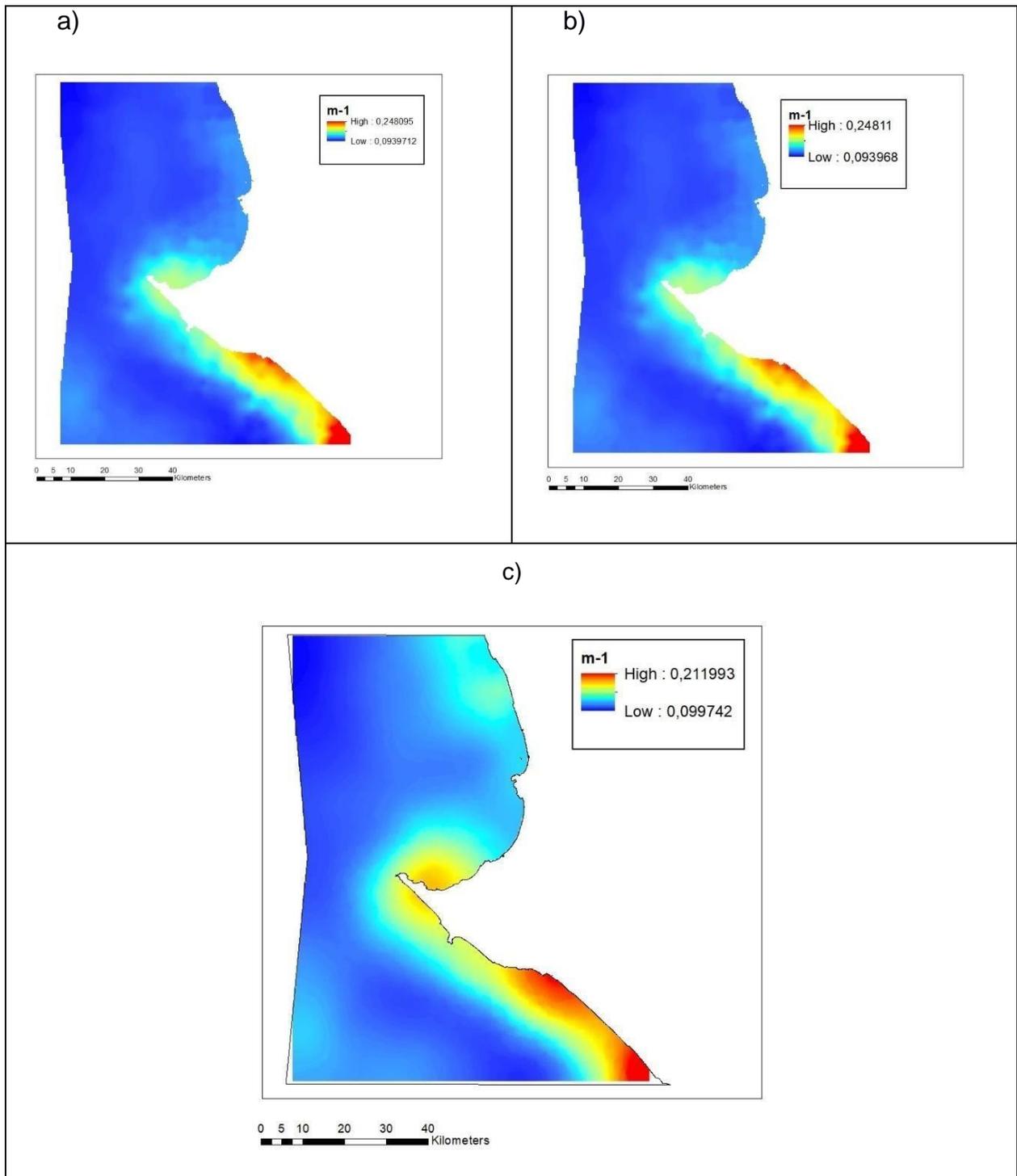


Figura 3.11 Kd490 promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para la zona de estudio (Elaboración propia)

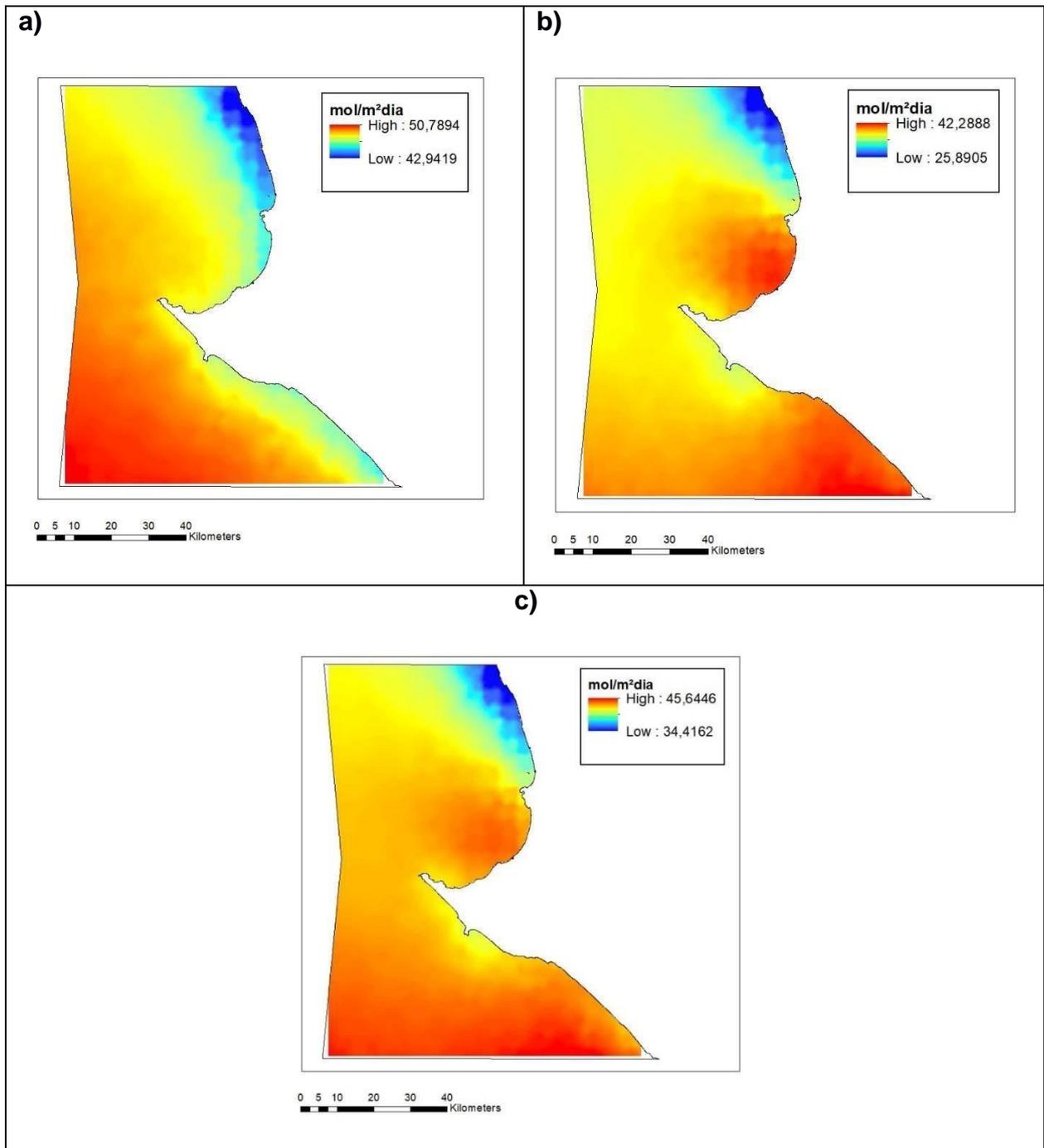


Figura 3.12 PAR promedio en (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual para el área de estudio. (Elaboración propia)

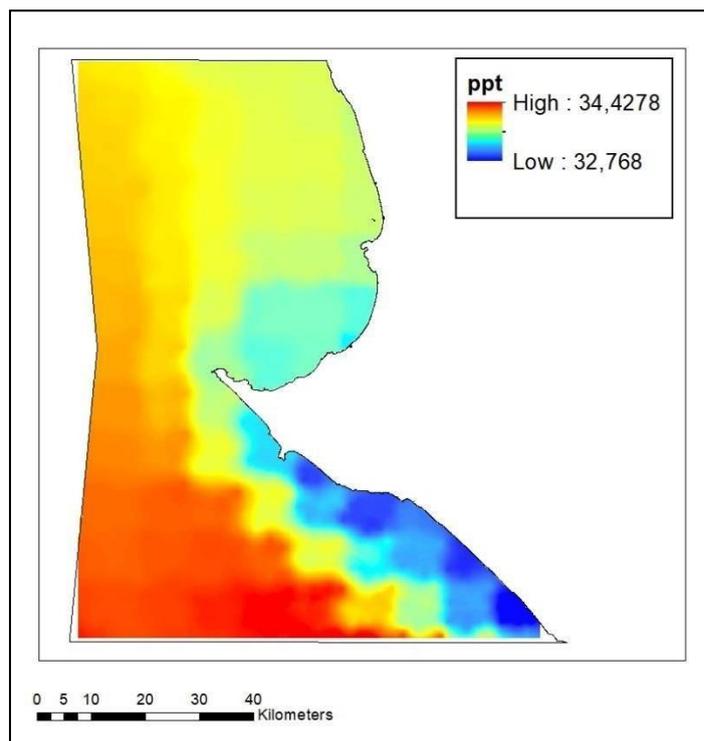


Figura 3.13 Salinidad promedio anual para el área de estudio. (Elaboración propia)

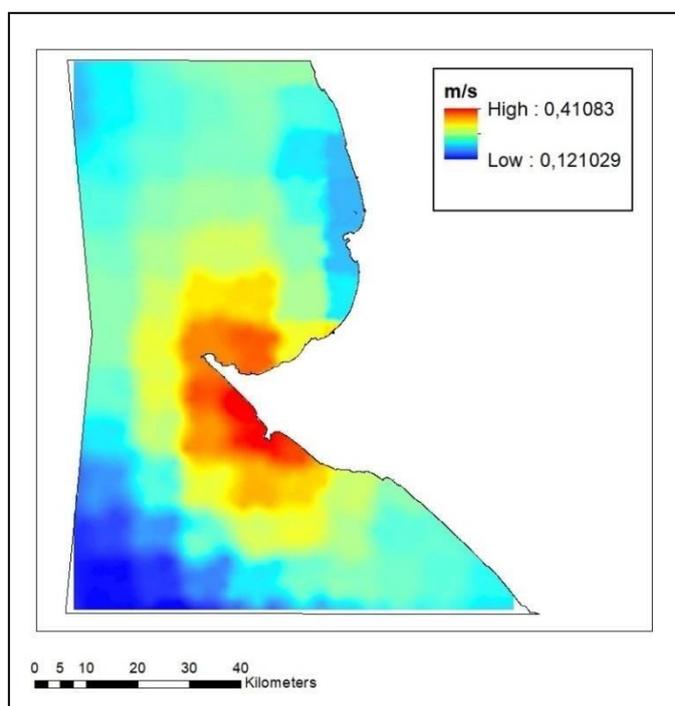


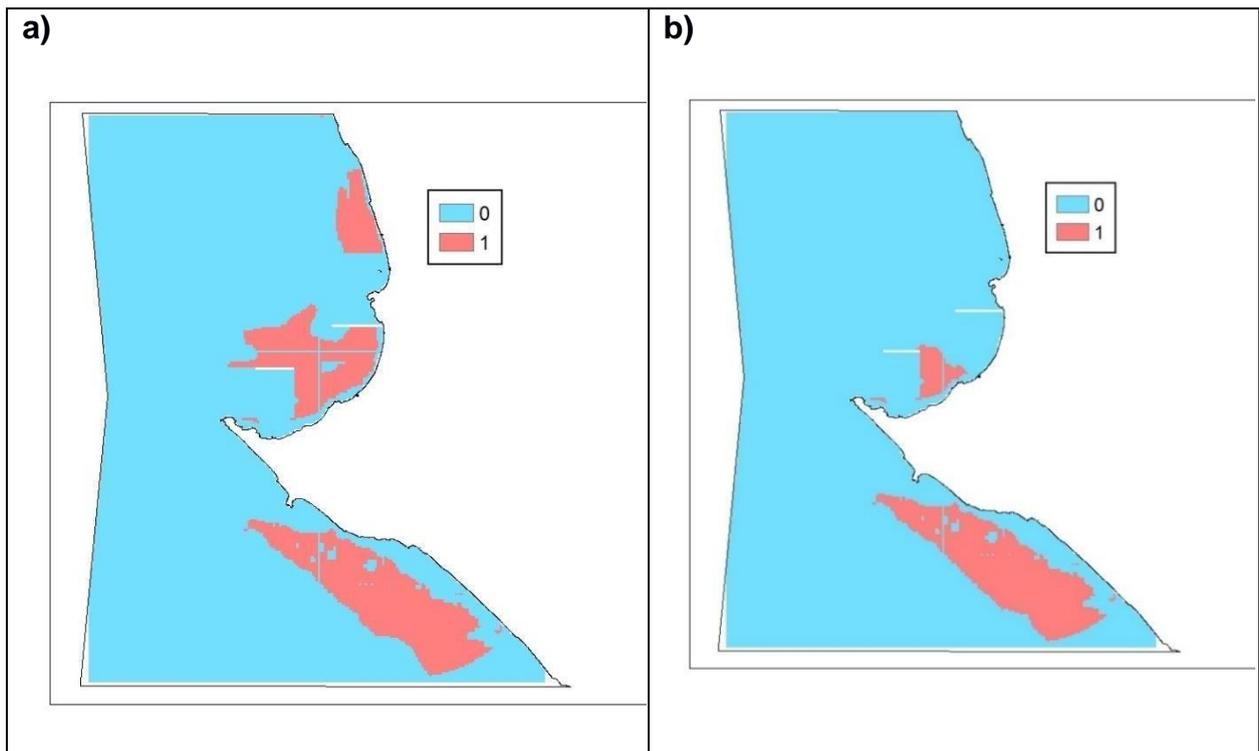
Figura 3.14 Valores promedio anuales de corrientes para el área de estudio. (Elaboración propia)

3.4 Mapas booleanos de criterios de cultivo

En el apéndice G se muestran las capas de los criterios de cultivo reclasificadas a capas booleanas en base a los rangos mostrados en la tabla 2.3 en donde únicamente los valores de 1 representan rangos aptos para el cultivo.

3.5 Mapas de zonas aptas

Considerando la variabilidad espacial y temporal de la clorofila-a se realizó la multiplicación de las capas booleanas para tres combinaciones; la primera, con los promedios anuales de cada criterio ambiental, la segunda con los mismos promedios anuales a excepción de clorofila-a, usando para este caso la capa booleana de época húmeda y la última se realizó de igual manera, pero usando la capa booleana de clorofila-a para época seca. La clorofila es un requerimiento ambiental que no impide el cultivo, sin embargo, está ligado al adecuado crecimiento de las especies. El mapa A es resultado de la combinación con la capa de clorofila para la época húmeda, el mapa B con la capa de época seca y el mapa C con el promedio anual. El valor de 0 indica zonas no aptas para el cultivo mientras el valor de 1 indica zonas aptas.



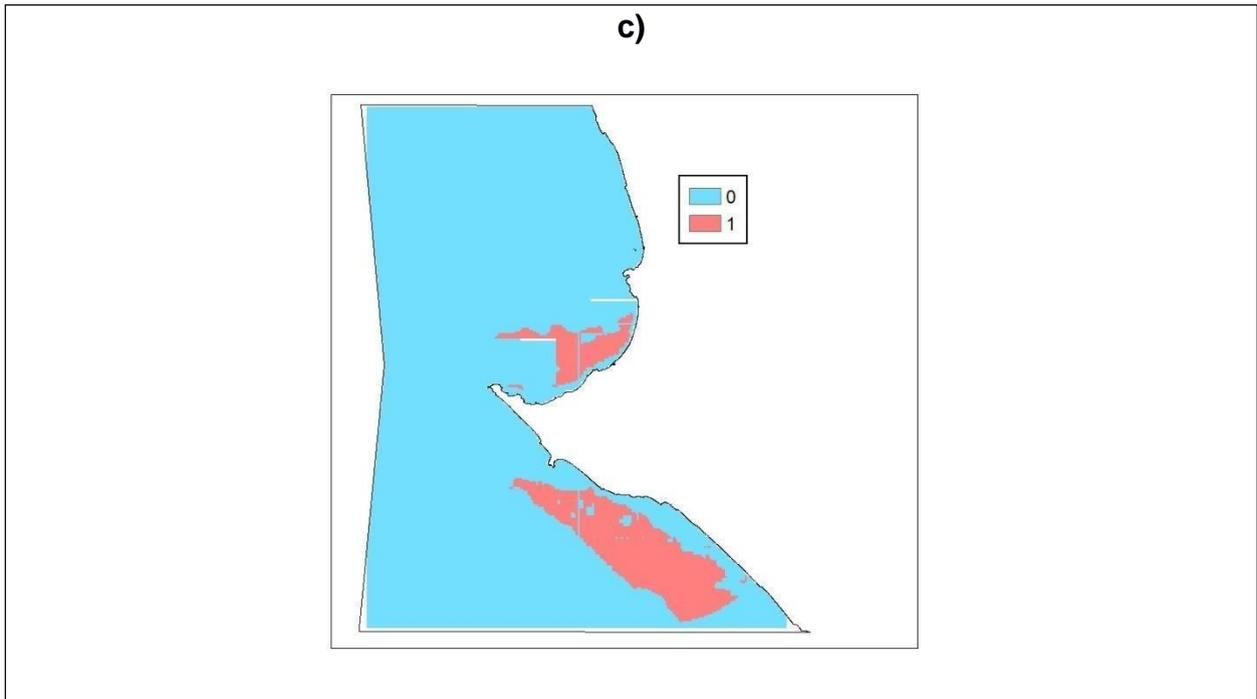


Figura 3.15 Mapa booleano de zonas aptas para el posible cultivo más allá de las 3 millas náuticas para (a) mapa A, (b) mapa B y (c) mapa C

A continuación, se presentan los mapas A', B' y C' con la restricción para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas desde la costa, dado que a esa distancia los costos de operación, logística y mantenimiento se consideran menores (MMO, 2013). Las zonas aptas del mapa A' presentan un área aproximada de 25 881.98 hectáreas, correspondiente al 4.4% del área de estudio.

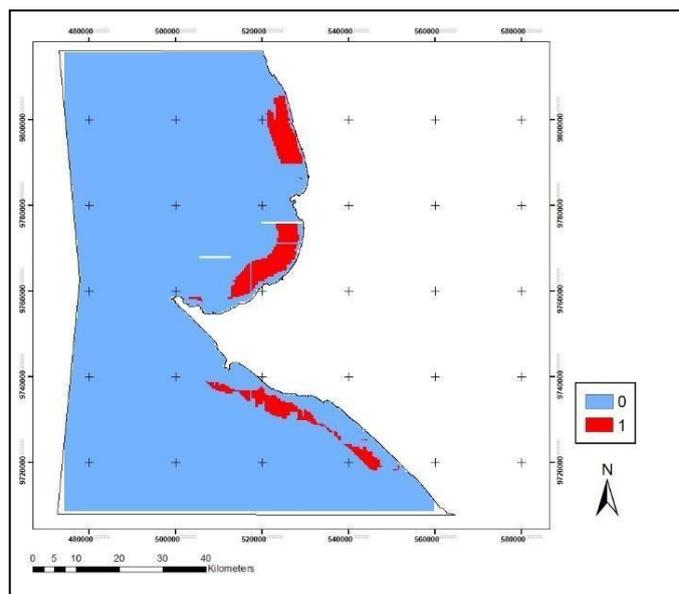


Figura 3.16 Mapa A' de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas

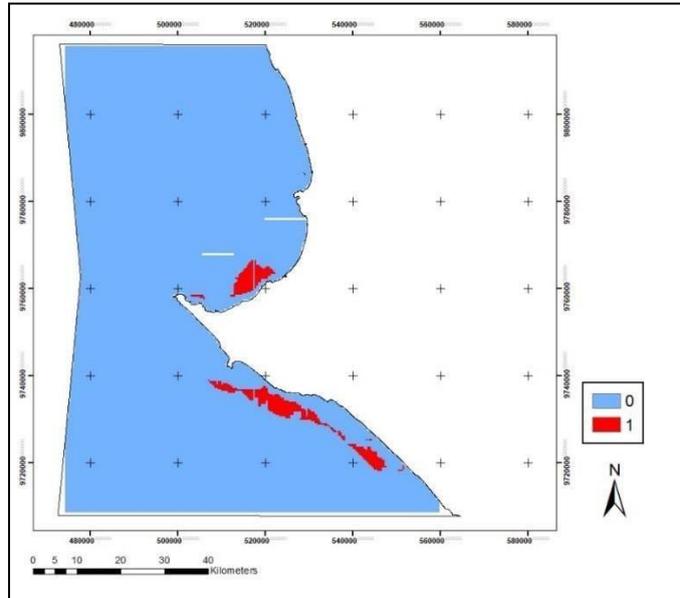


Figura 3.17 Mapa B' de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas

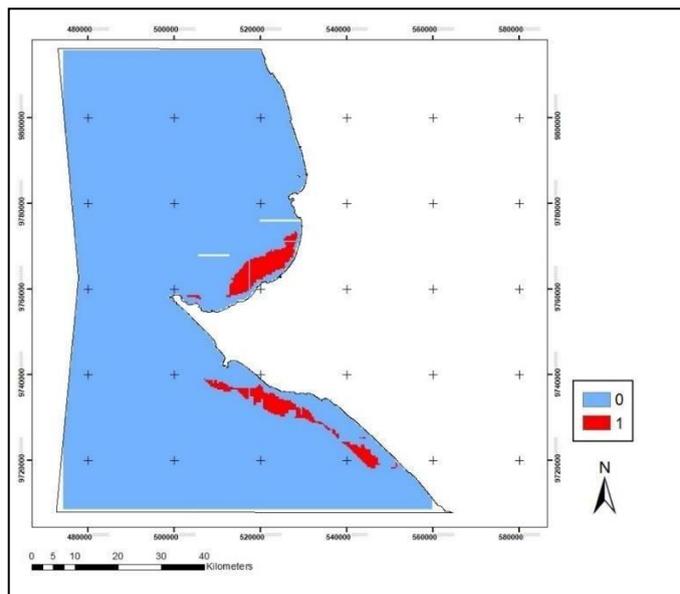


Figura 3.18 Mapa C de zonas aptas para el cultivo dentro de las primeras 3 millas náuticas

3.6 Discusión

La batimetría en la zona se registra entre 5 m y 2 132 m de profundidad debido a la presencia de la fosa de subducción, mientras que la concentración promedio decadal máxima de clorofila se presenta en época húmeda con 3.48 mg/m^3 en la zona cercana al Golfo de Guayaquil y la menor con valor de 0.56 mg/m^3 en mar abierto para la época seca, considerando la tabla 7.10 del apéndice C sobre producción primaria, los valores

representados en las capas se corresponden con aguas productivas, en comparación con los datos obtenidos por la STM en el año 2013, la menor concentración de clorofila-a coincide para la época seca y la mayor para la época húmeda. La TSM promedio máxima es de 26.9°C y se presenta en época húmeda y la mínima de 22.5°C en época seca, correspondiéndose de forma cercana con los valores obtenidos por la STM (2013) en las macrozonas 4 y 5. Por otro lado, el coeficiente de atenuación (K_d490) muestra valores mayores en el área adyacente al golfo y en las cercanías a las zonas más densamente pobladas, no puede visualizarse la diferencia temporal debido a la ausencia de datos de climatología mensual para los meses de junio y julio; entre tanto, los valores más bajos de PAR se dan al norte del área de estudio debido a la posible presencia de nubes mientras que la salinidad presenta valores de distribución espacial esperados, como se constata en los datos del estudio de la STM, para la macrozona 4 y 5, esta distribución se da de forma homogénea por las áreas sin observarse variaciones significativas entre los datos obtenidos en agosto y enero, sin embargo, en agosto se presentaron aguas más salinas respecto a las demás macrozonas, debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt para la época seca, y por último, las corrientes son mayores en el área cercana a la punta de Santa Elena y se encuentran dentro de un rango esperado, comparando las magnitudes con los datos obtenidos por la STM se coincide en que las mayores velocidades se encuentran en los puntos cercanos a la costa y a la península, esto sucede debido a la concentración de energía en las salientes como la puntilla.

La concentración de clorofila-a y el coeficiente de atenuación se pueden notar bastante relacionados, en las imágenes de las capas se visualiza como ambos muestran similitudes en su distribución espacial en la zona de estudio, esto debido a que la fuente de nutrientes cercana a las costas es de origen continental y la proliferación de fitoplancton en el agua disminuye la visibilidad. En el extremo izquierdo de la zona de estudio, alejado de la costa, se puede notar una mayor concentración de clorofila-a debido a la surgencia de nutrientes de la corriente de Humboldt. En la zona cercana al golfo, las aguas son más cálidas y la clorofila y turbidez presentan los mayores valores, esto debido a la presencia del productivo ecosistema manglar y en parte a la contaminación de origen antropogénico. Además, las zonas con mayor productividad se encontraron dentro de las Áreas Marinas Protegidas y el golfo, mientras que los valores

de salinidad en estas zonas fueron menores, en parte debido al aporte de ríos y efluentes.

Las capas booleanas de los criterios de salinidad, TSM y PAR mostraron rangos aptos de cultivo en toda o gran parte del área de estudio mientras que las capas que mostraron mayor variabilidad temporal y espacial fueron las correspondientes a la época húmeda, seca y anual de clorofila-a. Las áreas aptas en la parte sur del mapa A' se encuentran dentro de las zonas determinadas para el cultivo de bivalvos al sur de la puntilla de Santa Elena en el estudio de López (2019).

Dado que el modelo de Oceancolor tiende a subestimar los valores de clorofila-a, esto debido a que probablemente los procesos físicos a pequeña escala como mareas, olas y fricción de fondo que son importantes al resuspender y mezclar los nutrientes, no se ven representados cerca de la costa (Lamouroux et al., 2019), no se descartan las zonas resultantes al norte del mapa A' del área de estudio puesto que pueden presentar valores más altos de productividad que los representados en la capa del promedio anual de los años 2010 a 2019.

Los conflictos de uso identificados al sur del área de estudio en el mapa A' son la pesca artesanal como se evidencia en el apéndice B (actividades económicas) figura 6.4, las rutas de tráfico marítimo (figura 6.3) y con los bloques petroleros y de gas 1 y 2 como se muestra en la figura 6.1, que actualmente no generan producción de gas mar adentro. Especialmente el tráfico marítimo puede implicar una restricción para el cultivo debido a que, en la actualidad según el Plan de Ordenamiento del Espacio Marino Costero, el Ecuador debe mejorar la definición de sus rutas marítimas, puntos de notificación para el tráfico y áreas de control (COI-UNESCO, 2021).

Finalmente, al trabajar con una gran cantidad de datos para cada variable y fase, pueden existir errores e incertidumbres además de las bajas y distintas resoluciones de los ráster obtenidos entre sí, lo que puede alterar la elección de zonas aptas para el cultivo, siendo esta una limitación para el estudio. Debido a la restricción de tiempo se omitieron los criterios sobre nutrientes en el agua, altura de las olas y patrones meteorológicos lo que puede llevar a un cambio en las zonas aptas encontradas. Por lo tanto, el análisis multicriterio usando SIG es una herramienta subjetiva ya que las limitaciones de los

conjuntos de datos, falta de disponibilidad, falta de tiempo y en algunos casos falta de gratuidad limitan la exactitud de los resultados por lo que un análisis in situ en un espacio de tiempo óptimo resulta necesario para conocer las características reales de un lugar. Los resultados obtenidos de la superposición de capas booleanas muestran las posibles zonas aptas para el cultivo, sin embargo, no muestra el nivel de idoneidad (alto o bajo) dentro de estas áreas.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos indican que el análisis multicriterio ofrece una visión general que resulta importante para la toma de decisiones dentro del manejo costero integrado y la planeación espacial, esperando lograr con esto una mayor sostenibilidad, productividad, retorno para los inversionistas y una disminución más efectiva de los riesgos ambientales, económicos y sociales en la acuicultura.
- Se identificaron los requerimientos legales, ambientales y oceanográficos óptimos para el crecimiento de ambas especies, teniendo como base, investigaciones previas sobre el cultivo de los organismos en distintas zonas geográficas.
- A pesar de las diferencias entre los datos in-situ y los obtenidos por satélite, se puede obtener una buena aproximación de las dinámicas temporales de la zona.
- Los posibles conflictos de uso del espacio marino-costero para las zonas aptas determinadas al norte y centro del área de estudio son la pesca artesanal, las actividades turísticas y la exposición a las aguas servidas sin un adecuado tratamiento, mientras que las zonas ubicadas al sur se encuentran expuestas a mayores cambios de salinidad, áreas con mayor turbidez y posibles conflictos de uso con las rutas de tráfico marítimo, la pesca artesanal y la presencia de los bloques de petróleo y gas, en donde sirve aclarar que, en base al Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, las actividades pesqueras artesanales y otras actividades náuticas deben mantener una distancia mínima de 100 m de las plataformas marinas.

- Las bajas concentraciones de clorofila-a en la zona norte del mapa A' en época seca, pueden verse subsanadas con el aporte de nutrientes proveniente de las excretas de las ostras.
- Para el año 2012 el Gobierno Nacional se planteó la transformación de la matriz productiva y así generar mayor competitividad. Parte de este cambio busca la diversificación de la producción con la creación de nuevas industrias y negocios. Una de estas nuevas ramas productivas sería la maricultura, ya que Ecuador, como se muestra en los resultados, posee un gran potencial para su desarrollo y una alta viabilidad para la generación de empleo en las comunas costeras, por lo que una herramienta para integrar la actividad en las zonas costeras y potenciar la industria es la zonificación de todas estas áreas.
- Además, se prevé que la industria se extienda hacia aguas más profundas (mapa A), según la tecnología mejore con los años y el mantenimiento de los sistemas se automatice (MMO, 2013).

4.2 Recomendaciones

- Los resultados obtenidos de la superposición de capas booleanas muestran las posibles zonas aptas para el cultivo, sin embargo, no muestra el nivel de idoneidad (alto o bajo) dentro de estas áreas por lo que se recomienda realizar una superposición ponderada de capas para determinar, dentro de las áreas aptas encontradas, los niveles más y menos óptimos de las zonas.
- A pesar de la conocida variedad de beneficios ambientales, económicos y sociales que conlleva implementar estos tipos de cultivo como se muestra en el apéndice E. El éxito de la maricultura según López et al., (2015), depende en gran parte del incentivo por parte del sector público y privado, por lo que se recomienda buscar la cooperación internacional con países con sectores acuícolas exitosos como Chile, Brasil y Canadá, así como la revisión del marco legal con ajuste de competencias y una mayor integración entre las instituciones y los actores clave.
- Debido a que los cambios de temperatura, salinidad y otras características oceánicas muestran tendencias a cambiar frente a los futuros eventos climáticos. El futuro de estos cambios es incierto y podría perturbar las actividades de pesca y acuicultura actuales, debido a esto es recomendable analizar el comportamiento de los cultivos marinos frente a eventos extremos y escenarios de cambio climático.

- El análisis multicriterio usando SIG es una herramienta subjetiva ya que las limitaciones de los conjuntos de datos, falta de disponibilidad, falta de tiempo y en algunos casos falta de gratuidad limitan la exactitud de los resultados por lo que un análisis in situ en un espacio de tiempo óptimo resulta necesario para conocer las características reales de un lugar, además, la planificación espacial de este sector está dentro del programa que promueve la Economía Azul, por lo que hay más oportunidades de vincularse a otras iniciativas innovadoras que puedan mejorar los resultados económicos, sociales y ecosistémicos (FAO, 2015).

BIBLIOGRAFÍA

- Akatsuka, I. (1994). Biology of economic algae. *The Hague: SPB Academic Publishing* bv, 1-545. Retrieved from <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300289359>
- Alvarado, J., & Aguilar, F. (2009). *Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica*. San José. Retrieved junio 14, 2021, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442009000500005&lng=en&nrm=iso
- Alvarez, R., Cobo, L., Sonnenholzner, S., & Stern, S. (2008). Estado actual de la acuicultura de moluscos bivalvos en Ecuador. *Taller Técnico Regional de la FAO* (pp. 129–133). Puerto Montt: FAO Actas de Pesca y Acuicultura. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i0444s/i0444s00.htm>
- Barillé, L., Prou, J., Héral, M., & Bourgrier, S. (1993). No influence of food quality, but ration-dependent retention efficiencies in the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. doi:10.1016/0022-0981(93)90142-B
- Barrios, J. E. (2005). *Dispersión del Alga Exótica Kappaphycus Alvarezii (Gigartinales: Rhodophyta) en la Región Nororiental de Venezuela*. Cumaná. Retrieved julio 1, 2021, from https://www.researchgate.net/publication/309494050_Dispersion_del_alga_exotica_Kappaphycus_alvarezii_Gigartinales_Rhodophyta_en_la_region_Nororiental_de_Venezuela
- Bastidas, M., Rodríguez, E., & Ortiz, J. (2006). Obtención y validación de clorofila en la cuenca pacífica colombiana a partir de imágenes satelitales. *Boletín Científico CCCP* (13), 33-40. Retrieved from <https://ojs.dimar.mil.co/index.php/CCCP/article/view/380/297>
- Batista de Vega, G., Trespoey, A., Critchley, A., Bleicher, L., & Yee, R. (2004). Cultivation of a commercial red algae near the Caribbean entrance of the Panama Canal and optimization quality. *Revista de Investigación de la Universidad de Panamá. Scientia*, 19 (2), 7-21. Retrieved junio 30, 2021, from <http://up->

rid.up.ac.pa/1903/1/Revista%20Scientia-
Vol%2019%20No%202%20Publicaciones%20Gloria.pdf

- Baugh, C., Bates, P., Schumann, G., & Trigg, M. (2013). SRTM vegetation removal and hydrodynamic modeling accuracy. *Water Resources Research*. doi: <https://doi.org/10.1002/wrcr.20412>
- Bischof, K., & Wiencke, C. (2012). Seaweed Biology - Novel Insights into Ecophysiology, Ecology and Utilization. In C. M. Buchholz, G. Krause, & B. H. Buck, *Seaweed and Man* (pp. 471-493). Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-28451-9_22
- Browdy, C., & Hargreaves, J. (2009). *Overcoming technical barriers to the sustainable development of competitive marine aquaculture in the United States*. Maryland: Silver Spring. Retrieved agosto 4, 2021, from <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/tm100.pdf>
- Buck, B. H., & Buchholz, C. M. (2005). *Response of offshore cultivated Laminaria saccharina to hydrodynamic forcing in the North Sea*. Elsevier. Retrieved junio 3, 2021, from <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.062>
- Burbano, L. (2015). *Propuesta Técnica para el Cultivo de ostras (Crassostrea gigas) como método de diversificación de ingresos en zonas marino costeras*. Guayaquil: ESPOL. Retrieved julio 7, 2021, from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39432>
- Cai, J., & Zhou, X. (2019). Contribution of aquaculture to total fishery production: the 50-percent mark. *Boletín de acuicultura de la FAO n.º 60*, 43-45. Retrieved julio 1, 2021, from <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca5223en/>
- Cansing, S., & Mena, G. (2018). *Diseño de una estructura de protección costera para Playa Bruja, ubicada en la comunidad Libertador Bolívar, provincia de Santa Elena*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved agosto 4, 2021, from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/48182>
- Capdevilla, E., & Mínguez, M. (2016). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Retrieved junio 23, 2021, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5543766>
- Cardenas, M., & Triviño, M. (2013). *Caracterización Bioecológica de siete sitios de buceo situados alrededor del islote El Pelado en Ayangüe*. Retrieved junio 14, 2021, from <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/199>
- CNA. (2019). *Análisis de las Exportaciones de CAMARÓN Diciembre - 2019*. Retrieved from <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>

- COI-UNESCO. (2021). *Condiciones actuales y compatibilidad de los usos marítimos en el golfo de Guayaquil*. París. Retrieved from http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/circulares/2021/080.Circular%20080-2021_Informe%20Tecnico%20sobre%20Planificacion%20Espacial%20Maritima.pdf
- Consulsua - Geoestudios. (2013). Estudio 2: Análisis del perfil batimétrico, rugosidad, dureza y mapeo de fondo marino, en el mar territorial y en aguas interiores de la plataforma continental del Ecuador. In S. T. Mar, *Estudios de caracterización del Mar Territorial continental del Ecuador, bases para lograr la zonificación marina*. Guayaquil. Retrieved julio 20, 2021
- De Paula, E., Erbert, C., & Pereira, T. (2001). Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in vitro. *Phycological Res.* 49, 155-161. doi:10.1046/j.1440-1835.2001.00235.x
- Dean, A., & Salim, A. (2013). *Remote sensing for the sustainable development of offshore mariculture*. Roma: FAO. Retrieved agosto 2, 2021, from <http://www.fao.org/3/i3100e/i3100e.pdf>
- Del Salto, M., Fuentes, J., & Del Salto, J. (2018). Homogenización y análisis del comportamiento mensual durante la época seca de la temperatura superficial del mar territorial y región insular del ecuador usando la base de datos UKMO. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO VOL. 22 Nº1*. Retrieved junio 23, 2021, from https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta22/OCE22_5.pdf
- Duchene, L. (2018). *Lean and green, what's not to love about seaweed?* Retrieved from Global Seafood Alliance: <https://www.globalseafood.org/advocate/lean-and-green-whats-not-to-love-about-seaweed/>
- Ely, H., Péreza, R., Pacheco, S., & Kani, K. (2007). *Guía para el cultivo de Ostra del Pacífico (Crassostrea gigas)*. Puerto El Triunfo: CENDEPESCA. Retrieved junio 14, 2021, from https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/2271029E1/materials/pdf/2007/2007_04.pdf
- ESRI. (2016). *ArcGIS Resources*. Retrieved septiembre 6, 2021, from <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

- FAO. (2009). *Crassostrea gigas*. In Cultured aquatic species fact sheets. Retrieved junio 23, 2021, from http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/es
- FAO. (2009). *Integrated mariculture. A global review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529, Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i1092e/i1092e00.htm>
- FAO. (2015). *Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service*. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2015_CD_Master/booklet/web_I7989T.pdf
- FAO. (2018). *Zonificación acuícola, selección de sitios y áreas de manejo bajo el enfoque ecosistémico a la acuicultura*. Manual, Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/l6834ES/i6834es.pdf>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. doi:10.4060/ca9229es
- García, A. V. (2015). Maricultura & Piscicultura para el fomento acuícola del Ecuador: Cultivo de Ostras del Pacífico (*Crassostrea gigas*). In W. Ruiz, J. Lopez-Alvarado, & E. Moncayo, *MEMORIAS DEL PRIMER FORO ECUATORIANO DE LA MARICULTURA* (pp. 14-18). Guayaquil: Instituto Nacional de Pesca. doi:10.13140/RG.2.1.1652.8087
- Glenn, E. P., & Doty, M. S. (1990). Growth of the Seaweed *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* and *Eucheuma denticulatum* affected by environment in Hawaii. *Aquaculture*, 84, 245-555. Retrieved julio 1, 2021, from [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90090-A](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90090-A)
- González Henríquez, N., Rey Méndez, M., Pérez, Y., Bilbao, A., Pavón, N., Louzara, G., & Domínguez, R. (2015). *Cultivos multitróficos: complementos a la explotación de otras especies de fuerte presencia en el mercado*. Las Palmas de Gran Canaria. Retrieved mayo 8, 2021, from <http://hdl.handle.net/10553/73435>
- González, N., Ramírez, M., Vera, D., & Carpio, B. (2015). *Desarrollo sostenible y empresas ambientales en áreas marinas. El caso de la Península de Santa Elena (Ecuador)*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10553/73422>
- Hayashi, L., Hurtado, A., Msuya, F., Bleicher, G., & Critchley, A. (2010). A Review of *Kappaphycus* Farming: Prospects and Constrains. In A. Israel, R. Einav, & J. Seckbach, *Seaweeds and their Role in Globally Changing Environments*. Israel: Springer. Retrieved from

- https://www.academia.edu/2191866/A_review_of_Kappaphycus_farming_prospects_and_constraints
- Helm, M. (2005). *Cultured Aquatic Species Information Programme Crassostrea gigas*. Roma: Programa de información de especies acuáticas. FAO. Retrieved from http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Crassostrea_gigas/es
- Héral, M., & Deslous-Paoli, J. (1990). *Oyster culture in European countries*. Retrieved julio 1, 2021, from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.519.3410&rep=rep1&type=pdf>
- Kantzow, M., Hick, P., Becker, J., & Whittington, R. (2016). Effect of water temperature on mortality of Pacific oysters *Crassostrea gigas* associated with microvariant ostreid herpesvirus 1 (OsHV-1 μ Var). *Aquacult Environmental Interact*. Retrieved junio 30, 2021, from <https://www.jstor.org/stable/24864998>
- Kapetsky, J., Aguilar-Manjarrez, J., & Jenness, J. (2013). A global assessment of offshore mariculture potential from a spatial perspective. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper 549*, 26. Retrieved agosto 4, 2021, from <http://www.fao.org/3/i3100e/i3100e.pdf>
- Klinkenberg, B. (2007). *Geography 570, Multi-criteria evaluation*. Retrieved from Available at: <http://ibis.geog.ubc.ca/courses/geog570/notes/mce/mce08.pdf>
- Lamouroux, J., Perruche, C., Mignot, A., Paul, J., & Szczypta, C. (2019). *QUALITY INFORMATION DOCUMENT For Global Biogeochemical Analysis and Forecast Product GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_BIO_001_028*. CMEMS. Retrieved septiembre 6, 2021, from <https://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-014.pdf>
- Lee, Z., Shang, S., Hu, C., Du, K., Weidemann, A., Hou, W., . . . Lin, G. (2016). *Secchi disk depth: a new theory and mechanistic model for underwater visibility*. *Remote Sensing of Environment*. Retrieved from https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/blogs.umb.edu/dist/d/1690/files/2015/08/Leeetal_2015_Secchi-24r1gkr.pdf
- León, W., Núñez, L., Valencia, A., & Cedeño, J. (2017). *La Pesca Artesanal un legado del saber ancestral, provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Retrieved septiembre 6, 2021, from https://www.ecorfan.org/republicofnicaragua/researchjournal/investigacionessociales/journal/vol3num10/Revista_de_Investigaciones_Sociales_V3_N10_6.pdf

- Lodeiros, C., Rodríguez-Pesantes, D., Márquez, A., Revilla, J., Chávez-Villalba, J., & Sonnenholzner, S. (2017). *Suspended cultivation of the Pacific oyster Crassostrea gigas in the Eastern Tropical Pacific*. Springer. Retrieved junio 30, 2021, from <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10499-017-0217-z>
- López - Alvarado, J., Ruiz, W., & Moncayo, E. (2015). *Desarrollo de la Maricultura en el Ecuador: situación actual y perspectivas*. Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/276206554_Desarrollo_de_la_maricultura_en_el_Ecuador_situacion_actual_y_perspectivas?enrichId=rgreq-999fa7290ada18a2fa58fa1116ba4a2b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI3NjIwNjU1NDtBUzoyMjgzODM0OTM3MTgwMTZAMTQzMTQ2MjI3
- López, A. (2019). *Zonificación Marítima para fomento de la Maricultura en la Provincia de Santa Elena, Ecuador - aplicando SIG*. Tesis de maestría, Universidad de Salzburg, Departamento de Geomática, Quito. Retrieved junio 15, 2021, from https://issuu.com/unigis_latina/docs/lopez_montenegro_andres
- López, M., & Toribio, N. (2008). *Estudio de la Productividad de cultivos de Kappaphycus alvarezii (M.S.Doty)*. Punta Galeta: Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Retrieved from https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/2874/12/0577447_00000_0000.pdf
- Luning, K. (1990). *Seaweeds: Their environment, biogeography and ecophysiology*. New York: Wiley-Interscience Publication. Retrieved junio 30, 2021, from <https://doi.org/10.1002/aqc.3270010208>
- MAGAP. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 23*. Quito. Retrieved from http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Acuerdo_N_023_.pdf
- MAGAP. (2016). *Acuerdo Ministerial No. 100*. Manta. Retrieved from <http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Acuerdo-Ministerial-N-100.pdf>
- MAGAP. (2017). *Acuerdo Ministerial No. 0001*. Manta. Retrieved from <http://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/ACUERDO-MINISTERIAL-No.-0001-2017-Categorización-de-Especies-ilovepdf-compressed.pdf>

- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 703'726. doi: <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Matthews, M. W. (2011). *A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters*. *International Journal of Remote Sensing*. doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.512947>
- McHugh, D. J. (2002). Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. *FAO Circulares de Pesca - C968*, 1-30. Retrieved agosto 10, 2021, from <http://www.fao.org/3/y3550s/y3550s00.htm>
- Miossec, L., Le Deuff , R., & Gouletquer , P. (2009). *Alien species alert: Crassostrea gigas (Pacific oyster)*. ICES Cooperative Research Report No. 299, Copenhagen. Retrieved junio 24, 2021, from https://www.researchgate.net/publication/40229531_Alien_Species_Alert_Crassostrea_gigas_Pacific_oyster
- MMO. (2013). *Spatial trends in aquaculture potential in the South and East Inshore and Offshore Marine Plan Areas*. A report produced for the Marine Management Organisation. doi:10.13140/2.1.1644.8004
- Molina, E. (2014). *Estudio De Impacto Ambiental: Planta De Tratamiento De La Comuna Valdivia*. Retrieved from <https://maesantaelena.files.wordpress.com/2014/11/eia-valdivia.pdf>
- Naciones Unidas. (2017). *Los efectos del cambio climático y los cambios atmosféricos conexos en los océanos*. New York. Retrieved mayo 28, 2021, from https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753_s-impacts-of-climate-change.pdf
- Nunes da Silva , F. J. (2016). *Identification of Suitable Areas for Offshore Macroalgae Cultivation*. Estocolmo: KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1287517/FULLTEXT01.pdf>
- Nursidi, Mauli, & Heriansah. (2017). Development of seaweed *Kappaphycus alvarezii* cultivation through vertical method in the water of small islands in South Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux, Volumen 10*. Retrieved julio 22, 2021, from <http://www.bioflux.com.ro/docs/2017.1428-1435.pdf>
- Okuda, T., & Trejos, R. (1980). Distribución de nitrito en las aguas costeras ecuatorianas, *Acta Oceanográfica del Pacífico*. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Retrieved from

- https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta2_1/OCE201_3.pdf
- Okuda, T., Valencia, M., & Trejos, R. (1983). Nutrientes en las aguas superficiales y subsuperficiales en el área frente al Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. Retrieved from https://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta2_1/OCE201_2.pdf
- ONU. (2019). *Naciones Unidas*. Retrieved from <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Páez, F. (2001). *La interacción camaronicultura y medioambiente*. Sonora. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/252931637_La_interaccion_camaronicultura_y_medioambiente
- Palmer, S., Barillé, L., Kay, S., Ciavatta, S., Buck, B., & Gernez, P. (2020). *Pacific oyster (Crassostrea gigas) growth modelling and indicators for offshore aquaculture in Europe under climate change uncertainty*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736116>
- Paredes, S. (2016). *Cultivo experimental de Kappaphycus alvarezzi (Doty 1988), como alternativa productiva y sostenible para los pescadores artesanales de Santa Rosa de Salinas, provincia de Santa Elena*. Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/25251>
- PDOT. (2014). Prefectura de Santa Elena.
- Rabassó, M. (2006). *Los Impactos Ambientales de la Acuicultura, causas y efectos*. Las Palmas de Gran Canaria. Retrieved from https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/6671/1/0231633_00028_0007.pdf
- Radiarta, I. N., Saitoh, S., & Yasui, H. (2011). Aquaculture site selection for Japanese kelp (*Laminaria japonica*) in southern Hokkaido, Japan, using satellite remote sensing and GIS-based models. *ICES Journal of Marine Science*, 773-780. doi: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq163>
- Roesijadi, G., Coleman, A., Judd, C., Van Cleve, B., Thom, R., Buenau, K., . . . Ward, J. (2011). *Macroalgae Analysis. A National GIS-based Analysis of Macroalgae Production Potential Summary Report and Project Plan*. Pacific Northwest National Laboratory. Retrieved from

https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21087.pdf

- Rodríguez, G., Aguirre, G., & Chiriboga, G. (2016). La gestión ambiental empresarial su función frente a cambios climáticos globales. camaroneras, caso: Manglares de Ecuador. *Revista Científica De La Universidad De Cienfuegos*, 8(2), 80-86. Retrieved junio 18, 2021, from <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/410>
- Rodríguez. (2015). *EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y LA SUPERVIVENCIA DE Crassostrea gigas (Thunberg, 1793), BAJO CONDICIONES DE CULTIVO SUSPENDIDO EN MAR ABIERTO, EN LA COMUNA PALMAR, SANTA ELENA - ECUADOR*. Trabajo de titulación, La Libertad. Retrieved from <https://1library.co/document/z3dkk5my-evaluacion-crecimiento-supervivencia-crassostrea-thunberg-condiciones-suspendido-ecuador.html>
- Romero, A., & al, e. (2018). Evaluación hidroacústica de los principales peces pelágicos pequeños en el ecuador y su distribución geoespacial, durante noviembre de 2018. *Instituto Nacional de Pesca*. Retrieved from <https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2018/01/Estimaci%c3%b3n-Hidroac%c3%b3stica-de-los-principales-peces-pel%c3%a1gicos-peque%c3%b1os-en-el-Ecuador-y-su-distribuci%c3%b3n-geoespacial-durante-diciembre-de-2019.pdf>
- Seafarm. (2014). *Macroalgae for a biobased society, culture, biorefineries and energy extraction*. Retrieved from <http://www.seafarm.se/web/page.aspx?refid=135>
- Sepúlveda, M. (2014). *Ficha ambiental para el cultivo sostenible de Kappaphycus alvarezii*. Salinas. Retrieved from https://www.academia.edu/14894750/FICHA_AMBIENTAL_MINISTERIO_AMBIENTE_MARICULTURA_MACROALGAS_EN_ECUADOR
- STM. (2013). ESTUDIO 2: ANÁLISIS DEL PERFIL BATIMÉTRICO, RUGOSIDAD, DUREZA Y MAPEO DE FONDO MARINO, EN EL MAR TERRITORIAL Y EN AGUAS INTERIORES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ECUADOR. In S. T. Mar, *ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DEL MAR TERRITORIAL CONTINENTAL DEL ECUADOR, BASES PARA LOGRAR LA ZONIFICACIÓN MARINA*. Guayaquil.
- Stumm, W., & Morgan, J. (1981). *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. New York: Wiley-Interscience. Retrieved

from

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NLV_yfulgkQC&oi=fnd&pg=PT14&dq=Stumm,+W.,+%26+Morgan,+J.+\(1981\).+Aquatic+Chemistry:+An+Introduction+Emphasizing+Chemical+Equilibria+in+Natural+Waters.+New+York:+Wiley-Interscience.&ots=cL-W9lg7OC&sig=RAz27ZfG1qKE](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=NLV_yfulgkQC&oi=fnd&pg=PT14&dq=Stumm,+W.,+%26+Morgan,+J.+(1981).+Aquatic+Chemistry:+An+Introduction+Emphasizing+Chemical+Equilibria+in+Natural+Waters.+New+York:+Wiley-Interscience.&ots=cL-W9lg7OC&sig=RAz27ZfG1qKE)

- Tapia. (2006). *Variabilidad temporal del fitoplancton en áreas costeras del mar ecuatoriano y su interrelacion con el evento "La Niña 1999-2000*. Universidad de Guayaquil. Retrieved julio 2, 2021, from <http://hdl.handle.net/1834/2463>
- Tapia, M. E., & Naranjo, C. (2010). La clorofila a como un indicador biológico en las estaciones fijas durante el evento la niña 1999-2000. *Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 16, No. 1, 2010-2011*. Retrieved julio 3, 2021, from <http://hdl.handle.net/1834/4214>
- Trespoe, A., Daessle, J., Batista, G., Bleicher-Lhoneur, G., & Crithley, A. (2006). *Preliminary Analysis of the impact of cultivation conditions on carrageenan yield and Quality from a newly Established Farming area in Panama*. Amsterdam.
- Treviño, L., Lodeiros, C., & Vélez-Falcones, J. (2020). *Suspended culture evaluation of Pacific oyster Crassostrea gigas in a tropical estuary*. *Aquac Res.* doi: <https://doi.org/10.1111/are.14556>
- Werner, A., & Dring, M. (2011). Cultivating *Palmaria palmata*. *Aquaculture explained no.27*. Retrieved julio 20, 2021, from https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2013/18813/pdf/Aquaculture_Explained_Issue_27_Cultivating_Palmaria_palmata.pdf
- Werner, A., Clarke, D., & Kraan, S. (2004). *Strategic review of the feasibility of seaweed aquaculture in Ireland*. Galway: Marine Institute. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10793/327>
- Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., & Yuan, Q. (2017). High quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 20-34.

APÉNDICES

5. APÉNDICE A

5.1 Conceptos relevantes al estudio

Batimetría

La batimetría es el equivalente topográfico de la altimetría, ya que se refiere al levantamiento topográfico de una superficie cubierta de agua con el fin de describir las características del fondo, principalmente para seguridad en la navegación y para el desarrollo de los recursos marinos (Alvarado & Aguilar, 2009), (Consulsua - Geoestudios, 2013).

Temperatura

La temperatura del mar es un factor físico que determina la densidad, viscosidad y movimiento del agua, además de afectar a la solubilidad de los gases disueltos y a los procesos biológicos de los organismos, al acelerar la velocidad de las reacciones químicas y biológicas, siendo clave en la distribución y reproducción de dichos organismos. La temperatura varía dependiendo de las diferentes latitudes, estaciones del año y de la profundidad de la columna de agua, haciendo que los organismos marinos deban adaptarse a los diferentes hábitats.

Salinidad

La salinidad es una propiedad física que sugiere el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Presenta datos variables dependiendo del océano y la zona geográfica, debido a la evaporación, precipitación, aportes fluviales, licuación y congelación en las distintas regiones del planeta. Esta propiedad tiene un rol importante en el metabolismo de los organismos marinos, que pueden ser estenohialinos, es decir que no toleran grandes cambios de salinidad, usualmente adaptados al océano abierto o eurihialinos, es decir organismos con mayor tolerancia a los cambios de este parámetro y adaptados a las zonas costeras.

Visibilidad

La transparencia puede ser medida in situ a partir de la profundidad del disco Secchi que determina la profundidad a la que una persona deja de ver un disco metálico de 30 cm

de diámetro, siendo un indicador de la profundidad a la que la luz del sol penetra en el agua (Lee et al., 2016).

Micronutrientes

Nitrito

En la superficie del océano se estima una capa máxima de nitrito vinculada a la termoclina, esta acumulación se considera como parte de la oxidación del amonio en el proceso de nitrificación (Okuda & Trejos, 1980).

El nitrógeno orgánico amoniacal se encuentra presenta en aguas que reciben descargas de aguas residuales, este al reaccionar con el oxígeno disuelto se oxida primero a nitrito y luego a nitrato. Una elevada concentración de nitrito puede indicar contaminación del medio debido a actividades de origen antropogénico. El nitrito además es tóxico para los peces marinos en concentraciones mayores a 2 mg/l (Stumm & Morgan, 1981).

Investigaciones realizadas en el medio marino ecuatoriano determinan que la concentración de este micronutriente se encuentra por lo general en un rango menor a 0,1 mg/l debido a la inestabilidad del ion (Okuda et al., 1983).

Nitrato

El nitrato es altamente soluble en el agua de mar siendo normalmente su concentración más alta que la del nitrito, esto debido a que el nitrito tiende a convertirse en nitrato. Este nutriente es de gran importancia para los organismos marinos, sin embargo, una alta concentración puede generar procesos de eutrofización con la proliferación de organismos que disminuirían el oxígeno disuelto afectando la calidad del agua.

Fosfato

El fosfato junto al nitrógeno son los nutrientes más relevantes para la vida marina, sin embargo, al igual que con el nitrato, sus altas concentraciones pueden dar origen a procesos de eutrofización disminuyendo la calidad del agua.

Clorofila a

El fitoplancton se nutre a través de la clorofila a mediante el proceso de fotosíntesis, por lo que resulta un parámetro indicador de la Productividad Primaria, siendo la base nutricional de todos los organismos marinos (Tapia & Naranjo, 2010).

6. APÉNDICE B

6.1 Características socioeconómicas del área de estudio

Santa Elena es una provincia de la región costera del Ecuador, que cuenta con 3 763 Km² de superficie. Posee un clima caracterizado por dos estaciones: la estación seca-fría (junio-noviembre) y la estación húmeda-cálida (diciembre-mayo), además se encuentra influenciada por la corriente marina fría de Humboldt que se dirige hacia el Norte en los meses de julio a octubre y por la corriente marina cálida del Niño que se dirige hacia el sur entre los meses de enero y abril.

Según los datos meteorológicos del INHAMI Santa Elena registra, en un período de 10 años, mínimos de temperatura entre 16.8°C - 18.9°C y valores máximos entre 30.3°C - 32.5°C (Cansing y Mena, 2018). Además, la precipitación media anual para el periodo de 1963-1995 es de 186.9 mm, lo cual que se concentra en un 98% en la época húmeda (Molina, 2014).

6.1.1 Áreas Marinas Protegidas en la zona

Siendo parte de las provincias de Manabí y Santa Elena se encuentra la Reserva Marina El Pelado que posee una extensión de 13 005 hectáreas en el mar y 96 hectáreas terrestres, en donde existen diversos islotes que sirven como refugio y anidación de aves marinas especialmente los piqueros de patas azules, además de dos zonas de manglar y abarca a las comunidades costeras de Ayangue, Palmar, San Pedro y Valdivia. Aquí convergen las aguas cálidas que vienen desde la Bahía de Panamá, con las aguas frías ricas en nutrientes de la corriente de Humboldt. El islote El Pelado se encuentra ubicado frente a la playa de Ayangue, en la zona del Frente Ecuatorial que tiene un gradiente termohalino marcado, debido a las condiciones fluctuantes diversas investigaciones han revelado la existencia de una gran diversidad de organismos marinos motivando a su creación como reserva (Cruz et al., 2003). Actualmente se llevan a cabo investigaciones en sus ambientes rocosos y es un destino turístico de buceo y avistamiento de ballenas en los meses de junio a septiembre (Cardenas & Triviño, 2013).

La Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena tiene una extensión de 52 231 hectáreas en el mar y 203 hectáreas terrestres que abarca principalmente al punto más extremo de la costa del continente de Sudamérica, la zona conocida como La Chocolatera. La zona marina adyacente a este punto tiene profundidades de entre (30 — 50 m), donde se genera una gran cantidad de plancton que

es una fuente importante para las poblaciones pesqueras en recuperación. La reserva también incluye acantilados, playas y algunos pequeños bosques secos del litoral ecuatoriano. Esta zona también es refugio de varias especies de mamíferos marinos, entre ellos dos especies de lobos marinos, siete especies de delfines y siete especies de ballenas (SNA, 2015).

6.1.2 Actividades económicas

Santa Elena cuenta con una población de 308 693 habitantes, dispone además de varios atractivos turísticos naturales, arqueológicos, playas y comunidades de pescadores. Debido al turismo la provincia cuenta con una gran infraestructura hotelera, cuenta también con una refinería de petróleo aeropuerto y un puerto marítimo. El comercio mayormente se basa en la pesca y el turismo siendo más reconocidas las playas de Salinas y Montañita (GAD, 2014).

Tabla 6.1 Actividades Económicas Predominantes por Parroquias de Santa Elena (Fundación Santiago de Guyaquil,2011).

| Parroquia | Actividades Económicas Predominantes |
|---------------|---|
| Manglaralto | Turismo, Artesanías y Agricultura |
| Colonche | Turismo, Artesanías y Agricultura |
| Sector Rural | Turismo, Artesanías y Ganadería |
| Anconcito | Puerto Pesquero de Anconcito |
| Chanduy | Puerto Pesquero de Chanduy, Camaroneras |
| Ancón | Artesanías, Turismo de Tradiciones |
| Atahualpa | Artesanías, Turismo de Tradiciones |
| Simón Bolívar | Agricultura de subsistencia |

La provincia cuenta con 14 operadoras de turismo, actividad que manejada de manera responsable y sostenible es una herramienta de apoyo a la conservación y mejora la calidad de vida de la población.

Extracción de petróleo y gas

En el cantón Santa Elena se encuentra el Bloque petrolero Gustavo Galindo Velasco, actualmente concesionado a Pacifpetrol, mismo que se encuentra dividido en tres zonas, Ancón, Atahualpa y San Pablo con un total de 2 220 pozos de extracción. Producción

que no está exenta de derrames lo que conlleva a impactos negativos en el suelo adyacente (PDOT, 2014).

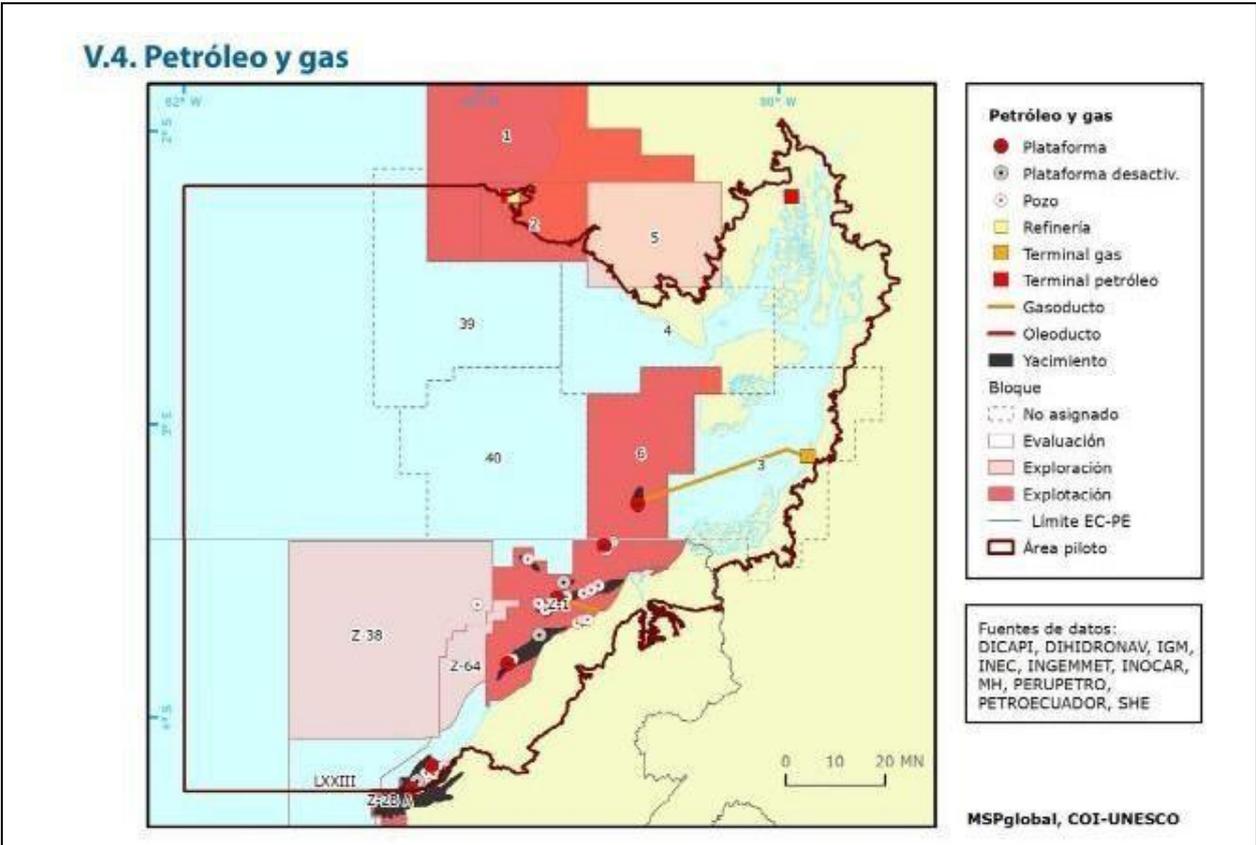


Figura 6.1 Sectores de petróleo y gas en el área del golfo de Guayaquil. Nota: faltan datos sobre pozos en la zona ecuatoriana (COI-UNESCO, 2021)

La acuicultura es una actividad igualmente relevante en la provincia, este sector se ha desarrollado alrededor de la larvicultura de camarón blanco ya que según el Instituto Nacional de Pesca aquí se encuentran 130 laboratorios de larvas, el 75% de los laboratorios que se encuentran en el país y 10 camaroneras. Así mismo se siguen desarrollando propuestas de diversificación del sector acuícola en la provincia (González et al., 2015).

Cables de telecomunicaciones y rutas marítimas

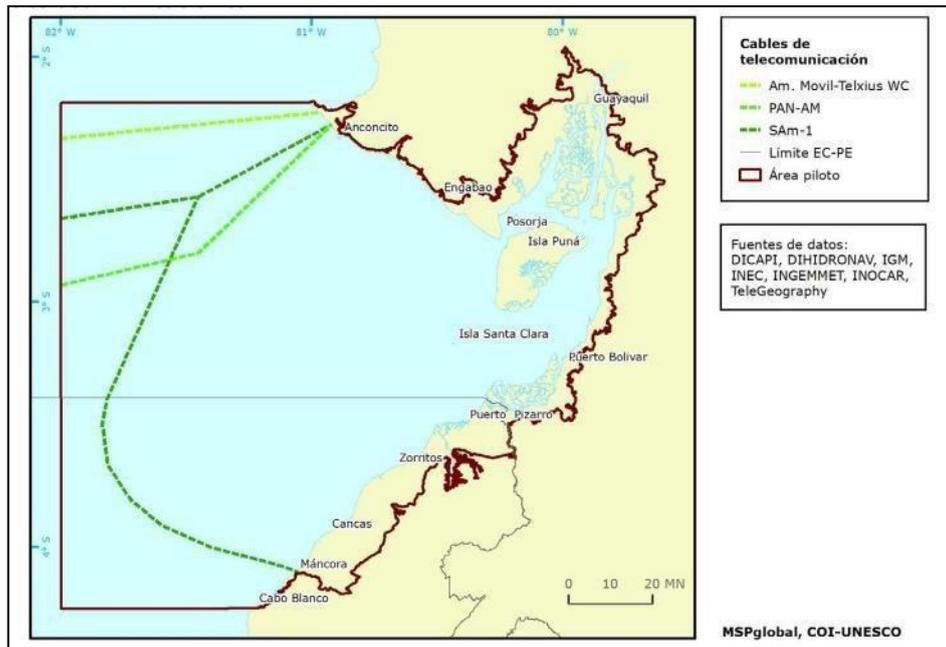


Figura 6.2 Cables submarinos en el área del golfo de Guayaquil. (COI-UNESCO, 2021)

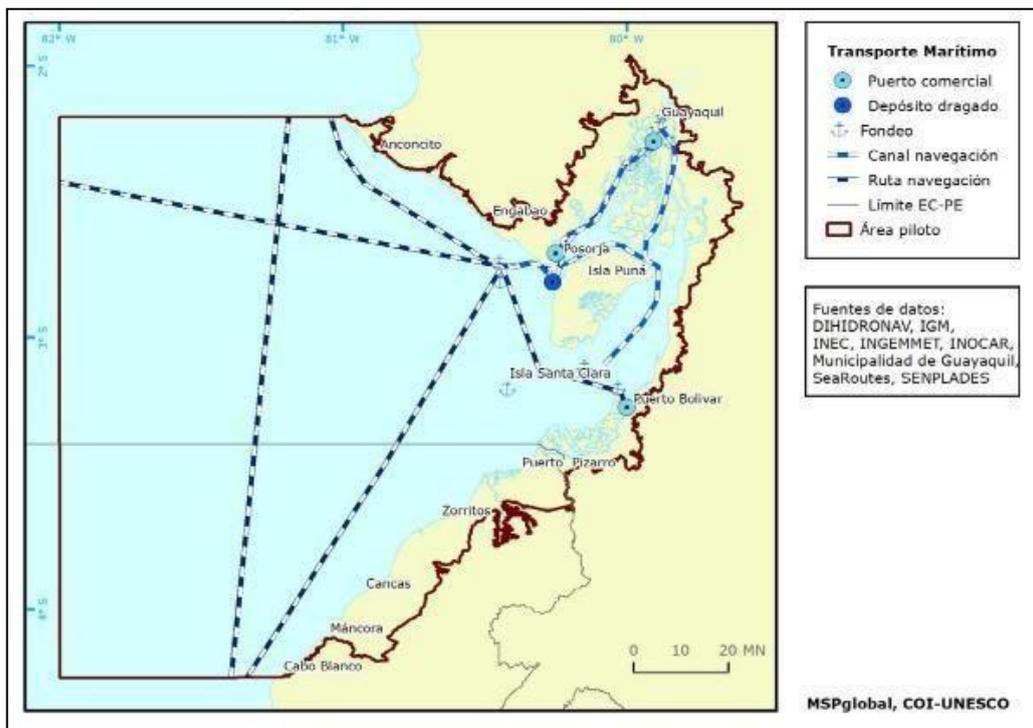


Figura 6.3 Sector del transporte marítimo y puertos en el área del golfo de Guayaquil (COI-UNESCO, 2021)

Puertos pesqueros y caletas

La pesca artesanal es una de las actividades de mayor importancia económica en la provincia de Santa Elena, se encuentra protegida y regulada a las 8 millas náuticas por el marco legal ecuatoriano, que protege e impulsa esta actividad debido a que es amigable con el hábitat siempre que sea racionalizada, se respeten las épocas de veda y se dispongan adecuadamente de los desechos. Esta actividad conlleva el uso de artes de pesca ancestrales siendo parte de la identidad de las comunas y es una fuente de trabajo que aporta a la economía familiar. Existen 26 caletas en la provincia de Santa Elena pertenecientes a los tres cantones de la provincia; como las más relevantes tenemos: La Entrada, San Pedro, Ayangué, Jambelí, San Pablo, Chuyuipe, El Real, Puerto Chanduy, la Caleta, la Carioca, Santa Rosa y Anconcito. De los antes mencionados los puertos de Santa Rosa y Anconcito son considerados de pesca artesanal, debido a su importancia económica (PDOT, 2014).

De las 26 caletas existentes al menos la mitad ya no realiza actividad pesquera ya que la población ha migrado a otras actividades económicas (León et al., 2017).

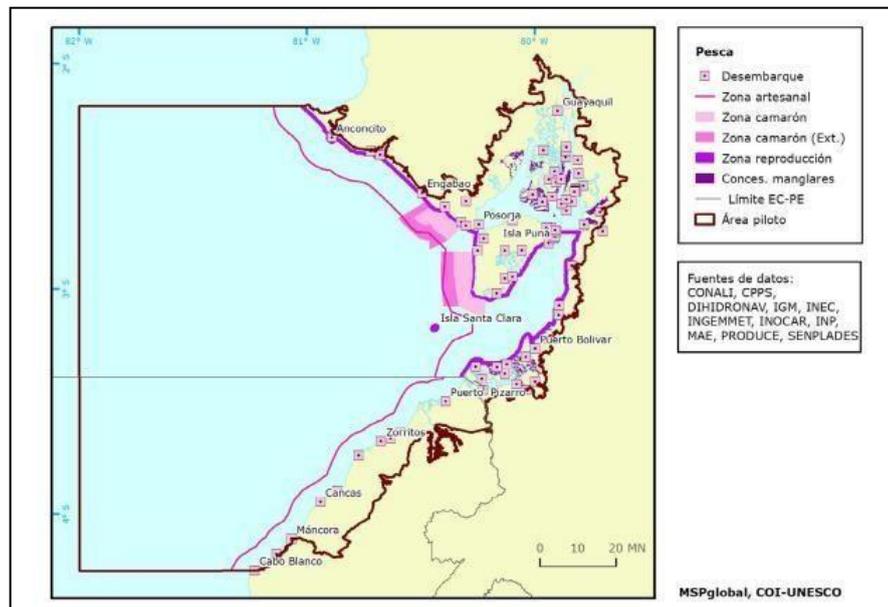


Figura 6.4 Sector pesquero en el área del golfo de Guayaquil. (COI-UNESCO, 2021)

7. APÉNDICE C

7.1 Características ambientales del área de estudio

La siguiente información se refiere a los factores ambientales de tipo físico, químico y biológico de interés para el área de estudio, datos que fueron recopilados de los “Estudios de caracterización del Mar Territorial Continental del Ecuador, bases para lograr la zonificación marina” a cargo de la Secretaría Técnica del Mar (STM) para el año 2013, en donde se divide el Mar Territorial y Aguas Interiores correspondientes a la costa ecuatoriana en 5 zonas denominadas Macrozonas (ver figura 7.1). Para propósitos de este proyecto se consideran únicamente los datos obtenidos del sur de la Macrozona 4 y el norte de la Macrozona 5. Dicho estudio fue realizado en el marco de la CONVEMAR, buscando aportar a suplir la carencia de información y/o complementar la información técnico-científica existente.



Figura 7.1 Localización de las Macrozonas. (Consulsua – Geoestudios, 2014)

7.1.1 Batimetría

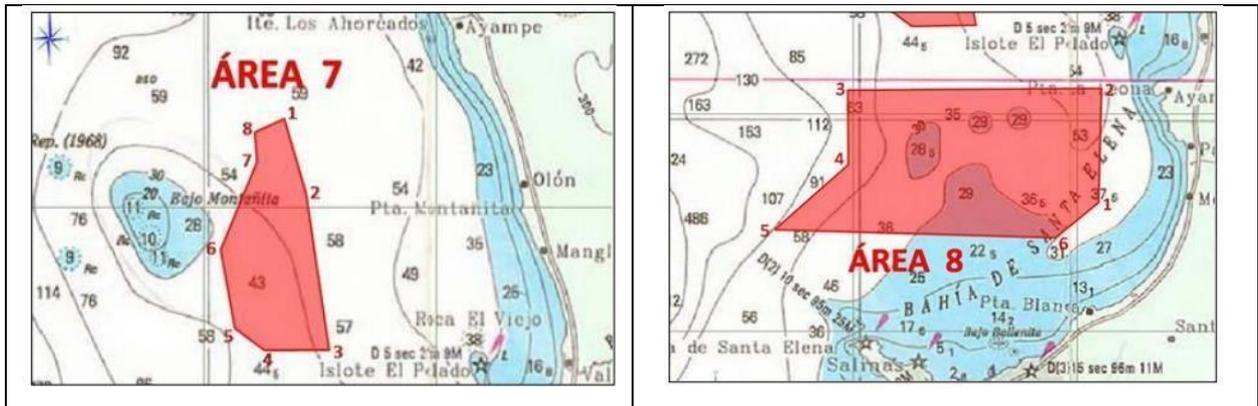


Figura 7.2 Esquema de las áreas 7 y 8. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

Como resultado se tiene que la profundidad del lecho marino en el área 7 alcanza el valor máximo de 60 m y el valor mínimo de 41 m. En esta área predominan los suelos de baja dureza con una composición de sedimentos no consolidados que llegan a espesores de entre 10 m y 15 m. Se presentan afloramientos puntuales de alta dureza en el sector septentrional y afloramientos de suelos de dureza media en el sector occidental (figura 7.3)

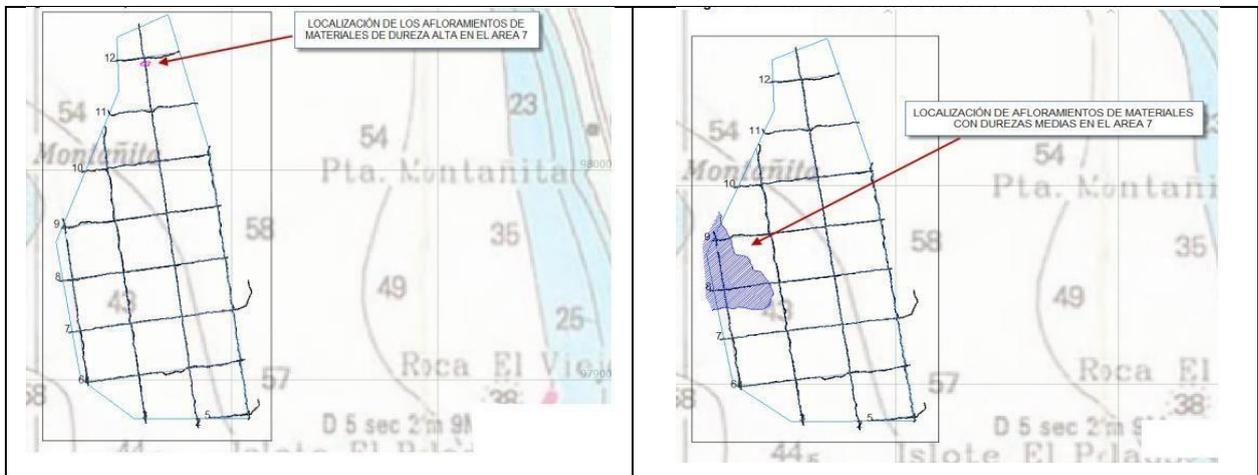


Figura 7.3 Localización de afloramientos de materiales en el área 7. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

Para el área 8 se tiene como valor máximo de profundidad 95 m y como valor mínimo 25 m. En esta área predominan los sedimentos no consolidados que llegan a espesores variables de entre 10, 15 y 27 m, además de la aparición esporádica de suelos de dureza alta en el sector Suroccidental y Nororiental (figura 7.4).

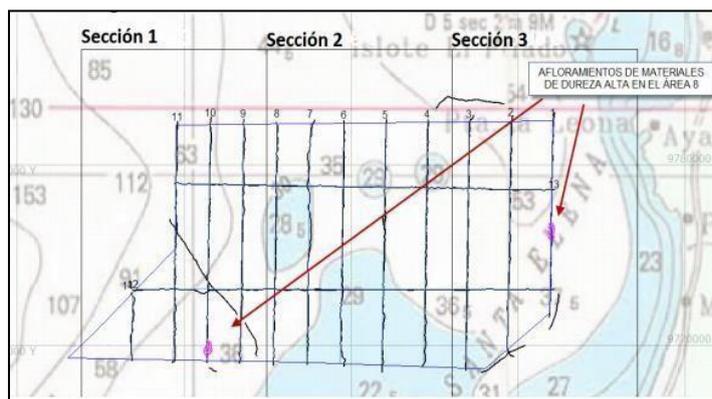


Figura 7.4 Localización de afloramientos de materiales en el área 8. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

7.1.2 TSM

Para los parámetros de temperatura, salinidad, turbidez, visibilidad, micronutrientes y clorofila-a se promediaron los datos obtenidos en la superficie, a una profundidad media y de fondo de 15 estaciones localizadas en el Mar Territorial y Aguas Interiores de la Macrozona 4 y 12 estaciones en el Mar Territorial de la Macrozona 5 respectivamente. Respecto a la profundidad del mar y a la temperatura se pueden establecer tres zonas con sus propias características:

- Los primeros 100 metros de profundidad que comprende la zona eufótica, expuesta a las variaciones de magnitud y dirección de los vientos. Aquí la temperatura es por lo general homogénea constituyendo lo que se conoce como capa de mezcla.
- Seguida de la capa de mezcla se encuentra la termoclina, en donde se da un descenso brusco de la temperatura, pudiendo llegar a los 5 °C o 6 °C a los 1000 m.
- Al final se encuentra la capa profunda en donde la temperatura es casi estable.

Tras la toma de datos en agosto del 2013 y enero del 2014 se constató que el patrón de distribución en vertical se presenta con datos usuales que disminuyen a medida que aumenta la profundidad. Se observa, además, que para agosto la temperatura de las aguas en la Macrozona 4 es inferior con aproximadamente 3 °C de diferencia en comparación al resto de macrozonas, esto debido a la influencia de las aguas frías de la Corriente de Humboldt, mientras que en enero la temperatura fue más cálida correspondiéndose con la época húmeda; en la tabla 7.1 se muestran los promedios de temperatura para la época seca y húmeda.

Tabla 7.1 Promedio de temperatura (°C): Macrozona 4. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Nivel | Época seca | Época húmeda |
|------------|------------|--------------|
| Superficie | 22.06 | 23.69 |
| Medio | 21.50 | 20.55 |
| Fondo | 20.89 | 18.72 |

De igual manera para la Macrozona 5, los patrones de distribución verticales se presentan con datos usuales que disminuyen a medida que aumenta la profundidad. Así como para agosto, la temperatura de las aguas en la Macrozona 5 es inferior con aproximadamente 4 °C de diferencia en comparación al resto de macrozonas debido a la Corriente fría de Humboldt y con aguas más cálidas para la época húmeda; en la tabla se muestran los promedios de temperatura para la época seca y húmeda.

Tabla 7.2 Promedio de temperatura (°C): Macrozona 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Nivel | Época seca | Época húmeda |
|------------|------------|--------------|
| Superficie | 18.02 | 25.67 |
| Medio | 16.98 | 19.87 |
| Fondo | 16.63 | 17.63 |

7.1.3 Salinidad

En la Macrozonas 4 y 5 la salinidad (ups), se distribuye de forma homogénea por las áreas sin observarse variaciones significativas entre los datos obtenidos en agosto y enero, sin embargo, en agosto se presentaron aguas más salinas respecto a otras macrozonas, debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt para la época seca. La Tabla 5.4 muestra a detalle los promedios de salinidad en los tres niveles de profundidad para cada época.

Tabla 7.3 Promedio de salinidad (ups): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 33.55 | 33.09 | Superficie | 34.24 | 32.73 |
| Medio | 34.09 | 33.68 | Medio | 34.81 | 33.58 |
| Fondo | 34.49 | 33.92 | Fondo | 34.85 | 33.78 |

7.1.4 Turbidez

La turbidez se determina a través de un turbidímetro y mide como la dispersión de un rayo de luz en el agua a 90° de la luz incidente, producida por la presencia de materiales, bien coloidales o particulados (Matthews, 2011). La turbidez debido a materiales de origen biogénico puede darse debido a la proliferación de microorganismos y la de origen terrígeno se debe a las altas concentraciones de sustancias inorgánicas tales como limo o arcilla. Demasiada turbidez en el agua puede tener efectos negativos sobre su calidad, disminuyendo la cantidad de oxígeno disuelto debido a la disminución de la actividad fotosintética del fitoplancton.

Se consideran como valores de condiciones naturales, entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométrica). En la tabla a continuación, se detallan los valores promedios de turbidez de la Macrozona 4, para tres distintos niveles y en diferentes épocas, observándose los valores mayores para la época húmeda debido al material arrastrado por las lluvias propias de la estación.

Tabla 7.4 Promedio de turbidez (UTN): Macrozona 4. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Nivel | Época seca | Época húmeda |
|------------|------------|--------------|
| Superficie | 0.18 | 0.32 |
| Medio | 0.20 | 0.26 |
| Fondo | 0.17 | 0.26 |

En la tabla 7.5 se detallan los valores promedios de turbidez de la Macrozona 5, para tres distintos niveles y en diferentes épocas. Los valores observados en agosto correspondientes a la época seca se muestran más altos en comparación a otras macrozonas, esto puede estar relacionado a los aportes constantes de sedimentos desde el río Guayas.

Tabla 7.5 Promedio de turbidez (UTN): Macrozona 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Nivel | Época seca | Época húmeda |
|------------|------------|--------------|
| Superficie | 0.30 | 0.30 |
| Medio | 0.23 | 0.26 |
| Fondo | 0.21 | 0.21 |

7.1.5 Visibilidad

Los resultados cumplen con el límite mínimo establecido por el TULSMA, que se refiere a Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, por contacto primario (2 metros).

Los promedios de visibilidad pueden observarse en la tabla 7.6 en donde se detallan los valores de la Macrozona 4 y 5 para ambas épocas.

Tabla 7.6 Promedio de visibilidad (m): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 9.43 | 6.39 | Superficie | 8.90 | 7.64 |

7.1.6 Nitrito-N

En la tabla 7.7 a continuación se detallan los valores promedio de nitrito para las diferentes épocas y a tres distintos niveles. El TULSMA establece como límite máximo permisible 1 mg/l por lo que se concluye que no existe contaminación debida a este nutriente en las muestras analizadas.

Tabla 7.7 Promedio de nitrito ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 0.0955 | 0.3301 | Superficie | 0.1042 | 0.2432 |
| Medio | 0.0782 | 0.3387 | Medio | 0.1042 | 0.3648 |
| Fondo | 0.0782 | 0.2866 | Fondo | 0.0955 | 0.2953 |

7.1.7 Nitrato-N

Para la Macrozona 4 y 5 los valores en mg/l detallados en la tabla 7.8 no muestran variaciones significativas entre las diferentes profundidades para las cuales se obtuvieron las muestras de agua.

Tabla 7.8 Promedio de nitrato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 8.5990 | 54.8945 | Superficie | 16.1557 | 49.5093 |
| Medio | 7.1224 | 59.4111 | Medio | 20.1511 | 56.3711 |
| Fondo | 10.8573 | 60.2797 | Fondo | 19.6300 | 58.6294 |

7.1.8 Fosfato-P

Para la Macrozona 4 y 5 se observaron valores que aumentan con la profundidad y son más altos en el Mar Territorial que en las Aguas Interiores (tabla 7.9), por lo que posiblemente el aporte de este nutriente sea de origen oceánico y no continental.

Tabla 7.9 Promedio de fosfato ($\mu\text{mol kg}^{-1}$): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 3.5612 | 3.2138 | Superficie | 4.7772 | 2.6058 |
| Medio | 3.9955 | 3.4743 | Medio | 5.5589 | 3.1269 |
| Fondo | 4.5166 | 3.8218 | Fondo | 5.8195 | 3.4743 |

7.1.9 Clorofila-a

Tabla 7.10 Escala de clorofila a: Producción Primaria. (Tapia, 2006)

| Rangos | Productividad |
|--------------------------------|---|
| < 0.20 mg m^{-3} | Clorofila = Aguas de baja productividad |
| 0.20 – 0.50 mg m^{-3} | Clorofila = Aguas ligeramente productivas |
| > 0.50 mg m^{-3} | Clorofila = Aguas productivas |

Los valores promedio de la tabla 7.11 de clorofila *a* en la Macrozona 4 presentan aguas superficiales y de profundidad media ligeramente productivas para la época seca, en la Macrozona 5 para la época seca los valores muestran aguas ligeramente productivas en la superficie y de baja productividad para el medio y el fondo mientras que los valores para la época húmeda presentan aguas productivas en la superficie y a profundidad media.

Tabla 7.11 Promedio de clorofila *a* (mg m^{-3}): Macrozona 4 y 5. (Consulsua - Geoestudios, 2013)

| Macrozona 4 | | | Macrozona 5 | | |
|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Nivel | Época seca | Época húmeda | Nivel | Época seca | Época húmeda |
| Superficie | 0.26 | 0.91 | Superficie | 0.25 | 0.93 |
| Medio | 0.20 | 0.68 | Medio | 0.14 | 0.75 |

| | | | | | |
|-------|------|------|-------|------|------|
| Fondo | 0.16 | 0.47 | Fondo | 0.09 | 0.53 |
|-------|------|------|-------|------|------|

7.1.10 Fitoplancton

Para la zona de interés se tomaron muestras de 15 y 12 estaciones de monitoreo distribuidas en la Macrozona 4 y 5 respectivamente con datos recolectados a 0 y 15 metros de profundidad. El fitoplancton tuvo áreas de mayor concentración en el límite de las zonas de Aguas Interiores y el Mar Territorial al Norte y al Sur de la Península de Santa Elena y en las Aguas Interiores al Noroeste de Ayangue.

Para la Macrozona 4 la actividad celular registró mayores abundancias durante la época húmeda a partir de las densidades registradas con valores de 0.31 y 0.33×10^6 cel kg^{-1} en las estaciones EAQB-13 y EAQB-14 ubicadas en Aguas Interiores al Norte de la Península de Santa Elena. El fitoplancton analizado en ambas profundidades determinó un promedio de 0.19 y 0.62×10^6 cel kg^{-1} para la época seca y húmeda, respectivamente.

Las especies que más contribuyeron a esta densidad pertenecen al grupo de las diatomeas, caracterizadas por su cubierta compuesta de sílice, con valores entre 0.01 y 0.07×10^6 cel kg^{-1} en los dos niveles analizados, observándose mayores densidades en la parte Central y Sur de la Macrozona 4, seguida de los dinoflagelados con densidades menos significativas.

Para la Macrozona 5 la actividad celular registró mayores abundancias a nivel superficial durante la época húmeda con 2.01×10^6 cel kg^{-1} en toda la Macrozona 5. Importante mencionar que en la estación EAQB-12 ubicada dentro de la Reserva de Producción Faunística y Marina Costera Península de Santa Elena para la época seca registró una de las mayores actividades celulares con 0.44×10^6 cel kg^{-1} , de igual forma las estaciones EAQB-01 y EAQB-02 ubicadas al Sur del Golfo de Guayaquil para la época húmeda registraron las mayores actividades celulares de la zona con 0.74 y 0.36×10^6 cel kg^{-1} , respectivamente. El fitoplancton analizado en ambas profundidades determinó un promedio de 0.26×10^6 cel kg^{-1} en la época seca y de 0.51×10^6 cel kg^{-1} en la época húmeda.

Las especies que mayor contribuyeron a esta densidad pertenecen al grupo de las diatomeas seguida del grupo de los dinoflagelados.

7.1.11 Corrientes

Para el registro de corrientes en la Macrozona 4 se ubicaron 15 estaciones (figura 7.5) formando 3 transectas de 5 estaciones cada una en dirección perpendicular a la línea de costa. Estas transectas son: la Transecta No. 5 en la que se ubicaron las Estaciones EOF13, EOF14, EOF15, EOF16 y EOF17, la Transecta No. 6 con las Estaciones EOF18, EOF19, EOF20, EOF21 y EOF22 y la Transecta No. 7 con la Estaciones EOF23, EOF24, EOF25, EOF26 y EOF27.



Figura 7.5 Ubicación de estaciones en la Macrozona 4 para el registro de corrientes.
(Consulsua - Geoestudios, 2013)

En las estaciones ubicadas en el sector más externo del Mar Territorial (Estaciones EOF13 y EOF14), de interés para el área de estudio, las magnitudes de corrientes muestran menores valores que los registrados en las estaciones más cercanas a la costa, en las cuales aumentan sus velocidades (Estaciones EOF15 y EOF16), y disminuyen en la Estación EOF17 ubicada cerca de la costa a la altura de Manglaralto. En la tabla 7.12 podemos observar que el valor promedio de las velocidades de corrientes fluctúa entre 0.173 m/s y 0.281 m/s para la época seca, y entre 0.131 m/s y 0.175 m/s para la época húmeda.

**Tabla 7.12 Valores promedios y máximos de velocidades de corriente (m/s): Macrozona 4
(Consulsua - Geoestudios, 2013)**

| Transecto | Época seca: 9 – 15 ago. 2013 | | Época húmeda: 7 – 17 feb. 2014 | |
|-----------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Promedio | Máxima (Est-Prof) | Promedio | Máxima (Est-Prof) |
| 5 | 0.173 | 0.655 (E15-107 m) | 0.175 | 0.445 (E17-12 m) |
| 6 | 0.195 | 0.646 (E21-132 m) | 0.131 | 0.448 (E19-12 m) |
| 7 | 0.281 | 0.678 (E24-12 m) | 0.138 | 0.318 (E24-202 m) |

Para el registro de corrientes en la Macrozona 5 se ubicaron 15 estaciones (figura 7.6) formando 4 transectos: el Transecto No. 1 formada por las Estaciones EOF1, EOF2 y EOF3, el Transecto No. 2 con las Estaciones EOF4, EOF5 y EOF6, el Transecto No. 3 con las Estaciones EOF7, EOF8 y EOF9, y el Transecto No. 4 con las Estaciones EOF10, EOF11 y EOF12.



**Figura 7.6 Ubicación de estaciones en la Macrozona 5 para el registro de corrientes.
(Consulsua - Geoestudios, 2013)**

En la Transecto No. 4, de interés para el área de estudio, los perfiles de corrientes indican una clara orientación Norte en la Estación EOF10 desde la superficie hasta los 160 m para girar hacia el O hasta los 200 m de profundidad, mientras que en las Estaciones EOF11 y EOF12, más cercas a la costa a la altura de la Península de Santa Elena, las direcciones fluctúan de NO a NE.

Como característica se observa la presencia de las mayores magnitudes del flujo en superficie de la Estación EOF10 y velocidades medias entre 0.164 y 0.248 m/s durante las mediciones en época seca y velocidades medias entre 0.129 y 0.179 m/s en época húmeda.

**Tabla 7.13 Valores promedios y máximos de velocidades de corriente (m/s): Macrozona 5
(Consulsua - Geoestudios, 2013)**

| Transecto | Época seca: 9 – 15 ago. 2013 | | Época húmeda: 7 – 17 feb. 2014 | |
|-----------|------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Promedio | Máxima (Est-Prof) | Promedio | Máxima (Est-Prof) |
| 1 | 0.248 | 0.656 (E3-47 m) | 0.179 | 0.381 (E1-12 m) |
| 2 | 0.164 | 0.375 (E6-202 m) | 0.129 | 0.287 (E4-52 m) |
| 3 | 0.196 | 0.462 (E8-137 m) | 0.159 | 0.315 (E8-117 m) |
| 4 | 0.185 | 0.400 (E10-37 m) | 0.151 | 0.339 (E10-17 m) |

8. APÉNDICE D

8.1 Leyes nacionales para la maricultura

En el año 2012 se hizo público el Acuerdo Ministerial 458 que trata sobre el control de las concesiones en la maricultura, declarando que las mismas se pueden otorgar en todas las áreas del mar con fondos rocosos o arenosos donde sea posible el cultivo de los organismos marinos y siempre que no afecten las actividades de pesca, turismo, navegación y otros, usando las mejores prácticas y tecnología para minimizar el impacto ambiental. Las áreas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), las áreas de seguridad nacional, los canales de navegación marítima, y áreas de reservas marinas quedan excluidas para la maricultura. En el Acuerdo Ministerial 134 de 2007 a la primera milla náutica se la denomina como zona de reserva de reproducción de organismos acuáticos y a las primeras 8 millas como exclusivas para actividades de pesca artesanal. Posteriormente el Acuerdo Ministerial 42 del 2013 advierte que los proyectos de acuicultura en las primeras 8 millas serán otorgados sólo a organizaciones pesqueras artesanales o a proyectos con fines de investigación, sin embargo, no se menciona de forma explícita una limitación a la maricultura comercial de la que ya ha habido propuestas. La primera concesión otorgada se dio en una zona más allá de las 8 millas, lo cual dificulta la logística y aumenta los costos por su distancia a la costa (López-Alvarado et al., 2015).

En el Acuerdo Ministerial 23 (MAGAP, 2015) se encuentran las generalidades del instructivo para el control de concesiones y actividades de maricultura en donde cabe mencionar, que el Estado ordenará la actividad a través de procesos de zonificación que haga más viable el uso de los espacios. Las personas naturales o jurídicas podrán

postular la incorporación de nuevas áreas de interés, siempre con información técnica que sustente su petición. En este acuerdo se encuentran también los requisitos para ejercer esta actividad, los mismos que al ser cumplidos serán autorizados por la Subsecretaría de Acuacultura.

Como parte importante de este proyecto cabe mencionar al Artículo 10 en donde las concesiones de espacios marinos se otorgarán dejando una distancia mínima entre sí conforme:

- 1500 metros entre concesiones de cultivos comerciales de peces
- 500 metros entre concesiones de cultivos comerciales de camarón
- 400 metros entre concesiones de cultivos de macroalgas, moluscos y proyectos de investigación
- 1000 metros entre concesiones de cultivos de peces y otro tipo de organismos
- Para el caso de cultivos comerciales integrados la distancia mínima será establecida en función de la especie cultivada que mantenga mayor distancia

Mientras que el Artículo 11 cita, que la superficie de concesión no excederá las 40 hectáreas (MAGAP, 2015).

El Acuerdo Ministerial 0001 (MAGAP, 2017), acuerda la categorización de especies marinas para proyectos de investigación en maricultura además del seguimiento y control de los sistemas de cultivo, mientras que el Acuerdo Ministerial 100 (MAGAP, 2016), acuerda expedir la norma técnica que permita comercializar con especies acuáticas que hayan sido capturadas y/o criadas como producto de investigación experimental.

8.2 Leyes internacionales para la maricultura

Ecuador desde el año 2012 forma parte de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) que establece que el mar territorial (12 millas desde la línea base) y las aguas interiores, son en donde el Estado ejerce su total soberanía. Existe el Código de Conducta para la Pesca Responsable (FAO, 1995), que se presenta como una guía para el desarrollo del sector pesquero y acuícola, considerando el uso sostenible de los recursos, la conservación del hábitat, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza en las comunidades costeras (López A. , 2019).

9. APÉNDICE E

9.1 Beneficios e impactos del cultivo multi trófico de ostras y macroalgas

Desde el punto de vista ecológico y ambiental las macroalgas intervienen en el reciclaje de nutrientes, además generan O_2 disuelto y capturan CO_2 ayudando a mitigar los efectos del cambio climático (Sepúlveda, 2014), (Paredes, 2016). Las algas, al absorber el dióxido de carbono reducen los niveles de acidez del medio, creando un “halo” que mejora la calidad del agua, protegiendo a los mariscos de la acidificación (Duchene, 2018) (figura 9.1). Existen algunos productos derivados de las macroalgas, respecto a *K. alvarezii*, la carragenina es el principal producto valorado en el mercado de esta especie, aunque también se usa como fertilizante.

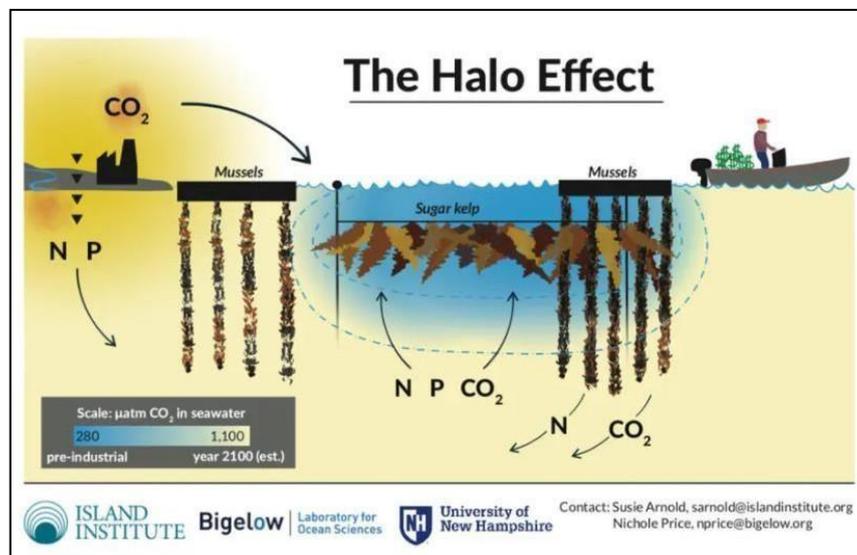


Figura 9.1 Las macroalgas reducen la acidificación. (Price, 2018)

El cultivo de ostras es una fuente de alimento alternativo y de trabajo debido a la generación de nuevos empleos producto de esta nueva industria. Además, disminuye la presión sobre la captura de especies salvajes.

AMTI genera mayor aceptabilidad social debido a que actualmente existe una mayor predisposición al consumo responsable, la acuicultura al ser diversificada es más rentable y viable económicamente. Se aprovecha el espacio, se optimiza el recurso y es un medio para disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente al lograr tasas más altas de crecimiento mientras las ostras purifican las aguas y las algas intervienen en el reciclaje de nutrientes.

Los impactos ambientales que pueden resultar de esta actividad dependen en gran parte de la especie, el método de cultivo, tipo de alimentación, densidad del stock y las condiciones oceanográficas. Estos impactos pueden producirse tanto en la columna de agua como en el fondo, y pueden tener efectos físicos, químicos y biológicos (Rabassó, 2006). Dos de los mayores problemas de la industria camaronera a nivel mundial son el bajo aprovechamiento de los nutrientes, ya que el 30% del nitrógeno suministrado como alimento o fertilizante es utilizado por los organismos mientras que el 70% sobrante es desechado en forma disuelta o particulada (Casilla et al., 2006) y, además, los desequilibrios ambientales que pueden ser producidos por los efluentes de las granjas de camarón (Páez, 2001). No obstante, las macroalgas pueden eliminar del medio el 90% del nitrógeno y el 60% del fósforo inorgánico mientras que los moluscos filtradores tienen la capacidad de tomar la materia orgánica particulada (González, Rey et al., 2015).

Pese a todos los beneficios no se debe dejar de lado que toda actividad productiva en el medio natural tendrá impactos (Rabassó, 2006).

Respecto al cultivo de moluscos:

Impactos potenciales

- Escape de especies exóticas
- Alteración de las corrientes
- Contaminación por pinturas antifouling.

Impactos reales

- Mayor cantidad de detritos debido a pseudoheces y heces que pueden modificar el bentos, la columna de agua, la turbidez y la productividad primaria.
- Sistemas de cultivo atraen a otras especies (peces, crustáceos, algas)

Respecto al cultivo de macroalgas:

Impactos potenciales

- Fuga de especies exóticas
- Puede haber cambios en la dinámica de las corrientes
- Interponerse en los patrones de distribución del zooplancton
- Generación del “efecto sombra”.

Impactos reales

- Se incrementa la competencia por el hábitat y el alimento
- Efecto atractivo sobre las especies salvajes.

10. APÉNDICE F

10.1 Procedimiento de análisis de laboratorio

10.1.1 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Como primer paso se realizó el filtrado de 1000 ml de agua a través del filtro . . . utilizado para calcular la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST). Aproximadamente 100 ml del volumen filtrado se preservaron en congelador para los análisis de nutrientes. Posterior al filtrado se colocó cada filtro en las bandejas designadas para el secado de 24 horas en el horno; al concluir este periodo el filtro se volvió a pesar, finalmente ambos pesos calculados y el volumen filtrado se usan para obtener los miligramos de SST por litro de la siguiente fórmula:

$$mg \text{ de sólidos suspendidos totales/l} = (A - B) \times \frac{1000}{\text{Volumen de muestra en ml}}$$

A = peso del filtro + residuo seco en mg

B = peso del filtro en mg

10.1.2 Clorofila

Se filtraron 1000 ml de agua a través del filtro... utilizado para calcular la concentración de clorofila. Tras concluir el filtrado se preservó el filtro en un tubo de ensayo en el congelador. Se colocó 20 ml de solución acetona en los tubos y posteriormente se calentaron a 65 °C en baño maría por dos minutos. Se colocó 3 ml de muestra en la cubeta de cuarzo para la primera lectura de absorbancia en el espectrofotómetro, que está calibrado a 665 nm, luego se colocaron 0.1 ml de ácido clorhídrico dando como resultado la segunda absorbancia. A partir de estos datos se aplica la siguiente formula:

$$\text{Clorofila } \left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{26.7 * (\text{abs. } a - \text{abs. } b) * V1}{m \quad V2 * L}$$

Donde:

V1 = Volumen del extracto (l)

V2 = Volumen de la muestra filtrada (m³)

L = longitud del camino de luz, 1 cm

abs. a, abs. b = absorbancia del extracto antes y después de la acidificación

26.7 es la corrección de la absorbancia

10.1.3 Fitoplancton

En el laboratorio de fitoplancton se colocaron 6 ml de cada muestra en tubos de ensayo para el análisis cualitativo con ayuda de un microscopio y el análisis cuantitativo mediante la cámara de Neubauer en donde se colocó 1 ml de muestra con Lugol.

10.1.4 Nitrito-N y fosfato-P

Para estos análisis se utilizaron 6 tubos de ensayo para nitrito y 6 tubos para fosfato, 2 como blancos, 2 como patrones y 2 para las muestras de superficie y subsuperficial. En los blancos se colocó 10 ml de agua destilada, en el patrón para nitrito se colocaron en dos matraces 200 μ l de solución Standard (nitrito de sodio) y para el patrón de fosfato se colocaron 250 μ l de solución Standard (fosfato de potasio), posteriormente se enrasó el matraz hasta los 100 ml y se colocaron de aquí 10 ml en ambos tubos destinados a los patrones. Para el análisis de nitrito, se colocaron 200 μ l de sulfanilamida en cada tubo y se agitó para luego colocar 200 μ l de diclorhidrato de N y agitar mientras que para el análisis del fosfato se colocó 1 ml de reactivo combinado en cada tubo, se agitó y en ambos casos se esperó 15 minutos. Para finalizar se colocaron las muestras en el espectrofotómetro, calibrado en 543 nm para el nitrito y en 885 nm para el fosfato. Se obtienen los resultados a partir de la curva de calibración generada mediante los patrones y los blancos.

10.1.5 Nitrato-N

Se colocó 50 ml de cada muestra en matraces para luego poner 1 ml de cloruro de amonio, así mismo se realizó un blanco con 100 ml de agua destilada y 2 ml de cloruro de amonio y para el patrón se colocó 125 ml de agua destilada, 500 μ l de solución Standard de nitrato se procedió a llenar con agua destilada hasta los 250 ml y finalmente se puso 3 ml de cloruro de amonio. Se limpió la columna de cadmio con el blanco recogiendo 10 ml al final de la columna en dos tubos de ensayo para dos blancos, luego se colocó el patrón una primera vez, se deja que limpie la columna, se colocó una segunda vez recogiendo al final 10 ml en un tubo de ensayo para el patrón 1, se colocó nuevamente y se deja que limpie hasta que en la cuarta ocasión se recogen 10 ml al final en un tubo de ensayo para el patrón 2. Se sigue el mismo procedimiento con las muestras al colocarlas en la columna por dos ocasiones, finalmente se puso en cada tubo de blancos, patrones y muestras 200 μ l de sulfanilamida y de diclorhidrato de N, se agitó y luego de 15 minutos se realizó la lectura en el espectrofotómetro calibrado a 543 nm. Se

obtienen los resultados a partir de la curva de calibración generada a partir de los patrones y los blancos.

11. APÉNDICE G

11.1 Mapas booleanos de los criterios de cultivo

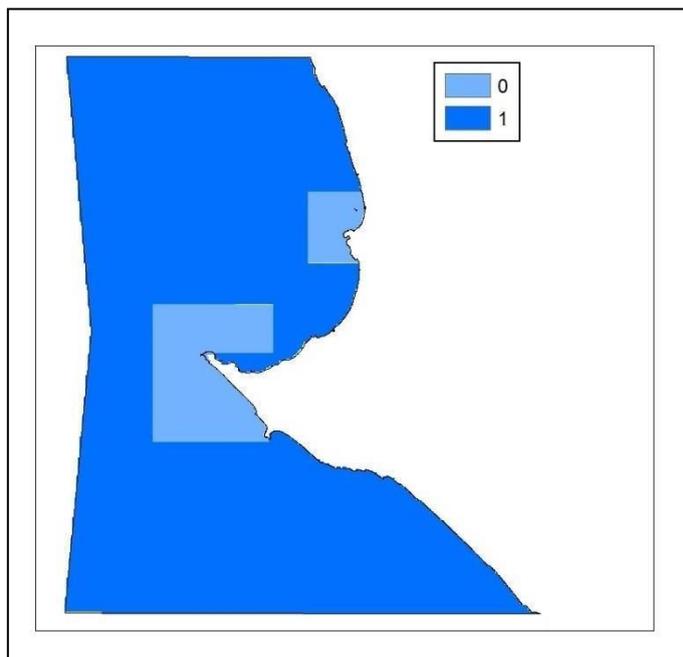


Figura 11.1 Mapa booleano de Áreas Marinas Protegidas

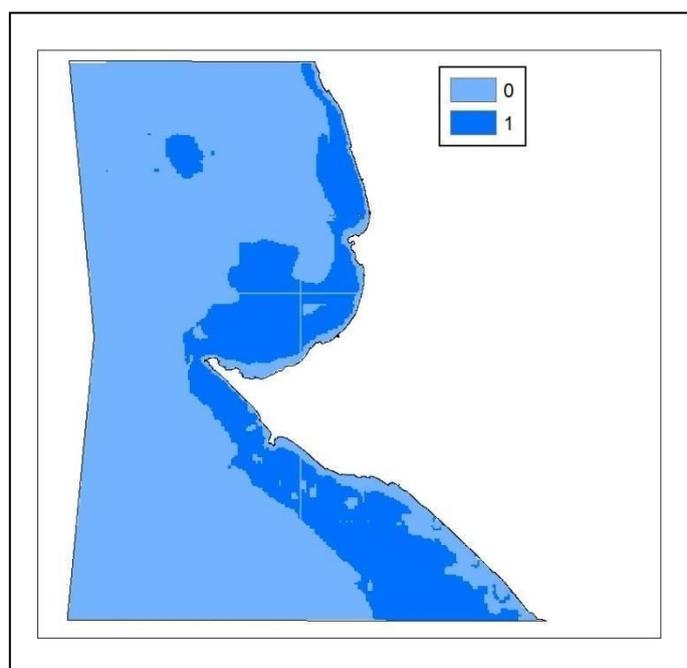


Figura 11.2 Mapa booleano de batimetría

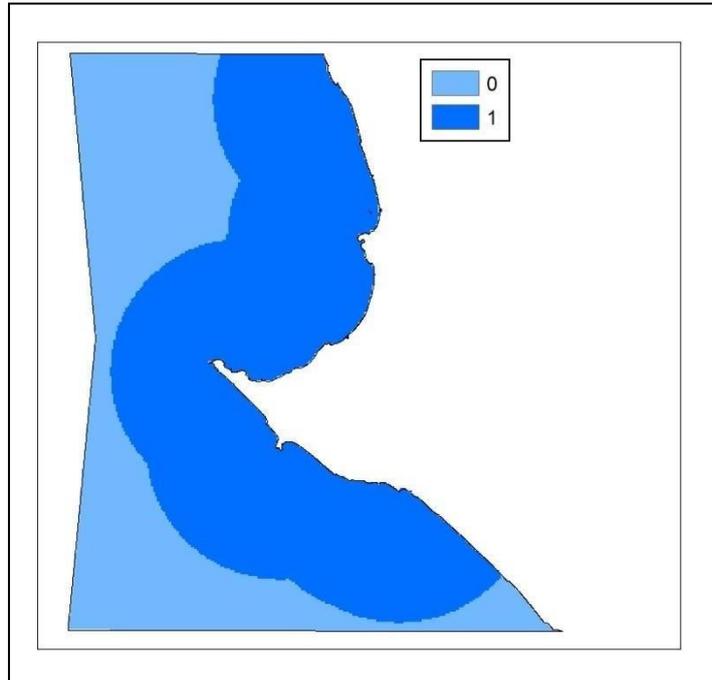


Figura 11.3 Mapa booleano de distancia a puertos/caletas

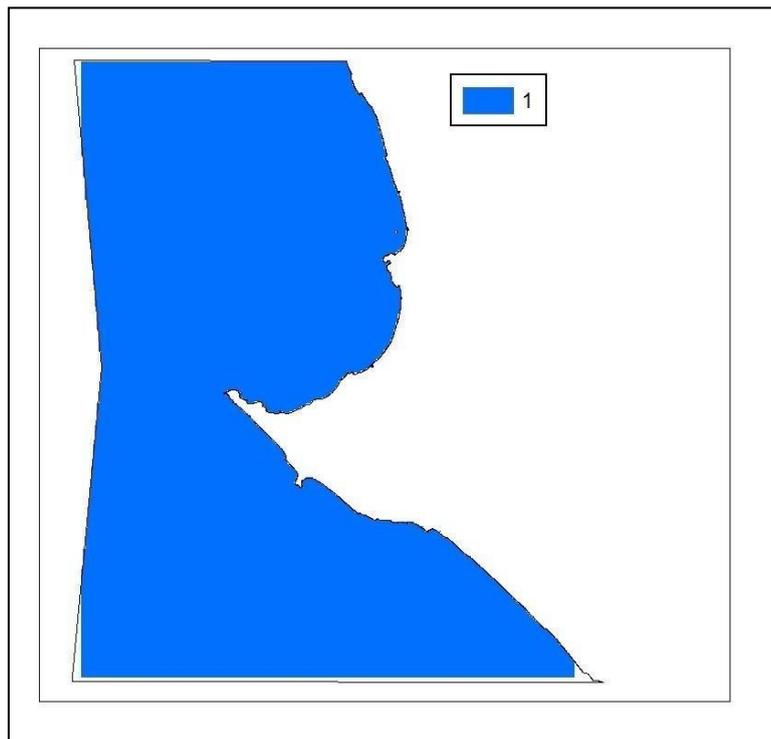


Figura 11.4 Mapa booleano de Salinidad promedio anual

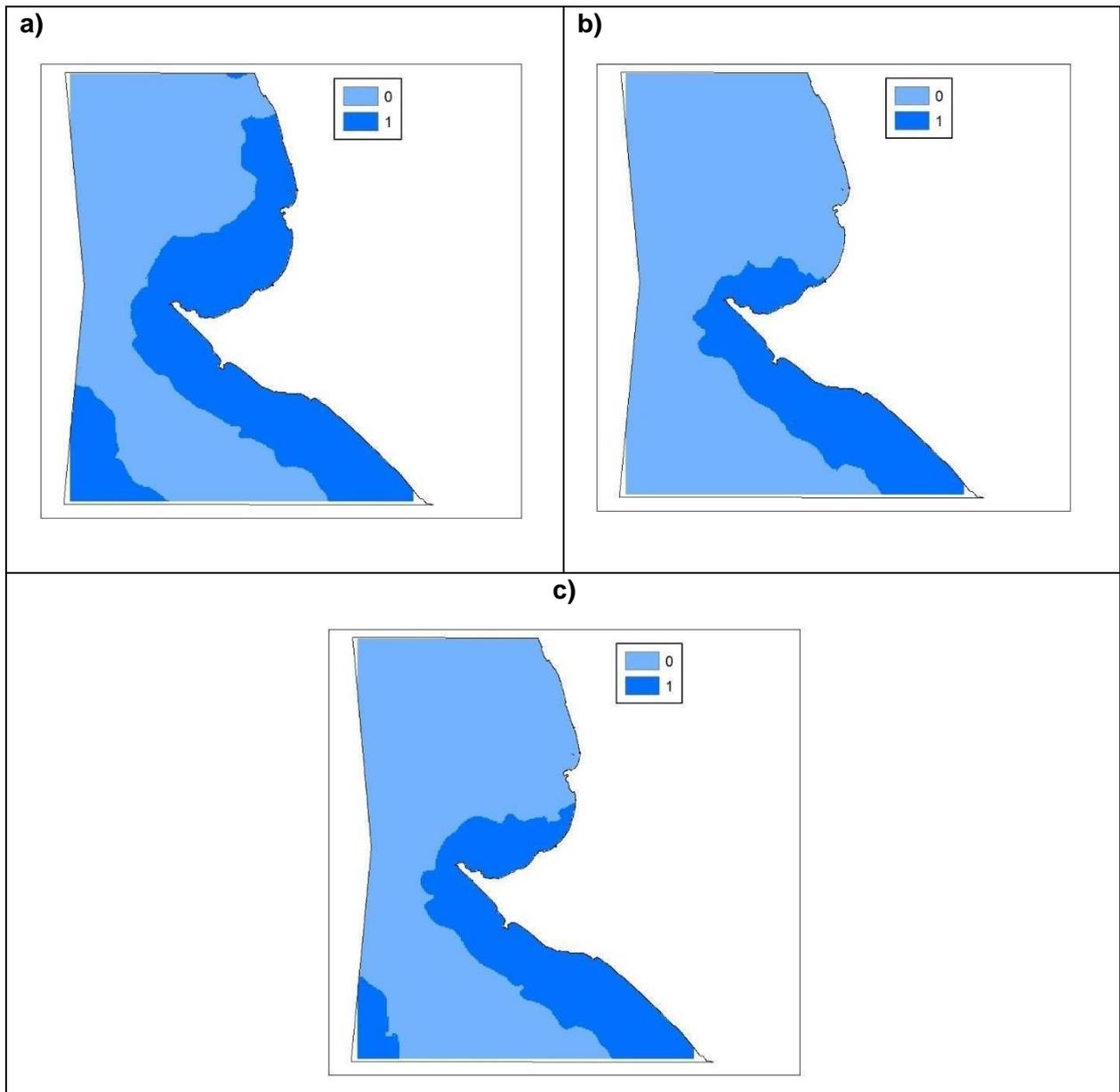


Figura 11.5 Mapa booleano de clorofila-a para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual

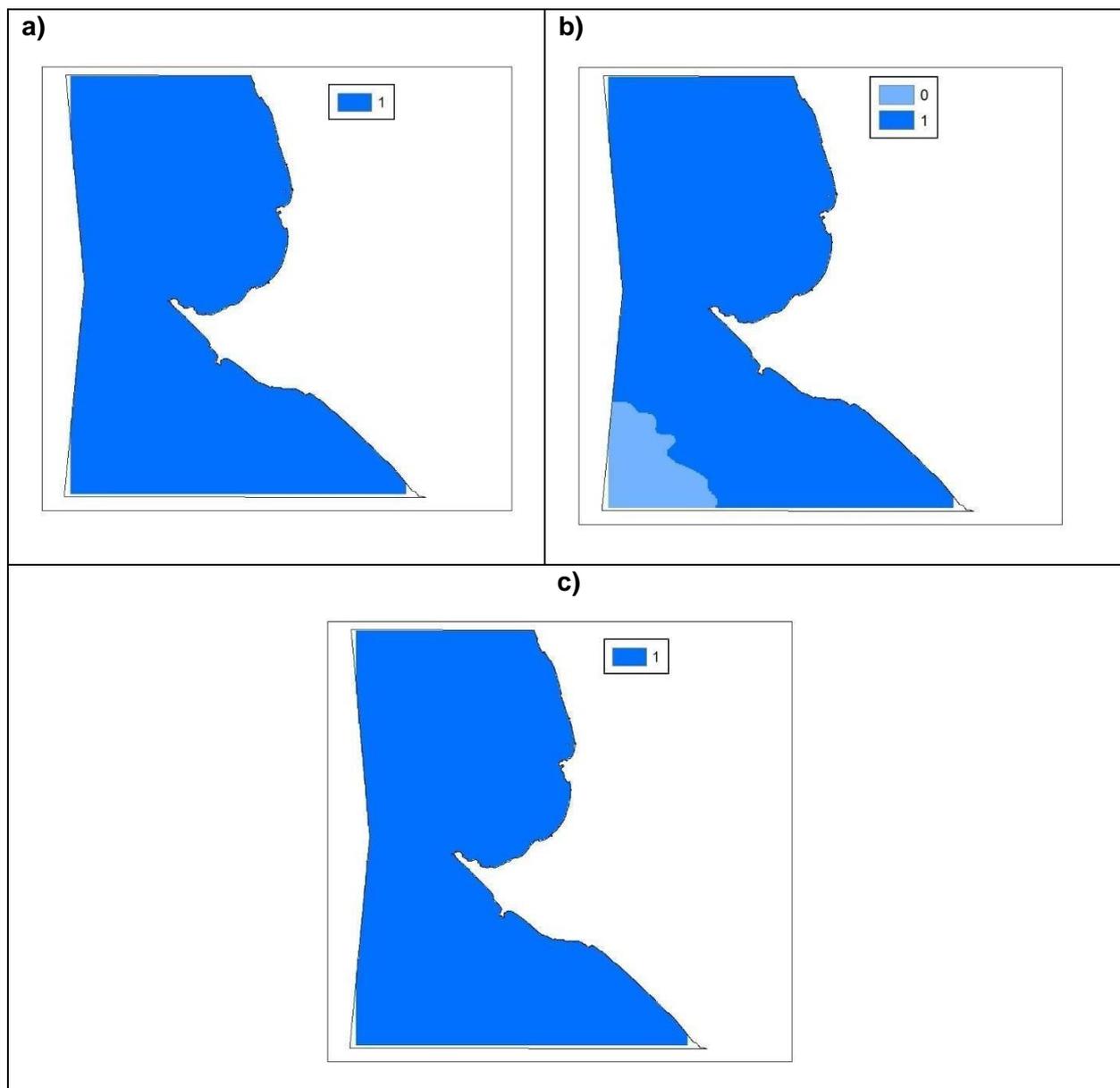


Figura 11.6 Mapa booleano de TSM para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual

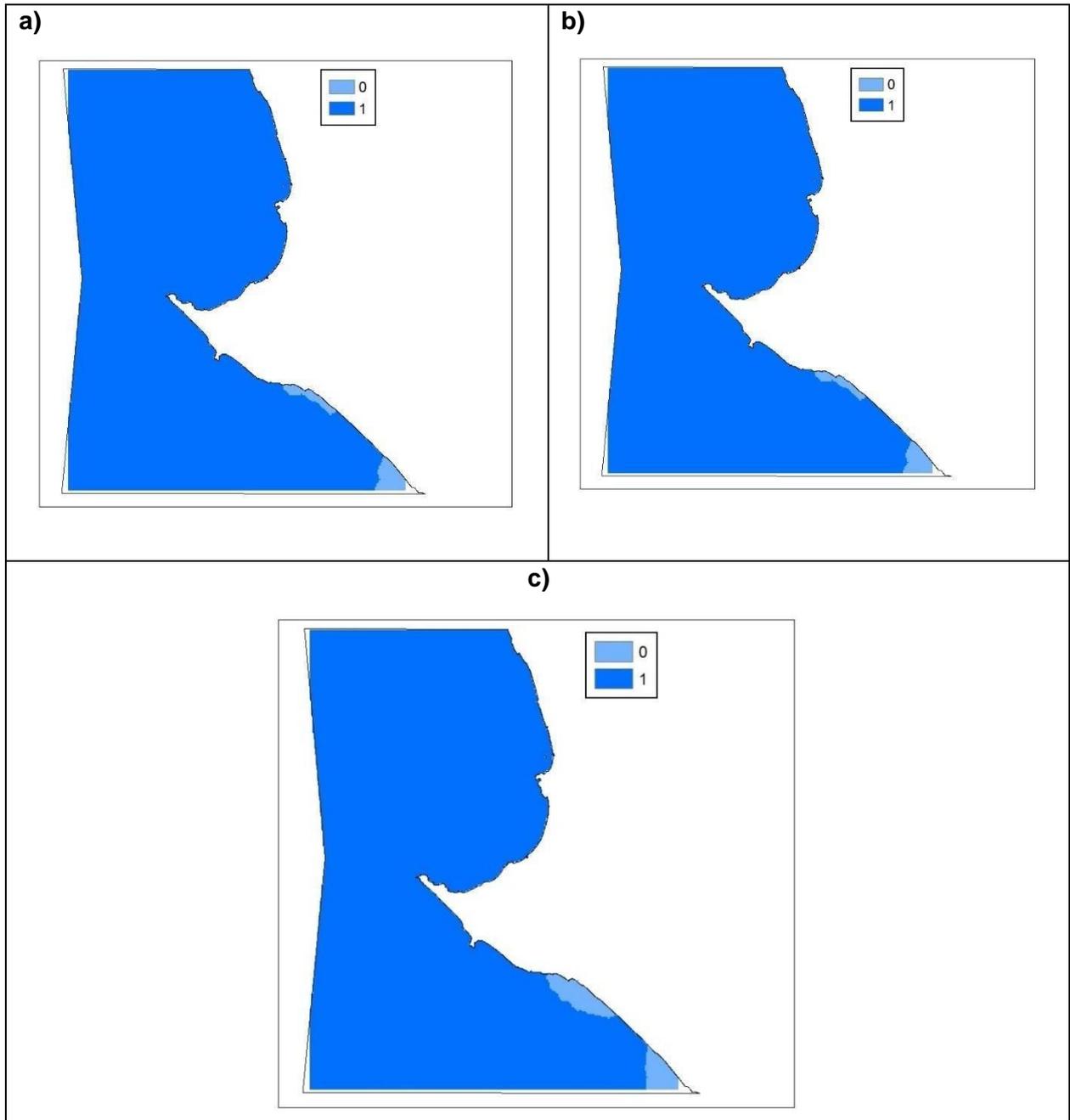


Figura 11.7 Mapa booleano de KD490 para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual

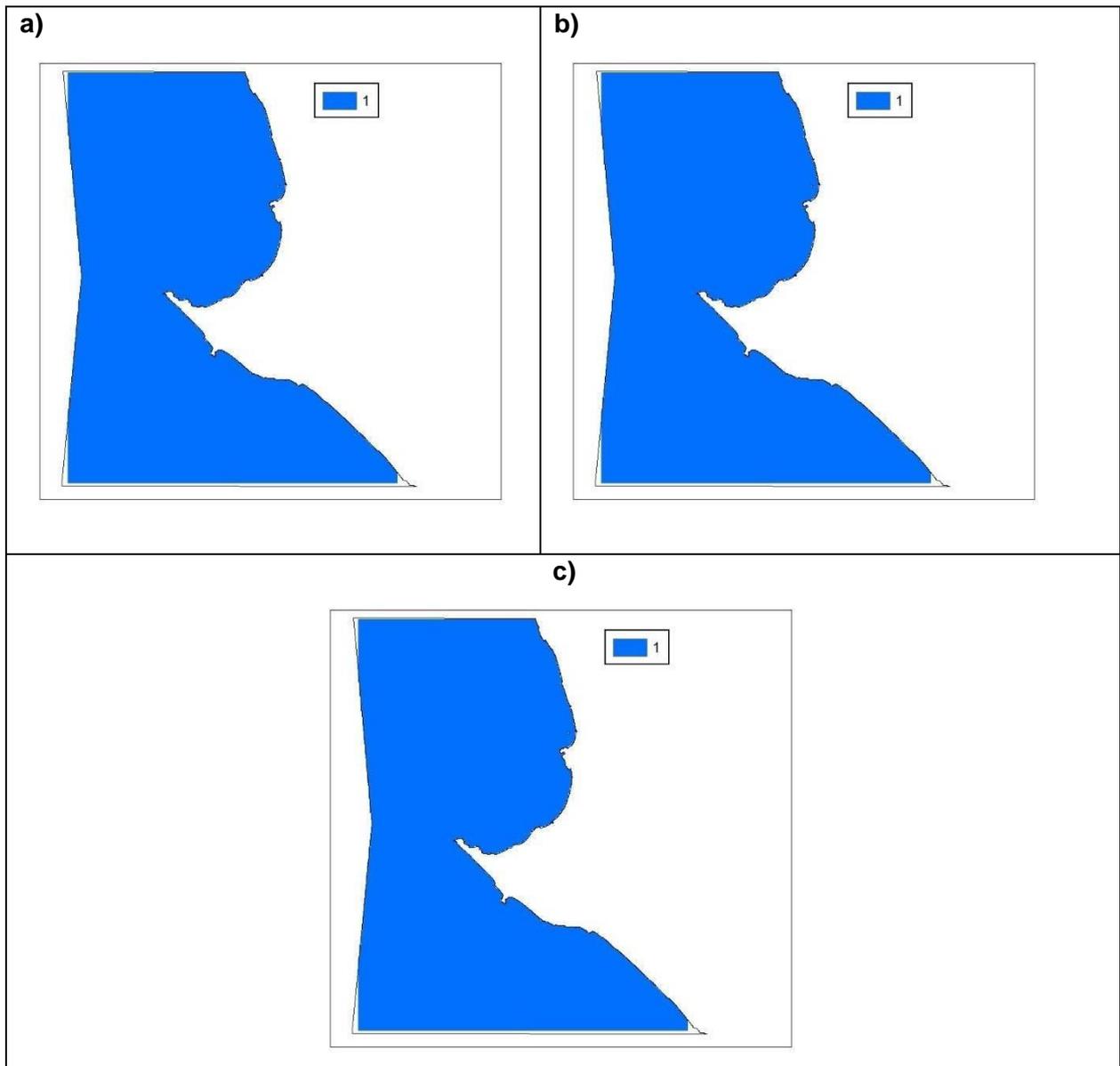


Figura 11.8 Mapa booleano de PAR para (a) época húmeda, (b) época seca y (c) anual

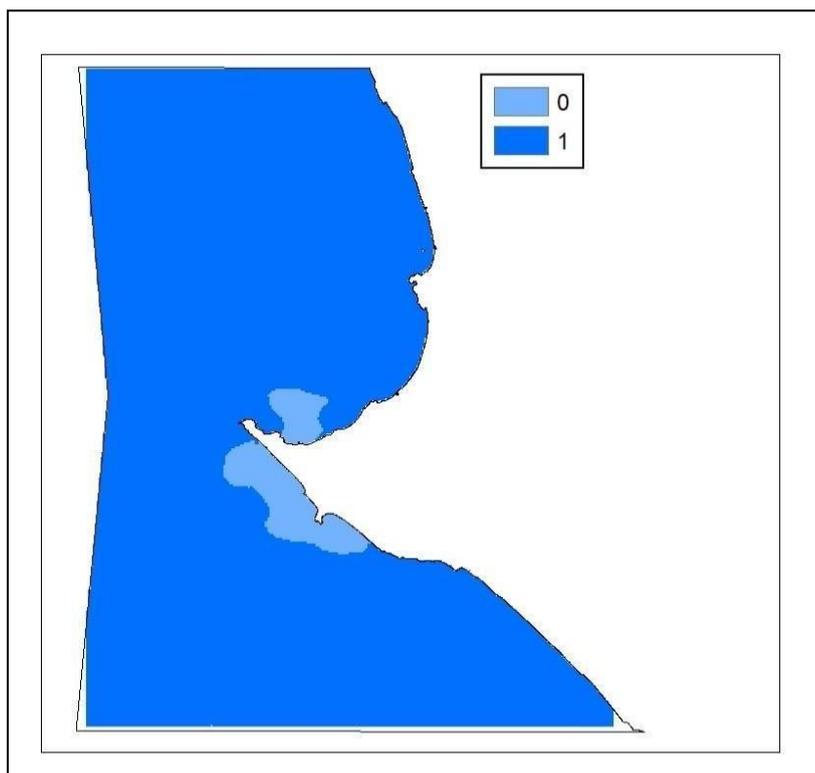


Figura 11.9 Mapa booleano de corrientes promedio

