

Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

SEDE  
ESMERALDAS

# **CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL**

TESIS DE GRADO

**Teledetección aplicada al análisis de sitios  
óptimos para la maricultura de ostión  
(*Crassostrea gigas*) en Esmeraldas-Ecuador.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE LICENCIADO  
EN GESTIÓN AMBIENTAL

**AUTOR**

PINEDA CAICEDO ANDRÉS LENIN

**ASESOR**

MSC. JAIME SAYAGO HEREDIA.

Esmeraldas, Agosto 2021

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

Trabajo de tesis luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-Esmeraldas, previo a la obtención del título de Licenciado de Gestión Ambiental.

Presidente de tribunal de graduación

Lector 1

Ing. Mérida Ortiz

Lector 2

Ph.D. Jon Molinero

Coordinador de la Carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Karla Solís Charcopa

Director de tesis

Mgt. Jaime Sayago

Esmeraldas, 31 de Agosto del 2021

## **Autoría**

Yo, ANDRÉS LENIN PINEDA CAICEDO, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE

---

Andrés Lenin Pineda Caicedo

C.I. 0803212521

## **Dedicatoria**

Esta presentación rinde honores a Dios Jesucristo, Todo poderoso; además tiene una especial dedicatoria para mis abuelitas y memoria de la mami de mi teacher María Fernanda, de Eduardo Arroyo, mi primo Kevin Huiracocha y las personas que ahora se encuentran en alabanza perpetua hacia nuestro Señor.

## ÍNDICE

Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Justificación.....	4
Objetivos.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
Bases Teóricas y Científicas.....	6
Antecedentes.....	9
Marco Legal.....	13
<b>CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
Área de estudio.....	15
Metodología.....	15
Metodología para la obtención de zonas óptimas según aspectos socio económicos en la provincia de Esmeraldas.....	16
Descripción del proceso de descarga de datos de batimetría.....	18
Descripción del proceso de recolección de datos ambientales.....	19
Procesamiento de datos satelitales.....	21
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
Identificación de zonas óptimas para cultivo de <i>Crassostrea gigas</i> según la interacción entre variables ambientales.....	34
Relación entre interacciones ambientales e interacciones socioeconómicas en zonas óptimas.....	35
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## ILUSTRACIONES Y TABLAS

### Índice de ilustraciones

Ilustración 1.....	15
Ilustración 3.....	18
Ilustración 4.....	19
Ilustración 5.....	20
Ilustración 6.....	22
Ilustración 7.....	25
Ilustración 8.....	25
Ilustración 9.....	26
Ilustración 10.....	27
Ilustración 11.....	27
Ilustración 12.....	28
Ilustración 13.....	29
Ilustración 14.....	30
Ilustración 15.....	31
Ilustración 16.....	32
Ilustración 17.....	33
Ilustración 18.....	34
Ilustración 19.....	35
Ilustración 20.....	36

### Lista de tablas

Tabla 1.....	17
Tabla 2.....	21
Tabla 3.....	23
Tabla 4.....	23
Tabla 5.....	37

## **Resumen.**

Esta investigación se centró en la obtención de sitios óptimos para el cultivo de ostiones a lo largo de la costa del océano Pacífico en la provincia de Esmeraldas (Ecuador). Para determinar la idoneidad de las zonas se realizó una evaluación multicriterio, el análisis de datos satelitales oceanográficos gracias al uso de los sistemas de información geográfico permitió relacionar las interacciones ambientales en el área de estudio y las interacciones socioeconómicas obteniendo mapas de zonas óptimas para el cultivo de *Crassostrea gigas*. Los resultados evidenciaron que cerca del 44% del área de estudio comprendida en 47.897 hectáreas dentro del área entre 0.15 y 1.15 millas náuticas se presentan como óptimas para el desarrollo de cultivos de ostiones en las costas de Esmeraldas. Los resultados de esta investigación se discutieron relacionando anteriores experiencias del uso de evaluaciones multicriterio para la selección de sitios óptimos para el cultivo de moluscos, siendo de gran importancia el uso de los SIG para el desarrollo sostenible de la acuicultura en ambientes marinos ya que permiten identificar posibles impactos ambientales y planificar el uso del espacio marino para evitar conflicto entre actores. Estos resultados pueden proporcionar una línea base de investigaciones que incluyan a los sistemas de información geográfica como herramienta clave para lograr el ordenamiento del uso del espacio en las zonas marino-costeras de la provincia de Esmeraldas promoviendo proyectos de acuicultura de moluscos para diversificar la economía de las comunidades costeras.

## **Abstract**

This research focused on obtaining optimal sites for the farming of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) along the coast of the Pacific Ocean in the province of Esmeraldas (Ecuador). To determine the suitability zones, a multicriteria evaluation was conducted, the analysis of oceanographic satellite data was carried out using geographic information systems software (ArcMap), all the environmental interactions in the study area and the socioeconomic interactions were related, obtaining maps of optimal zones for *Crassostrea gigas* farming.

The results showed that about 44% of the study area comprised in 47,897 hectares within the area between 0.15 and 1.15 nautical miles are presented as optimal for the development of oyster farms on the coasts of Esmeraldas.

Also, the results of this research were discussed relating previous experiences of the use of multicriteria evaluations for the selection of optimal sites for the ecosystems approach of aquaculture, in addition to that, the importance of the use of geographic information systems for the sustainable development of aquaculture in marine environments was evidenced, the possibility of identifying possible environmental impacts and planning the use of marine space to avoid conflicts between stakeholders.

Finally, these results can provide a scientific information to promote the use of geographic information systems as a key tool to achieve the ordering of the use of space in the marine-coastal areas of the province of Esmeraldas, promoting shellfish aquaculture projects to diversify the economy of coastal communities.

## **Introducción.**

El aumento de la población mundial ha generado una situación de sobre explotación de recursos naturales, la pesca se ha posicionado como el principal medio para lograr cubrir la demanda de alimentos sanos por las poblaciones. La acuicultura se ha presentado, en los últimos años, como la solución para disminuir las afectaciones sobre las poblaciones naturales de peces, crustáceos y moluscos; sin embargo, debido las alteraciones en los patrones climáticos por consecuencia del aceleramiento del cambio y a los manejos deficientes de zonas marinos costeras donde interactúan la pesca y la acuicultura los medios naturales se han visto afectados.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el informe anual sobre el estado de la pesca y acuicultura a nivel mundial (1) detalla que las capturas de recursos marinos registradas en las pesquerías a nivel mundial han disminuido con relación a los años anteriores, esta situación es resultado del avance de la acuicultura como la industria de mayor eficiencia para la producción de proteínas de alta calidad nutricional.

El progreso de la acuicultura probablemente se deba a aporte de investigaciones científicas relacionadas con el manejo de organismos acuáticos y fundamentalmente a los estudios de las ciencias ambientales para disminuir los impactos negativos sobre los ecosistemas que genera esta industria.

Es una tendencia en los últimos años el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) para el análisis de condiciones físicas, químicas y biológicas en cuerpos de agua promoviendo la organización de zonas de alta importancia para la explotación pesquera y acuícola (2); el destacado valor de los SIG para el desarrollo de la acuicultura se debe a la gran versatilidad que ofrecen los softwares de análisis para proyectar los datos de manera simplificada para que pueda ser entendida y aprovechada por los acuicultores con el objetivo de lograr proyectos sostenibles que favorezcan a los objetivos de los países enfocados en cumplir con los objetivos de la Agenda 2030 cubriendo la demanda de alimentos de sanos para la población (3).

Recientemente en Ecuador existe el interés por promover el desarrollo de la maricultura de ostión (*Crassostrea gigas*) a gran escala, en el año 2015 el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca junto con la asociación de pescadores artesanales de El Palmar, Santa Elena, realizaron un plan piloto con *C. gigas* con el fin de diversificar los ingresos de los pescadores (4); la entidad estatal implementó a los SIG para generar estrategias de sostenibilidad reconociendo la importancia de analizar parámetros físicos, químicos y biológicos del mar para mantener los equilibrios en las relaciones ecológicas en los ecosistemas marinos (5).

Además, el MAGAP reconoce que el mapeo de las zonas marinas permitirá asegurar que la industria se desarrolle de forma ordenada por lo que se generó el Acuerdo Ministerial 023, del 6 de febrero del 2015 (6) donde se estipulan los requerimientos y se analizan los niveles de carga ecológica y ambientales para la entrega de concesiones de áreas para la acuicultura.

Guneroglu et al. (7), Radiarta et al. (8) y Oyindola et al. (9) manifiestan que el rendimiento de producción de *C. gigas* se incrementa si previo a la siembra de individuos se realizan evaluaciones científicas de las condiciones ambientales y meteorológicas de las zonas seleccionadas; de la misma manera Kapetsky et al. (10) mencionan que es necesario analizar los patrones ambientales del agua por periodos superiores a 2 años para permitir la toma de decisiones correctas para que la maricultura de moluscos se posicione como una industria rentable en países en vía de desarrollo.

Jha et al. (11) consideran necesario implementar nuevas tecnologías que permitan el monitoreo de condiciones ambientales en tiempo real, proponiendo el uso de los sistemas de información geográfica para cumplir con la tarea de estimar las zonas potenciales para el desarrollo de proyectos sostenibles de maricultura.

En la investigación desarrollada por Montufar et al. (12) se menciona que debido al amplio rango de adaptabilidad a las condiciones ambientales marinas y el atractivo precio final de *C. gigas* en mercados nacionales e internacionales se presenta como una oportunidad viable para el desarrollo socioeconómico de poblaciones costeras; con esto se podría disminuir los impactos negativos sobre

las poblaciones de ostiones nativos en Esmeraldas que sufren una gran presión extractiva (13).

Por estos motivos este estudio aborda principalmente la identificación de áreas potenciales para la maricultura de *C. gigas* en las zonas costeras de la provincia de Esmeraldas, para ello se vale de los SIG para el análisis de los parámetros de calidad ambiental marina y de condiciones socioeconómicas presentando mapas temáticos para la zonificación del espacio marino-costero de la provincia de Esmeraldas y generando una línea base de estudios de interés para el desarrollo de la acuicultura marina en Ecuador.

### **Planteamiento del problema.**

Para el desarrollo correcto de *C. gigas* es preciso seleccionar áreas de cultivo que presenten condiciones ambientales favorables, por esta razón los sistemas de información geográfica (SIG) presentan herramientas valiosas para identificar y gestionar las zonas aptas para la maricultura en la costa de Esmeraldas; el uso de satélites de monitoreos ambientales nos permitirá identificar las zonas viables para el cultivo de ostión, recurso que podría ser fundamental para cubrir la necesidad de nuevas alternativas productivas de bajo impacto y así disminuir la presión sobre otras especies de bivalvos cuyas poblaciones se ven afectadas por la intensidad de recolecciones y por las variaciones en las condiciones naturales de los ecosistemas marinos-costeros por efecto de la contaminación antrópica (14).

Por esto se presenta al cultivo de ostiones como una alternativa viable para el desarrollo socio económico en la provincia de Esmeraldas donde existen serios problemas para diversificar la economía, que actualmente está relacionada principalmente con procesos de actividades extractivas negativas para los ecosistemas.

La hipótesis de esta investigación se centra en que si los sistemas satelitales de monitoreo ambiental marino pueden ser una herramienta precisa para la identificación de sitios óptimos para la maricultura de ostión (*Crassostrea gigas*) en Esmeraldas-Ecuador.

## **Justificación.**

A nivel mundial, la selección de áreas óptimas para el desarrollo de proyectos de maricultura tienen un rol principal para respaldar la sustentabilidad de esta industria, de este modo, los SIG se han convertido en una pieza clave para el ordenamiento de zonas marinas-costeras, ya que facilitan el procesamiento de datos relacionados con las condiciones socio-económicas y ambientales permitiendo identificar eficazmente las capacidades de carga de ecosistemas y la competencia en el uso de espacios marinos entre los diferentes actores relacionados con la pesca, industria petrolera, transporte marítimo, turismo y zonas de migración de especies. (15)

Hermawan (16), Kapetsky et al. (17), mencionan que gracias a la teledetección, en la actualidad, es posible desarrollar metodologías que interrelacionen criterios espaciales fundamentales para la selección de áreas óptimas para el desarrollo de cultivos acuáticos en ambientes marinos ya que consideran variables bióticas y abióticas que permiten tener una comprensión amplia para la toma de decisiones con relación a la sustentabilidad de la acuicultura en el mar.

Por esta razón, la misión de constelaciones de satélites de nombre Copernicus (18), desarrollada por la Unión Europea, se presenta como una fuente de datos satelitales de suma importancia para el desarrollo de la pesca y maricultura, el grupo de satélites que año a año se suman a este proyecto tecnológico permiten acceder gratuitamente a bases de datos que incluyen diferentes los parámetros ambientales; esto permitió que en esta investigación se analicen parámetros de batimetría del fondo marino, concentración de clorofila A, dióxido de carbono, nitratos, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura potencial del océano.

En Ecuador el uso de la teledetección para la gestión de zonas de maricultura se ha generado principalmente por el Instituto Nacional de Pesca en coordinación con el MAGAP, uno de los proyectos que se podrían destacar por su nivel de inclusión con las pesquerías artesanales fue el cultivo de camarón en jaulas en mar abierto desarrollado en Manabí (19) y el proyecto de cultivo de *Crassostrea gigas* en sistemas longline para generar alternativas económicas en las asociaciones pesqueras de las provincias de Santa Elena (20); sin embargo, en Esmeraldas no se ha desarrollado una investigación que considere

el uso de la teledetección para el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del ecosistema marino para determinar las zonas óptimas para este tipo de cultivo.

De Souza et al. (21) y Porporato et al. (22) indican que, “los sensores remotos cuentan con la más alta tecnología por lo que el monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos de los océanos se convierte en la única estrategia realista para la planificación de proyectos de maricultura, entendiendo el nivel de degradación que los ecosistemas marinos pueden sufrir, y los conflictos que se pueden originar con actividades relacionadas al mar como la pesca artesanal y el turismo.

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Esmeraldas sirve como diagnóstico para identificar que existe un nivel de pobreza crítico en las poblaciones asentadas en la costa de la provincia. Los indicadores son claros al mostrar la insatisfacción de necesidades básicas como salud, educación, conectividad y alimentos en los habitantes; Muisne, Eloy Alfaro y Rioverde, con porcentajes de pobreza extrema de la población del 60%, 61,7% y 62,1% respectivamente, son los tres cantones que necesitan alternativas para diversificar y fomentar el desarrollo económico logrando de esta forma cubrir la demanda de alimentos sanos cumpliendo con los objetivos de la soberanía alimenticia (23).

Considerando lo mencionado anteriormente, este estudio se centra en la generación de una línea base de conocimiento con respecto a la designación de zonas marinas usando a la teledetección en proyectos de maricultura en Esmeraldas, con el propósito de que futuros estudios que se realicen se centren en la adaptabilidad al cambio climático de *C. gigas* y en los impactos de los cultivos sobre los ecosistemas con el objetivo de que toda la información generada permita a las autoridades/inversores la toma de decisiones con respecto a proyectos de maricultura de ostión en costas de Esmeraldas.

## **Objetivos.**

### **Objetivo General.**

- Determinar los sitios óptimos para la instalación de sistemas para el cultivo de la especie de ostión (*Crassostrea gigas*) mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos de zonas marinas en la provincia de Esmeraldas.

### **Objetivos Específicos.**

- Analizar los datos satelitales obtenidos del sistema de monitoreo ambiental Copernicus para el desarrollo de mapas temáticos indicativos de las condiciones ambientales de las zonas aptas para maricultura de ostión.
- Adaptar la metodología para selección de sitios óptimos para la maricultura de *C. gigas* proporcionada por la Organización Mundial para la alimentación (FAO) usando los sistemas de información geográfica para correlacionar las condiciones ambientales marinas en el perfil costero de Esmeraldas.
- Elaborar mapas de zonas óptimas para el desarrollo de la maricultura de ostras *C. gigas* en Esmeraldas en presentación digital.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

### **Bases Teóricas y Científicas.**

La teledetección es la ciencia que estudia fenómenos observables en varios espectros visuales en la superficie del planeta Tierra, incluyendo al océano. La principal ventaja es que permite supervisar y relacionar una gran cantidad de datos sobre un objeto o fenómeno, de esta forma se pueden generar reportes en forma de mapas temáticos para que el usuario final pueda interpretar los datos de forma sencilla y correcta (24).

La eficiencia de la información obtenida se debe principalmente al tipo de fuente donde se obtengan los datos, es en este punto donde la constelación de satélites ambientales Copernicus se destaca ya que permiten obtener información actualizada según el tipo de sensores remotos que tengan instalados, estos instrumentos permiten captar información referente a las condiciones

meteorológicas, físicas, químicas y biológicas en determinada escala temporal y espacial (25).

El procesamiento de los datos satelitales proporcionados por los sensores remotos instalados en los satélites requieren de cálculos logarítmicos complejos para facilitar la interpretación de reportes generados, esto sería una tarea compleja si se intentara realizar estudios in-situ, además de que los SIG permiten presentar la información en forma de mapas que facilitan los procesos toma de decisiones (26).

Para el análisis de las condiciones de las zonas marinos costeras en Esmeraldas, los SIG integran el proceso de Superposición Ponderada que permite realizar evaluaciones multicriterio correlacionando variables de relevancia para el estudio (27).

La Unión Europea (28) tiene como compromiso el fomentar una estabilidad política regional y mundial que reconozca a sociedades justas y resilientes, por eso el uso sostenible de zonas marino-costeras y el desarrollo sustentable de la pesca y acuicultura fueron las motivaciones para el desarrollo de la Misión Copernicus, programa espacial que consiste en una serie de satélites cuyo fin es el monitoreo ambiental y observación de la Tierra.

El elemento In situ está formado por estaciones meteorológicas, boyas oceánicas, redes de monitoreo del aire, con el objetivo de reintegrar la información obtenida por los satélites calibrándolos y validando los datos. Y finalmente el elemento temático que comprende la misión Copernicus se dirige en seis direcciones principales: el monitoreo del suelo, gestión de emergencias, monitoreo marino, monitoreo de la atmósfera, seguridad y cambio climático (29).

Según Moreira et al. (30), el periodo de generación de nueva información permite estudiar fenómenos dinámicos como, las floraciones tóxicas de algas, evento asociado con la mortandad de poblaciones de ostiones en el Golfo de México; de acuerdo a esto según Landuci et al. (31), el libre acceso a información de los rasgos biológicos en las zonas aptas para maricultura permitirá la toma de decisiones adecuadas con respecto a las pesquerías y acuicultura con el fin de adaptarse al cambio climático y a toda clase de eventos adversos para la industria.

El carácter multispectral y digital de la información obtenida por los sensores remotos permite realizar estudios espectrales para obtener medidas precisas de clorofila A que es el pigmento asociado con procesos de fotosíntesis en cianobacterias y microalgas, organismos que sirven de alimento para los ostiones (32).

El estudio de la batimetría permite identificar las características del relieve del fondo marino, fundamental para elegir el mejor sistema de fondeo para la estructura donde se criarán los ostiones (33).

Es fundamental identificar las concentraciones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), Hukihara et al. (34) indican que altas concentraciones de este gas en el agua está directamente relacionados con un fenómeno acidificación de los océanos lo que provoca estrés fisiológico sobre especies marinas calcificantes, esto afecta a procesos como la mineralización de la concha en moluscos.

El oxígeno disuelto ( $O_2$ ) y la temperatura ( $^{\circ}C$ ) presentan una relación directa, como mencionan Mollac et al. (35) y Silva (36), el incremento de las temperaturas del océano como resultado del cambio climático acelerado está relacionado con eventos de mortandad en moluscos, otro efecto ocasionado sobre el ambiente marino es la disminución de la concentraciones medias de oxígeno desencadenándose episodios de mortandad en poblaciones nativas de moluscos.

Con respecto a la concentración de nitratos ( $NO_3$ ), Le Roux et al. (37) mencionan que tiene una influencia directa sobre la supervivencia de *C. gigas* ya que en caso de presentarse altas concentraciones de este compuesto, el sistema inmunológico puede verse alterado dejando vulnerable a la ostra al ataque de los virus de la familia *Vibriidae*, generando altas tasas de mortalidad superiores al 90% de la población.

Para lograr analizar correctamente la información obtenida acerca de las condiciones oceanográficas debemos valernos de un conjunto de herramientas que nos permitan organizar, almacenar, manipular y modelizar la gran cantidad de datos procedentes del mundo real, de esta manera lograremos obtener un diagnóstico integral de la zona determinada, esto se logra con los sistemas de información geográfica (38).

Con respecto a la especie seleccionada para el proyecto, *C. gigas* es un molusco que puede encontrarse en ambientes estuarinos, pero pueden desarrollarse correctamente en zonas intermareales y submareales (39); usa la filtración de material particulado presente en la columna de agua para obtener nutrientes y es tolerante a un amplio rango de temperaturas de -1.8 a 35 °C (40); la salinidad óptima se encuentra entre 20 y 40ppt (41); además se destaca su facilidad de reproducción en cautiverio, la gran fecundidad de esta especie permite tener un ciclo continuo de producción de semillas para su posterior proceso de desarrollo en el mar (42).

### **Antecedentes.**

En las últimas décadas la acuicultura ha evolucionado para adaptarse a las exigencias de los mercados que buscan promover el consumo de productos sostenibles que tengan bajos impactos ambientales sobre los ecosistemas marinos costeros; por este motivo la gestión de los espacios para la acuicultura requiere de herramientas sofisticadas para realizar evaluaciones que permitan tener una perspectiva real sobre los posibles impactos que generaría la acuicultura.

Entre los antecedentes de metodologías que integran los SIG con la planeación espacial marina con el objetivo de desarrollar proyectos de maricultura se encuentra el trabajo realizado por Doty en 1988 (43). En este estudio el autor menciona que la sostenibilidad de proyectos de maricultura depende de que no influya en las actividades productivas realizadas por poblaciones asociadas a las franjas costeras; por lo que es necesario considerar la situación socioeconómica de las poblaciones donde se pretende implementar proyectos de acuicultura y evaluar los posibles conflictos entre los actores interesados en el uso del espacio marino. Como conclusión se determinó que es fundamental socializar correctamente los proyectos de maricultura en zonas donde existan actividades conflictivas en el uso del espacio marino, considerar las opiniones de todos los actores involucrados permitirá tener un acercamiento beneficioso de la acuicultura en dichas zonas propiciando el desarrollo socio económico de los pobladores de las comunidades donde se planteen ubicar los proyectos.

Durante la década de los años 90's, Kapetsky (44) presentó el libro titulado "A global assessment of offshore mariculture potential from a spatial perspective" donde propuso el uso de los sistemas de información geográfica para el desarrollo de la acuicultura, presentando las ventajas del uso de sistemas computarizados para realizar complejos análisis de usos de área marina mediante la integración de capas temáticas que contenían datos de parámetros ambientales del mar. En estos estudios se enfatizaba en la importancia de los SIG para promover el desarrollo la acuicultura en espacios con alta idoneidad según la especie por cultivar. Se concluía que para determinar la idoneidad al desarrollar proyectos de acuicultura es necesario caracterizar la disponibilidad de servicios básicos, identificar los posibles conflictos en el uso de espacio y recursos, además de las oportunidades de desarrollo alternativo para las comunidades ubicadas cerca de los proyectos.

A partir del año 2000, se destaca la implementación del enfoque ecosistémico dentro de la acuicultura, tomando fuerza las decisiones de instituciones reguladoras y de consumidores finales quienes exigen que las granjas acuícolas adapten protocolos de producción que sean amigables con el ambiente, esta situación inicia el auge de la implementación de los SIG como herramienta fundamental para el ordenamiento de zonas marino-costeras alrededor del mundo.

Durante el año 2001, Arnold et al. (45) crearon una metodología basándose en datos satelitales analizados mediante los SIG para promover la identificación de sitios apropiados para el cultivo de almejas (*Mercenaria* spp.). Los autores concluyeron que debido a la similitud en los procesos biológicos esta metodología puede adaptarse a otras especies de bivalvos.

Con respecto a las condiciones óptimas para el cultivo de *Crassostrea gigas*, en el año 2005, Soletchnik et al. (46), y, Fabioux et al. (40) examinaron como los factores ambientales generaban reacciones inmunológicas en *C. gigas*; gracias a estos análisis determinaron que es necesario considerar las variables ambientales como la temperatura, las corrientes oceánicas, condiciones de batimetría, salinidad, disponibilidad de oxígeno y nitratos antes de proceder a implementar cultivos de esta especie. Concluyendo que a pesar de que los SIG

requieren de mucho trabajo y tiempo para organizar y analizar la información, la complejidad de los datos analizados y el tiempo ahorrado, a la larga, justifican su uso en la planeación marina ya que permiten relacionar las variables ambientales y obtener mapas con las zonas apropiadas según el grado de ponderación de cada una de las variables estudiadas.

Durante el año 2008, Longdill et al. (47) realizaron un estudio para determinar la sustentabilidad a largo plazo de los sitios aptos para la maricultura de mejillones en Nueva Zelanda. Los autores desarrollaron un programa de recolección de datos in situ y adaptando los modelos de análisis de información geográfica en ArcMap, de esta manera pudieron determinar las zonas de manejo para acuicultura más idóneas; concluyeron que cerca del 46% de las zonas antes determinadas como óptimas para el desarrollo de cultivos de mejillones habían sufrido cierta degradación por lo que recomiendan realizar evaluaciones periódicas para determinar la capacidad de carga de los ecosistemas.

En el año 2009, Windupranata et al. (48) mencionan que la mejor forma para realizar el análisis de modelos numéricos de las condiciones hidrodinámicas de corrientes marinas, sólidos suspendidos y batimetría en el mar de Java, es usando la superposición ponderada en la aplicación SIG de ESRI ArcMap. Los resultados permitieron a las autoridades implementar controles ambientales y estimar la capacidad de carga del ecosistema donde se ubicaban granjas para el cultivo marino de organismos.

La adaptabilidad de la aplicación ArcMap para el análisis de gran cantidad de datos ha permitido el desarrollo multidisciplinario de la acuicultura disminuyendo la brecha tecnológica de décadas pasadas con el fin de lograr la sustentabilidad al cultivar especies en ambientes marinos, la integración de patrones meteorológicos, biológicos y socio económicos de las zonas marino costeras permiten planificar el uso del mar como parte de la economía azul que presenta a los océanos como el futuro para lograr satisfacer la demanda alimenticia mundial.

En la última década, Szuster et al. (49) en el año 2010 presentaron un estudio que buscaba la planeación del uso del espacio marino con fines del desarrollo económico de las numerosas pequeñas islas con las que cuenta Indonesia. Para

lograr esto se obtuvieron datos de 15 patrones biofísicos y 7 patrones sociales para correlacionarlos mediante la superposición ponderada permitiendo de esta forma obtener mapas de las zonas con capacidad para soportar proyectos de maricultura, con el fin de que fueran reguladas por el estado para evitar impactos ambientales y afectaciones sobre las economías de las poblaciones de las zonas costeras. Como conclusión de esta investigación se sostiene que los SIG pueden generar líneas base para la elaboración de políticas de uso sostenible de recursos marinos y de zonas de conservación como alternativa para la gestión correcta del ambiente.

Durante el año 2011, Silva et al. (50) presentaron un estudio donde adaptaron la metodología de evaluación multicriterio a sitios donde existía deficiencia en la obtención de datos satelitales, escasos de datos socio económicos y nula información sobre los impactos ambientales. Realizando proyecciones determinaron que únicamente  $3km^2$  en la bahía de Valdivia, Chile eran óptimas para el cultivo de *Crassostrea gigas*; como conclusión presentaron varias alternativas de producción acuícola de especies nativas más adaptables a los considerables impactos generados por la industria de salmón en aguas costaneras.

Con respecto al estudio de condiciones bioquímicas en la costa de Ecuador, el año 2013 Bucheli (51), Carrillo (52), Tapia (53) presentaron diferentes estudios donde se correlaciona la temperatura superficial del océano con la productividad primaria el océano Pacífico, indicando que a pesar de que existe variabilidad en la concentración de Clorofila A en las aguas ecuatorianas, los valores son óptimos para mantener la biodiversidad marina en la zona.

Con relación al uso de los SIG asociados al cultivo de *Crassostrea gigas* en Ecuador, Lodeiro (54) en el estudio realizado en el año 2017 en las provincias de Santa Elena y Manabí estima que existen amplias zonas óptimas para maricultura de este organismo gracias a la gran adaptabilidad a las condiciones ambientales que se presentan en las costas ecuatorianas. Para llegar a esta conclusión se realizó un análisis de las condiciones oceanográficas de las corrientes marinas, la velocidad del viento, el sistema de cultivo y la productividad primaria representada en concentraciones de clorofila A. El autor destaca que C.

*gigas* destaca como un recurso que podría añadir valor a la cadena productiva de las comunidades de la costa ecuatoriana debido a sus atractivos precios y grandes propiedades nutricionales.

### **Marco Legal.**

En Ecuador el fomento de la maricultura tiene el objetivo de diversificar las actividades productivas relacionadas con la cría, cultivo y aprovechamiento de recursos hidrobiológicos, con el fin de disminuir los impactos sobre las especies aptas para la pesca o recolección. Por este motivo la normativa legal que regula las actividades en el espacio marino costero del país tiene como fin buscar la sostenibilidad de los proyectos o estudios que se enfoquen en crear alternativas de producción que suplan la demanda creciente por alimentos de calidad, promoviendo la soberanía alimentaria.

La carta magna del Ecuador, en el “artículo 74 dicta que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tienen el derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir” (55).

En la misma Constitución, “el artículo 281, en su inciso a) menciona que para lograr la soberanía alimentaria el Estado impulsará la producción, transformación agroalimentaria y pesquera de las pequeñas y medianas unidades de producción” (55).

De esta manera considerando al ambiente oceánico como ecosistema clave para el desarrollo socioeconómico de comunidades asentadas en las costas, se reconoce que el Estado debe otorgar derechos sobre la planificación del espacio marino con el fin de lograr impulsar la pesca y maricultura sostenibles; los SIG permiten ubicar las zonas aptas para implementar programas de maricultura de especies gracias a los datos captados por los sensores remotos de los satélites.

En el Acuerdo Ministerial 023, se presenta el instructivo para ordenamiento legal para actividades de maricultura emitido por el MAGAP, en su artículo primero menciona que el acuerdo tiene como objetivo regular la actividad de maricultura, por lo que para realizar este tipo de actividad productiva en el país es necesario

seguir un proceso legal para el otorgamiento de títulos de concesión de áreas marinas (56).

En el “artículo 4 se establece que los sistemas sólo podrán ser instalados o fondeados en áreas técnicamente permisibles con el fin de evitar impactos ambientales, se sustentará con la correspondiente autorización ambiental para lograr esto es necesario elaborar mapas de batimetría de la zona que indiquen las profundidades usando curvas de nivel” (56).

De esta manera, la legislación ecuatoriana organiza las actividades de maricultura buscando la sustentabilidad y sostenibilidad de los proyectos, una alternativa para el monitoreo constante de las condiciones ambientales en los océanos es el uso de información satelital y su posterior análisis con los programas informáticos SIG, esto permitiría generar alertas que serán corroboradas con monitoreos in situ, disminuyendo los traslados a las zonas concesionadas y generando un ahorro en esfuerzo laboral.

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

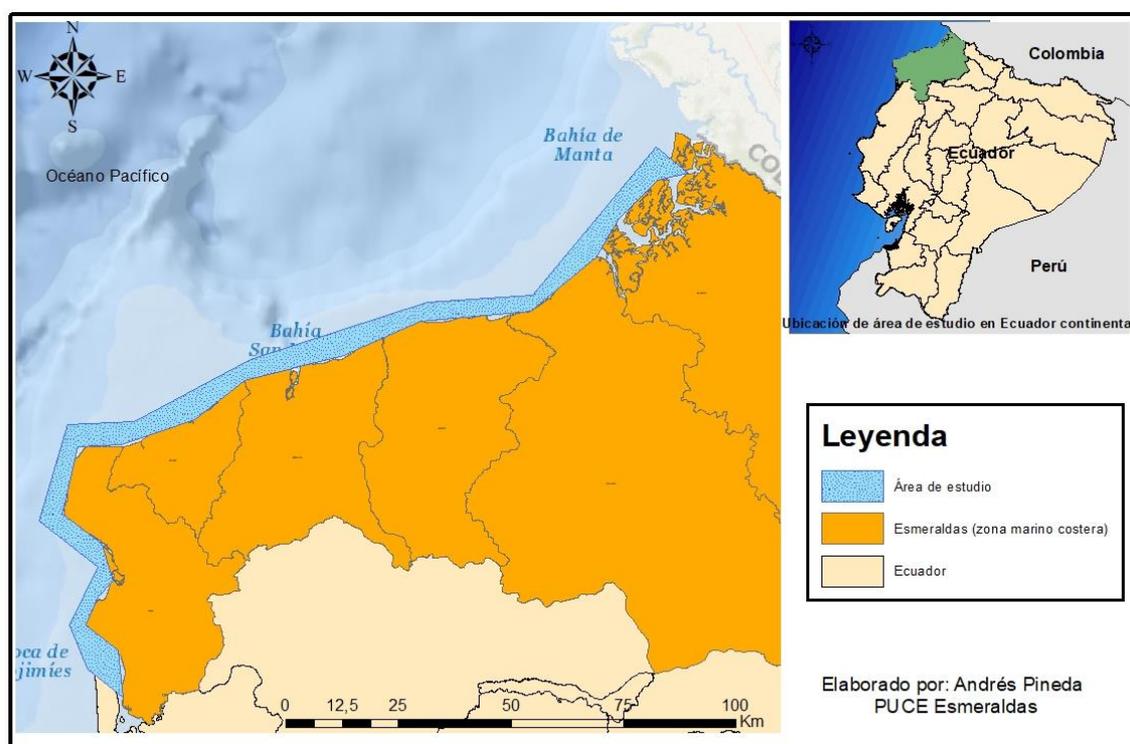
### Área de estudio.

La provincia de Esmeraldas cuenta con una población aproximada de 551.165 habitantes y una extensión de 15.804,52 km<sup>2</sup> (23). Para este estudio se seleccionaron los cantones que cuentan con zona marino-costeras cubriendo un área total de 47.897 hectáreas. A continuación, se presenta en la

Ilustración 1 el área de estudio correspondiente.

### Ilustración 1

*Mapa de área de estudio*



### Metodología

En este apartado se detallan los procesos con los que se implementó el proceso de evaluación espacial multicriterio, la base para este proceso jerárquico analítico fue propuesta por Saaty (57), que menciona que este tipo de evaluación se fundamenta en el desarrollo de ponderaciones sucesivas de los criterios seleccionados para obtener una nueva escala normalizada, de esta forma permite tener una visualización clara de las condiciones en cada zona según el nivel de idoneidad. La aplicación de la SMCE (según sus siglas en inglés) ha

sido adaptada por varios autores entre los que destacan Liu et al. (58), Malczewski (59) y Nunes et al. (60) para ser aplicada al reconocimiento de zonas óptimas para el desarrollo de proyectos acuícolas en ambientes marinos.

El marco metodológico se basa en los criterios adaptados por Brigolin et al. (22), consiste en tres pasos: normalizar y compensar los datos (i), asignar una valorización a cada uno (ii) y finalmente reclasificar la información resultante (iii), de esta forma se obtienen reportes visuales que presentan las zonas idóneas para el desarrollo de la acuicultura de moluscos relacionando las interacciones entre las actividades productivas en las zonas marino costeras y la calidad ambiental necesaria para implementar granjas de moluscos en mar abierto.

Para el desarrollo de esta metodología se obtuvieron datos satelitales en el periodo temporal de 1 año a partir del mes de marzo del año 2019 hasta marzo 2020. El presente estudio consideró 2 macro-criterios: socioeconómico e interacciones ambientales.

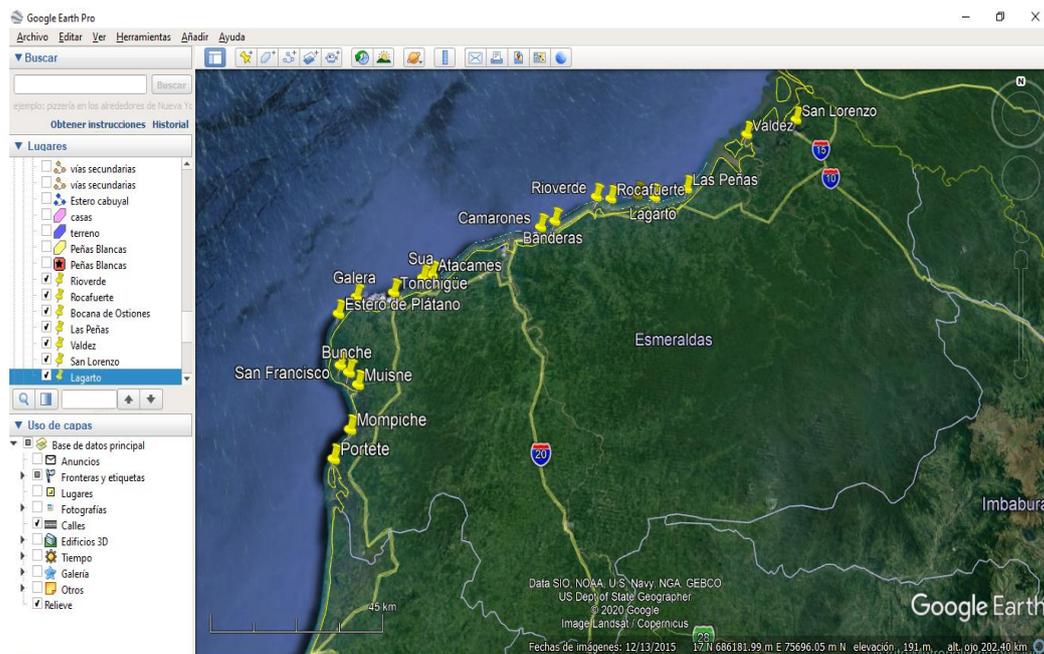
### **Metodología para la obtención de zonas óptimas según aspectos socio económicos en la provincia de Esmeraldas.**

Se realizó la evaluación espacial socio económica gracias a las imágenes satelitales de las áreas consideradas para el estudio en los cantones costeros de la provincia de Esmeraldas. Estas imágenes fueron obtenidas a través del programa Google Earth, donde se identificó las localidades que cumplieran con los criterios para el desarrollo de la metodología de zonificación. A continuación, en la

Ilustración 2 se presentan las locaciones propuestas.

## Ilustración 2

Mapa de localidades para aplicar evaluación multicriterio



Nota: (Para fortalecer el diagnóstico socio económico de las zonas de estudio se analizaron los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los cantones Muisne, Atacames, Esmeraldas, Rioverde, Eloy Alfaro y San Lorenzo.) Fuente: Google Earth.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las poblaciones propuestas para el cultivo de *Crassostrea gigas*.

Tabla 1

<b>Localidad</b>	<b>Cantón</b>
<i>San Lorenzo</i>	San Lorenzo
<i>Valdés (Limonos)</i>	Eloy Alfaro
<i>Santa Lucía de las Peñas</i>	
<i>Rocafuerte</i>	Rioverde
<i>Lagarto</i>	
<i>Rioverde</i>	
<i>Banderas</i>	Esmeraldas
<i>Camarones</i>	
<i>Esmeraldas</i>	
<i>Atacames</i>	Atacames
<i>Súa</i>	
<i>Tonchigüe</i>	
<i>Galera</i>	Muisne
<i>Estero de plátano</i>	
<i>San Francisco</i>	
<i>Portete</i>	
<i>Muisne</i>	
<i>Mompiche</i>	
<i>Bolívar</i>	



Ilustración 5 los productos para el monitoreo oceanográfico.

#### Ilustración 4

Captura del Producto Global Ocean 1/12° Physics analysis and forecast update daily.

The screenshot shows the Copernicus Marine Service website interface. At the top, there are logos for the European Union and Copernicus, along with navigation links for Home, User Corner, and Contact Us. Below this is a navigation bar with buttons for 'Access your ocean information', 'OCEAN PRODUCTS', 'OCEAN MONITORING INDICATORS', and 'OCEAN STATE REPORT', along with a shopping cart icon and a 'My Account' button. The main content area features the product title 'GLOBAL OCEAN 1/12° PHYSICS ANALYSIS AND FORECAST UPDATED DAILY' and a world map visualization showing ocean temperature and salinity. To the right of the map are buttons for 'ADD TO CART', 'VIEW PRODUCT', and 'DOWNLOAD PRODUCT'. Below the map are tabs for 'INFORMATION', 'DOCUMENTATION', 'SERVICES', and 'NEWS FLASH'. The 'INFORMATION' tab is active, showing the product identifier 'GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHY\_001\_024' and an overview section with a short description and references.

Nota: (Desde esta Fuente se descargaron los datos de salinidad, temperatura superficial del agua y dióxido de carbono). Fuente: Copernicus Marine Service

#### Ilustración 5

Captura de Producto Global Ocean Biogeochemistry analysis and forecast

Access your ocean information

OCEAN PRODUCTS > OCEAN MONITORING INDICATORS > OCEAN STATE REPORT >

Home User Corner Contact Us

My Account

GLOBAL OCEAN BIOGEOCHEMISTRY ANALYSIS AND FORECAST

Metadata provided by CMEMS  
Credits: E.U. Copernicus Marine Service Information

ADD TO CART  
VIEW PRODUCT  
DOWNLOAD PRODUCT

INFORMATION Share DOCUMENTATION SERVICES NEWS FLASH

PRODUCT IDENTIFIER GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_BIO\_001\_028

OVERVIEW

Short description:  
The Operational Mercator Ocean biogeochemical global ocean analysis and forecast system at 1/4 degree is providing 10 days of 3D global ocean forecasts updated weekly. The time series is aggregated in time, in order to reach a two full year's time series sliding window. This product includes daily and monthly mean files of biogeochemical parameters (chlorophyll, nitrate, phosphate, silicate, dissolved oxygen, dissolved iron, primary production, phytoplankton, PH, and surface partial pressure of carbon dioxide) over the global ocean. The global ocean output files are displayed with a 1/4 degree horizontal resolution with regular longitude/latitude equirectangular projection. 50 vertical levels are ranging from 0 to 5700 meters.

- NEMO version (v3.6\_STABLE)
- Forcings: GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_001\_024 at daily frequency.
- Outputs mean fields are interpolated on a standard regular grid in NetCDF format.
- Initial conditions: World Ocean Atlas 2013 for nitrate, phosphate, silicate and dissolved oxygen, GLODAPv2 for DIC and Alkalinity, and climatological model outputs for Iron and DOC

*Nota:* (Desde este producto se descargaron los datos de clorofila a y nitratos). Fuente: Copernicus Marine Service

Una vez registrados en el sitio web se obtuvieron datos sobre la temperatura potencial de la superficie del océano, salinidad, concentración de oxígeno disuelto, nitratos y concentración de clorofila A presentes en un volumen de agua. La ventaja de los satélites SENTINEL es que al trabajar en conjunto logran capturar datos de buena calidad temporal, es una misión con tecnología de punta en un esfuerzo de la Unión Europea para contribuir al estudio oceanográfico y meteorológico, otras ventajas frente otros satélites ambientales es que la misión 2A Y 2B cuentan con un rango espacial de alta resolución; a continuación en la

Tabla 2 se presentan varios satélites con productos oceanográficos y terrestres para estudios de gestión ambiental (61).

**Tabla 2****Satélites ambientales y sensores remotos**

Satélites	Sensores	Resolución	Misión
Sentinel 3A	Ocean and Land Color Instrument (OLCI)	Barrido de 1270km; 300m; revisita cada 27 días	Sentinel 3A (16/2/2016)
Sentinel 2 A y 2 B	Multi Spectral imager	Barrido de 290km; 10 m, 20m, 60m revisita cada 5 días	Sentinel 2B (7/3/2017) Sentinel 2A (23/6/2015)
Suomi NPP	Visible infrared Imaging radiometer suite (VIIRS)	Barrido de 3040km; 375 m – 750m; revisita cada 1-2 días	Suomi National Polar Partnership (SNPP) (21/11/2011)
Terra y Aqua	Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS)	Barrido de 2330km; 250m; 500m; 1km; revisita cada 1 a 2 días	Terra (18/12/1999) Aqua (4/5/2002)

**Nota:** NASA's Applied Remote Sensing Training Program

**Procesamiento de datos satelitales**

Una vez descargada la información geográfica se realizó el proceso de análisis de datos en ArcGIS, que consistió en realizar una combinación de los archivos formato netCDF obteniendo un shapefile con la compilación de los datos anuales de cada una de las variables ambientales. A continuación, se presenta la

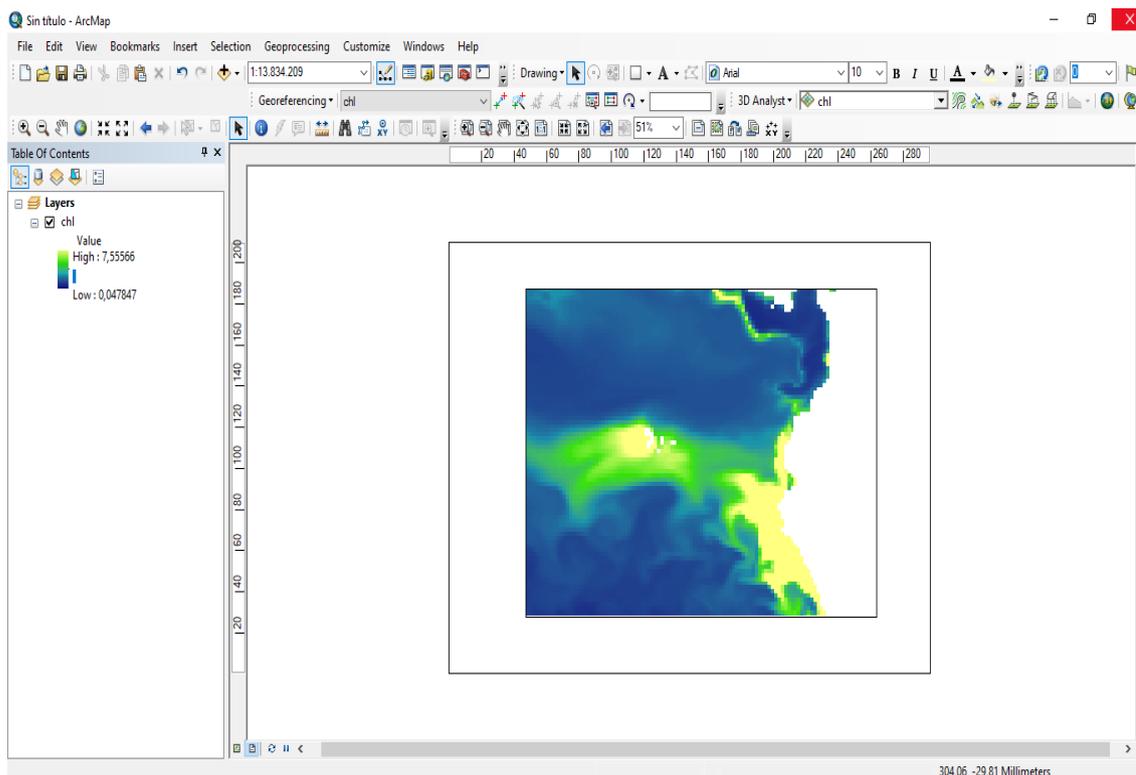
**Ilustración 6**

Captura de pantalla del programa ArcMap con información de clorofila A agregada.

donde se previsualizan los datos de concentración de clorofila cargados en el programa ArcGIS

### Ilustración 6

Captura de pantalla del programa ArcMap con información de clorofila A agregada.



*Nota:* (Previsualización de datos oceanográficos)

La normalización de los datos se obtuvo mediante la aplicación de la herramienta espacial Reclasificación que permitió organizar los datos según la valoración de preferencia para su posterior evaluación multicriterio con la superposición ponderada (62).

Para la visualización final de las interacciones de variables ambientales en las costas de Esmeraldas se realizó el geoprocesamiento de datos con la superposición ponderada que, según ESRI, mediante cálculos logarítmicos obtiene datos únicos para cada celda luego de superponer varias capas ráster con una escala de medición ponderada (63). A continuación, en la

Tabla 3 se presentan los valores para calificar las distintas áreas según los resultados de la superposición ponderada

**Tabla 3**

***Criterios de calificación para la evaluación multicriterio***

Variable ambiental	Ponderación (%)	No recomendada	Aceptable	Adecuada	Óptima
Clorofila A	23	D	C	B	A
Dióxido de Carbono	12	D	C	B	A
Nitratos	18	D	C	B	A
Salinidad	25	D	C	B	A
Oxígeno disuelto	9	D	C	B	A
Temperatura	13	D	C	B	A

**Nota:** Los criterios de evaluación obtenidos del estudio de Porportato (3)

**Factores para la selección de áreas óptimas**

Los mapas temáticos generados poseen una resolución final de 4 km x 4km. La distribución espaciotemporal de cada variable ambiental estudiada fue de un año (marzo del 2019 hasta marzo 2020). A continuación, en la Tabla 4 se presentan las variables ambientales y la resolución espacial del producto oceanográfico correspondiente.

**Tabla 4**

***Resolución espacial de los sensores remotos ambientales***

Datos espaciales	Resolución espacial
Datos de entrada	
Clorofila A	4km
Nitratos	4km

Oxígeno disuelto	4km
Salinidad	4km
Temperatura potencial del océano	4km
Batimetría	200m

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología de selección de sitios óptimos para la acuicultura de moluscos adaptada para el organismo *Crassostrea gigas* como propuesta para la diversificación económica de las comunidades rurales del perfil costero de la provincia de Esmeraldas; los resultados se ajustaron a los niveles óptimos para el desarrollo de los organismos hasta llegar a la talla comercial según cada criterio evaluado.

Para obtener información asociada a la distribución de granjas se consideró la amplitud máxima de 2 millas náuticas y la amplitud menor dentro de la zona de plataforma continental (<0.50 millas náuticas).

La elaboración de mapas donde se zonifiquen las interacciones con actividades en la zona marino costera de la provincia de Esmeraldas permitió identificar los manejos que se dan en estas zonas.

En el cantón Esmeraldas, Terminal petrolero de Balao tiene el control de 411,27 hectáreas, Autoridad Portuaria de Esmeraldas y el puerto artesanal de Esmeraldas con una extensión de 295,02 hectáreas ocupan la desembocadura del río Esmeraldas; otro panorama se presenta en Rioverde (40.6 hectáreas) y el cantón Atacames (149,4 hectáreas) donde la maricultura podría beneficiar a las poblaciones costeras. Sin embargo, el uso de espacios marinos para actividades turísticas en las parroquias Atacames y Same generaría conflictos que podrían solucionarse si los actores participan activamente durante el desarrollo de proyectos de maricultura, de esta manera se aprovecharían las 54.6 y 80.5 hectáreas, respectivamente.

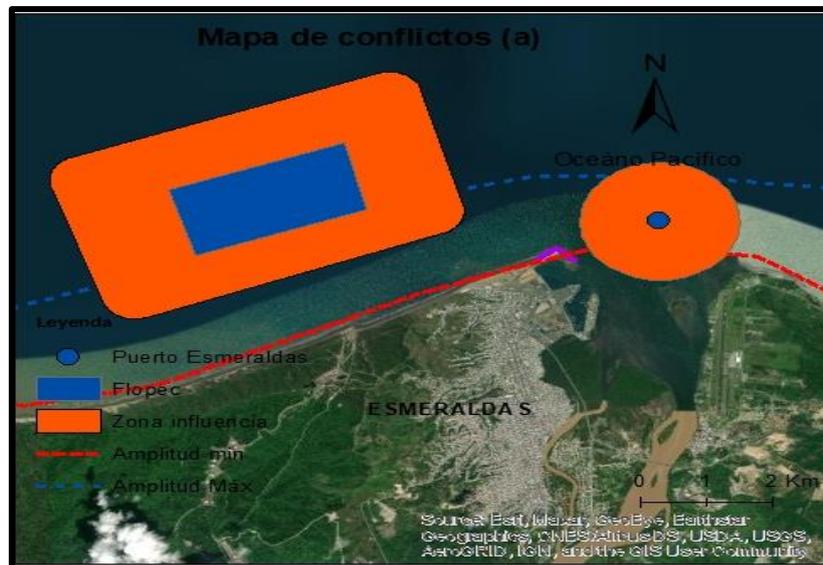
De igual manera, se incluyó una variable ecológica debido a la presencia periódica de la especie *Megaptera novaeangliae*, para generar una zona de conflicto de 672 hectáreas.

En total se detectaron 1.703,39 hectáreas con altas probabilidades de conflictos en el uso del área marítima en la provincia de Esmeraldas que se presentan a continuación (

**Ilustración 7;** Ilustración 8; ilustración 9).

### Ilustración 7

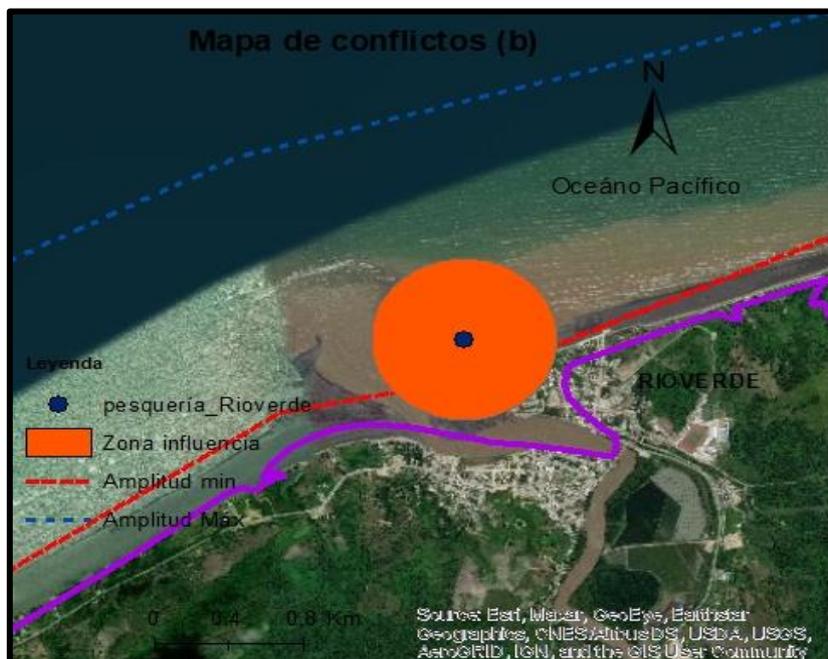
Mapas de conflictos en uso de áreas marítimas en Esmeraldas.



Nota: Zonas con conflicto en Esmeraldas (FLOPEC; puerto pesquero artesanal y comercial.)

### Ilustración 8

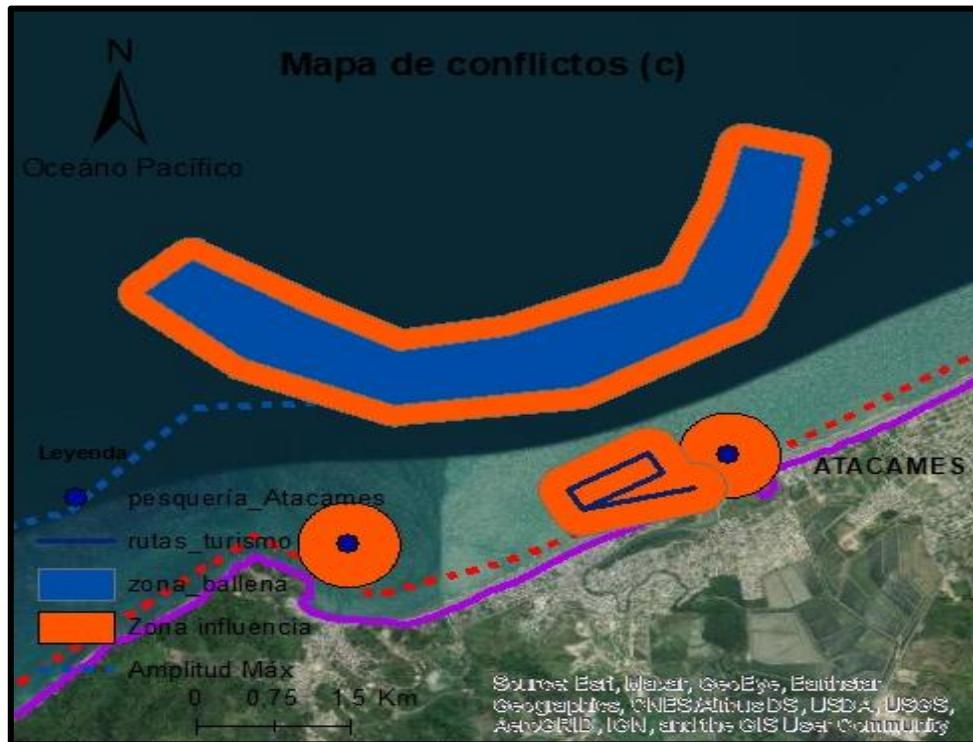
Mapas de conflictos en uso de áreas marítimas en Rioverde.



Nota: Zonas con probabilidades de buenos resultados de asociar la maricultura con la pesca artesanal (Rioverde).

## Ilustración 9

Mapas de conflictos en uso de áreas marítimas en Atacames.



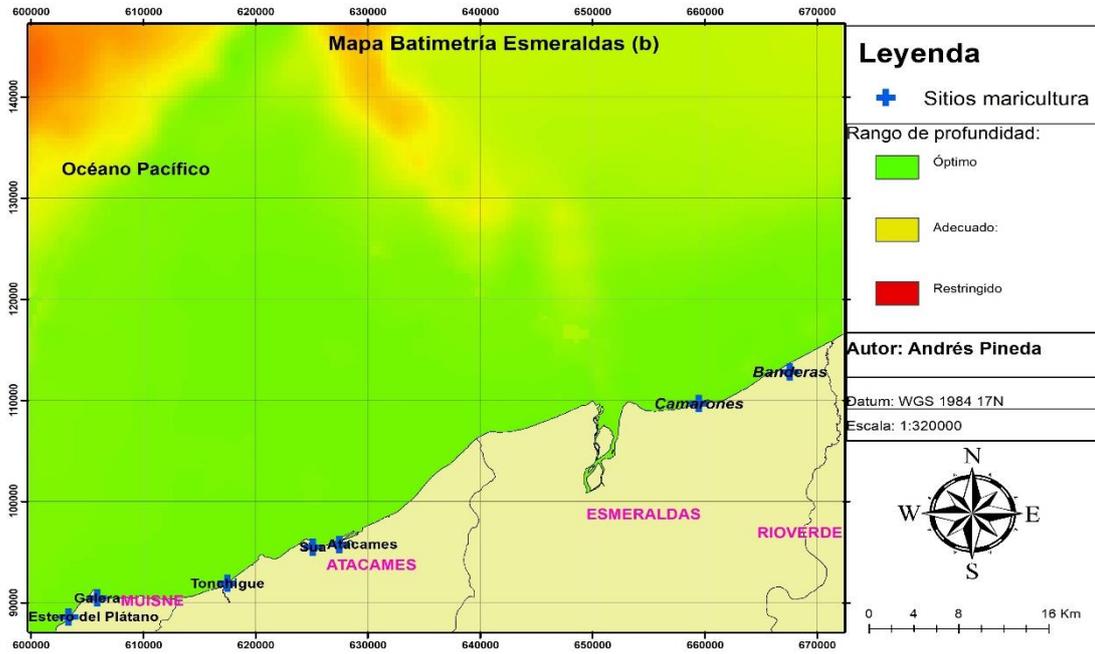
*Nota:* La zona de mayor conflicto es el área donde se reúnen las ballenas jorobadas, se recomienda realizar estudios de la ecología de esta especie para determinar la viabilidad de la maricultura en estas zonas.

## Batimetría

El estudio batimétrico de las zonas marino costeras de la provincia de Esmeraldas, permitió identificar que más del 75% de las zonas presentan profundidades idóneas para el desarrollo de la maricultura de *C. gigas* al encontrar profundidades entre 3 y 45 metros sobre la plataforma marina. A continuación, en las Ilustraciones 10, 11 y 12 se pueden observar estas zonas.

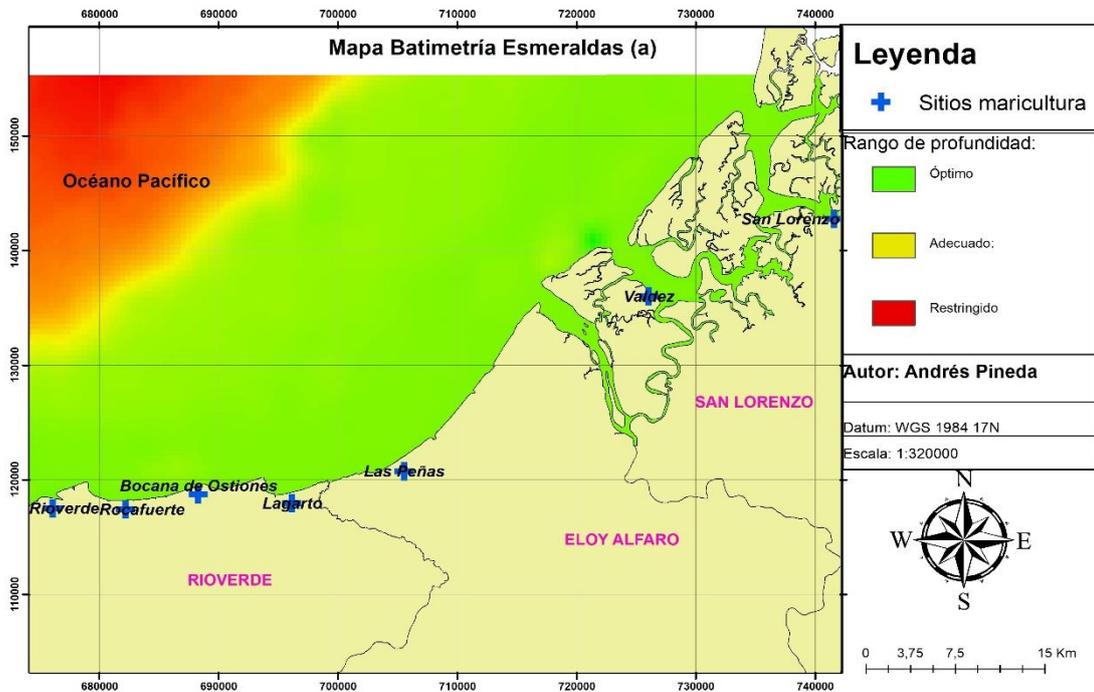
**Ilustración 10**

*Mapas de batimetría de zona norte de la provincia de Esmeraldas.*



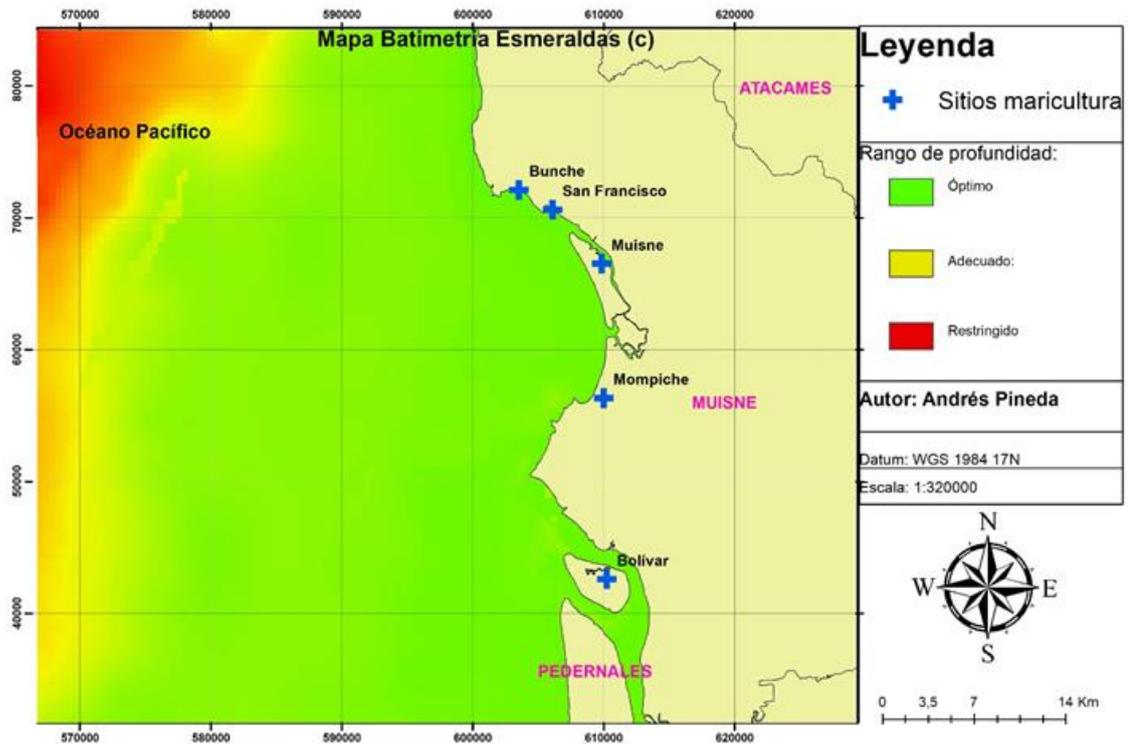
**Ilustración 11**

*Mapa de batimetría Esmeraldas, Atacames y parcial de Muisne.*



## Ilustración 12

Mapa de batimetría de cantón Muisne.

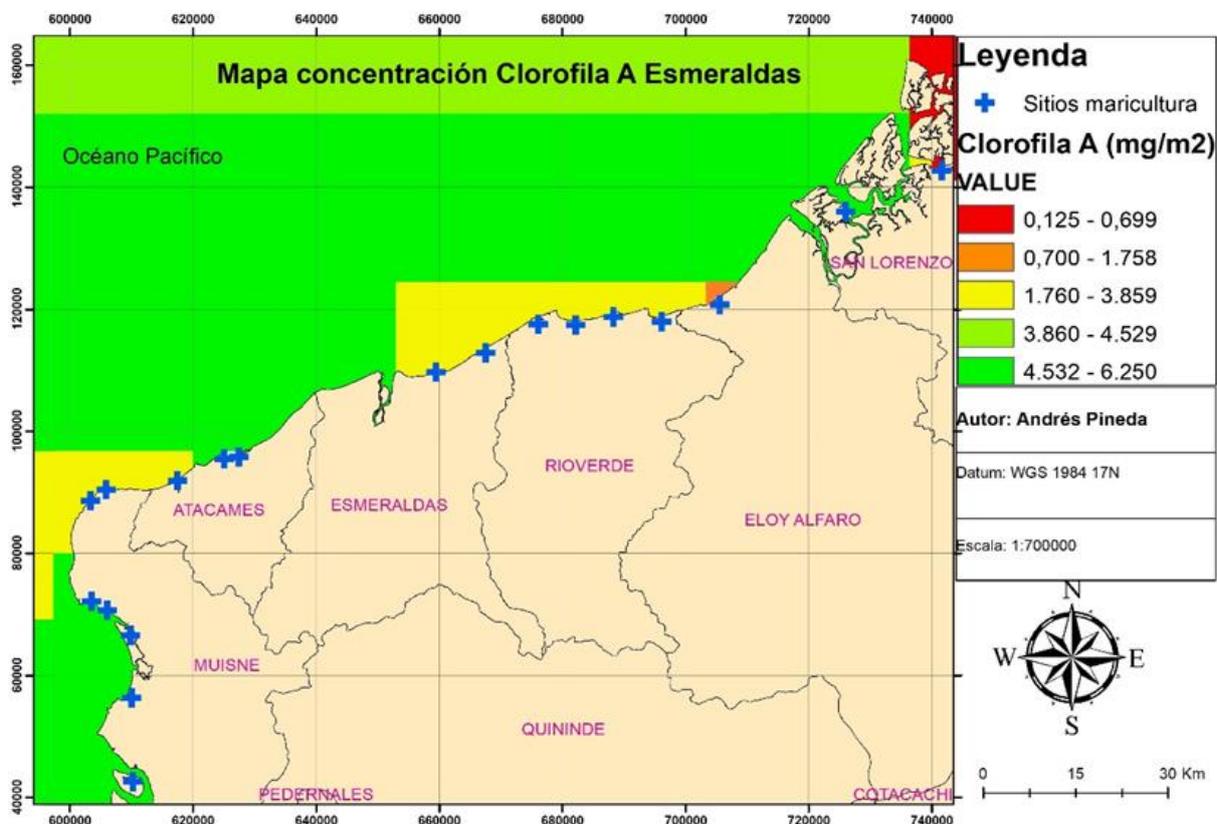


## Clorofila A

Los resultados del análisis espacial a la concentración en el mar de clorofila a evidenciaron que existe una concentración superior a los  $6\text{mg}\cdot\text{m}^3$  presentes en los primeros 10 metros de la columna de agua durante el periodo de estudio; existen variaciones en el Cantón Esmeraldas y San Lorenzo durante un periodo de 5 meses cada año, probablemente esto se deba a la influencia de corrientes de agua con temperaturas no óptimas para el desarrollo Fito plantónico por lo que la concentración de Clorofila A disminuye. A continuación, en la ilustración 13 se pueden apreciar la diferencia de concentraciones.

### Ilustración 13

Mapa de concentración de clorofila A

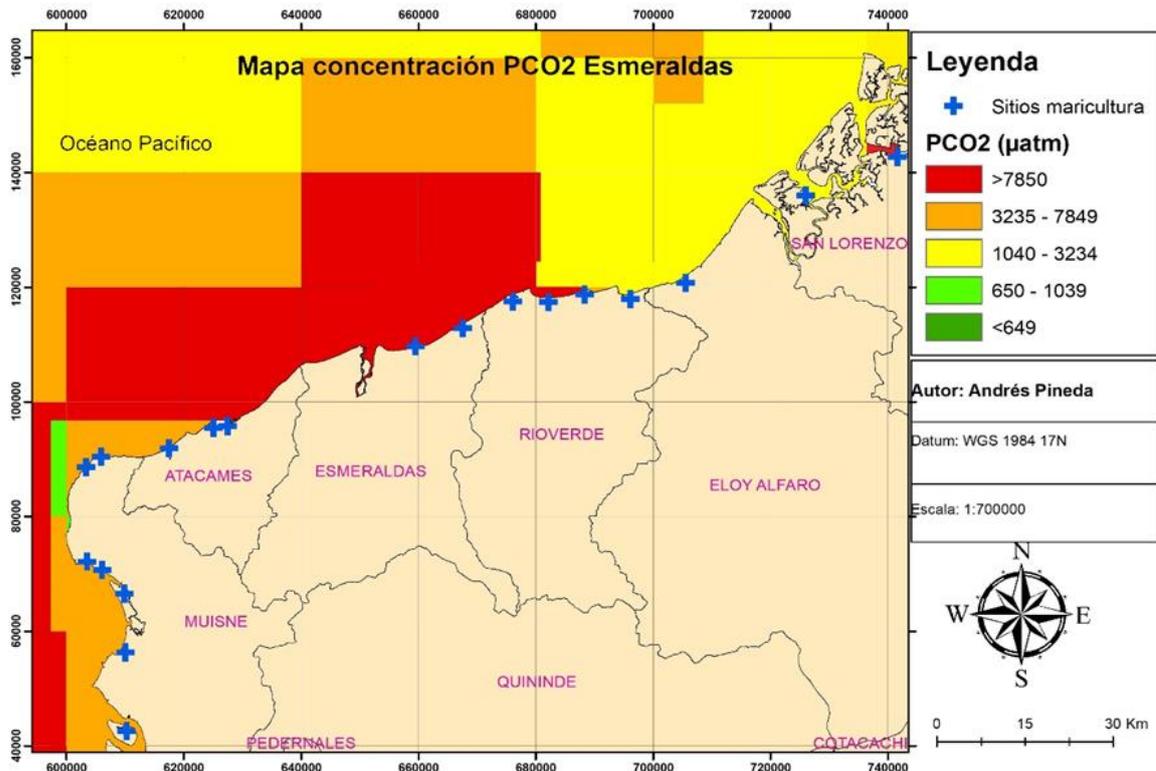


### Dióxido de carbono

El análisis de la presión parcial dióxido de carbono diluido en el agua frente a las costas de Esmeraldas permitieron identificar zonas con alto contenido de CO<sub>2</sub> siendo absorbido por el mar, principalmente frente a las costas del cantón Esmeraldas y Atacames con concentraciones superiores a 7850 micro atmósferas; además el cantón Muisne presenta concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores a los 3200 micro atmósferas, sin embargo, estos rangos tienen a mantenerse y disminuir debido al nivel de fijación de gases por parte del fitoplancton. A continuación, la ilustración 14.

## Ilustración 14

Mapa de concentración Pco2 Esmeraldas



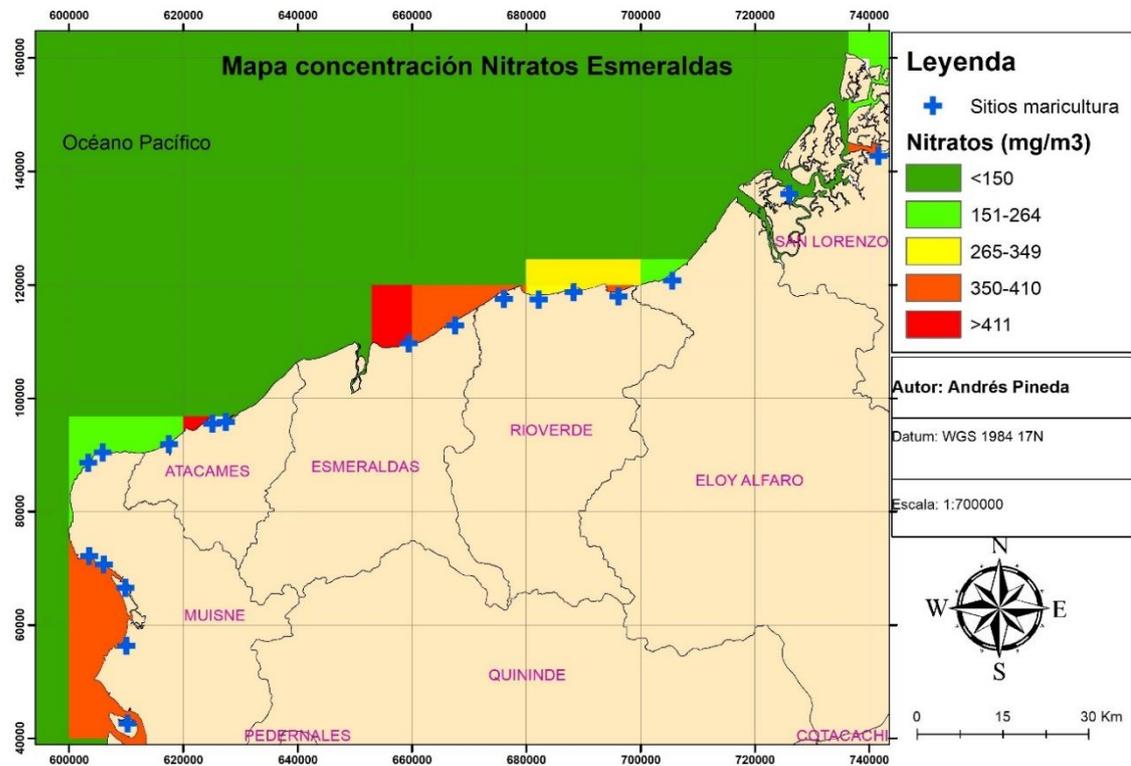
*Nota:* El océano frente a las costas de las concentraciones poblacionales absorbe gran cantidad de CO2 generado en las ciudades.

## Nitratos

Con respecto a los nitratos, las concentraciones promedio de estos compuestos presentes en la columna de agua frente a las costas de Esmeraldas presentaron valores uniformes durante el periodo comprendido para el estudio (1 año) en todo el perfil costero de la provincia; con valores de concentración de  $\text{NO}_3$  menores a  $150 \text{ mg/m}^3$  varias zonas y únicamente encontrando dos zonas con concentraciones superiores a los  $450 \text{ mg/m}^3$ . A continuación se muestra en la ilustración 15 dichas zonas.

## Ilustración 15

Mapa de concentración de nitratos.



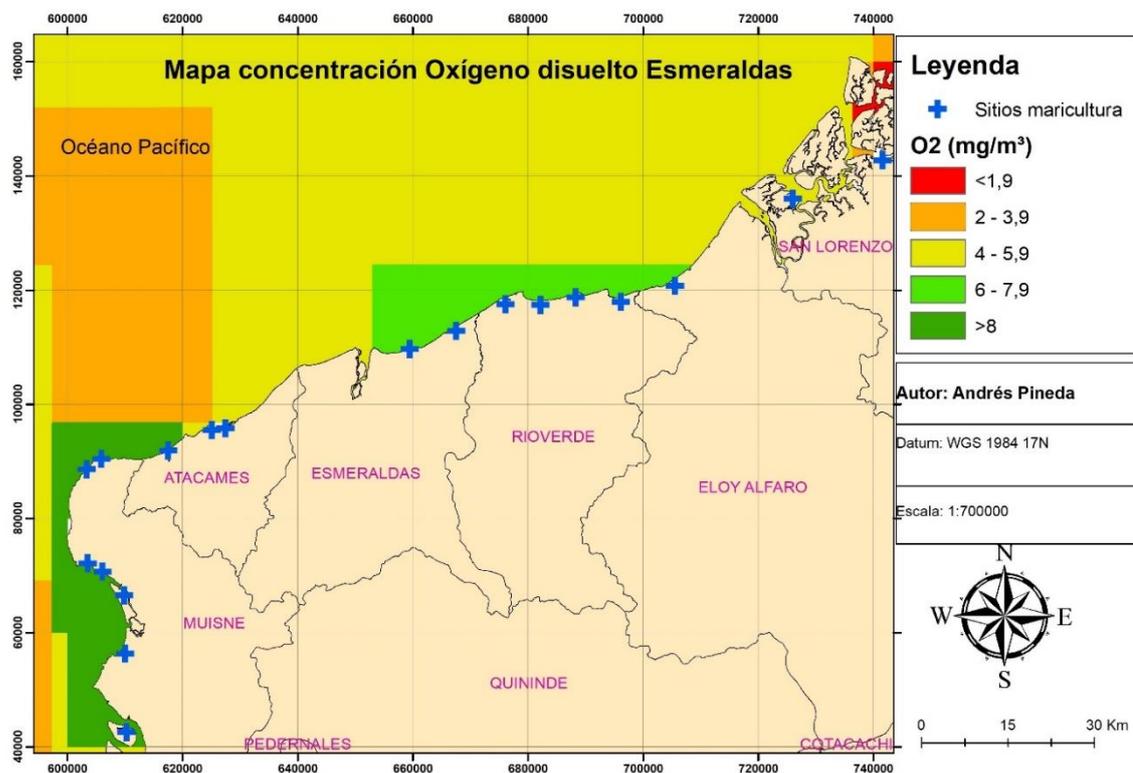
*Nota:* Los valores de nitratos se contrarrestan por acción de bacterias asociadas a los manglares, probablemente a esto se deba que en la zona norte de la provincia existan bajos niveles de concentración.

## Oxígeno disuelto

Las concentraciones promedio de oxígeno disuelto en el océano frente a las costas de Esmeraldas, presenta variabilidad estacionaria; en la parte norte de la provincia desde el cantón Rioverde hasta el cantón Eloy Alfaro se obtuvieron concentraciones óptimas mayores a  $8\text{mg}/\text{m}^3$ ; entre la zona sur del cantón Rioverde hasta la parroquia Súa en el cantón Atacames existe un promedio de concentración anual de oxígeno disuelto que fluctúa entre los  $4$  y  $6\text{mg}/\text{m}^3$ ; finalmente desde Tonchigüe hasta la isla Bolívar se presentó una zona con concentraciones óptima mayores a  $8\text{mg}/\text{m}^3$ . A continuación, la ilustración 16

## Ilustración 16

Mapa de concentración de oxígeno disuelto



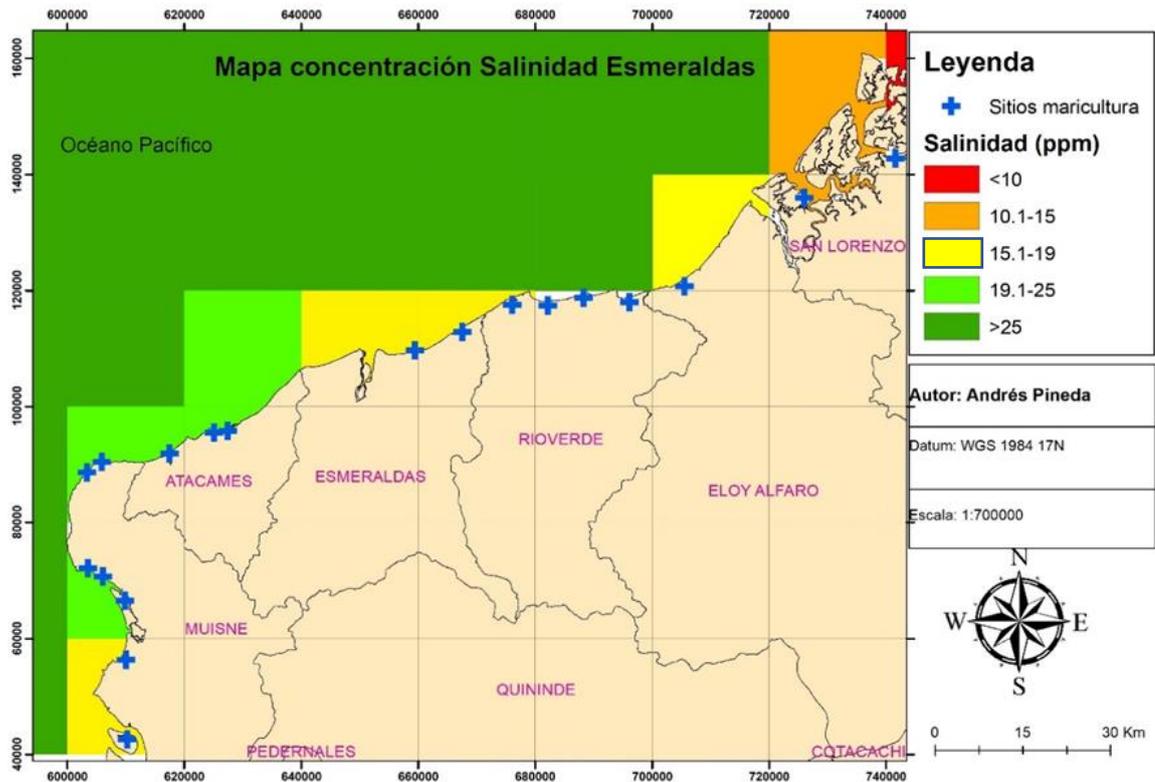
*Nota: La concentración de oxígeno disuelto es óptima en la zona sur debido a las altas concentraciones de productores primarios.*

## Salinidad

Las concentraciones promedio de salinidad en el agua frente a las costas de Esmeraldas tienen un patrón de alta variabilidad en zonas como Esmeraldas y San Lorenzo donde los valores fluctuaron entre 15ppm hasta 25ppm; en el cantón Atacames y parte de Muisne se presentó una salinidad estable durante el periodo de estudio, el valor comprendido entre 19ppm a 25ppm es óptimo para el desarrollo de *C. gigas*.

## Ilustración 17

Mapa de concentración de salinidad



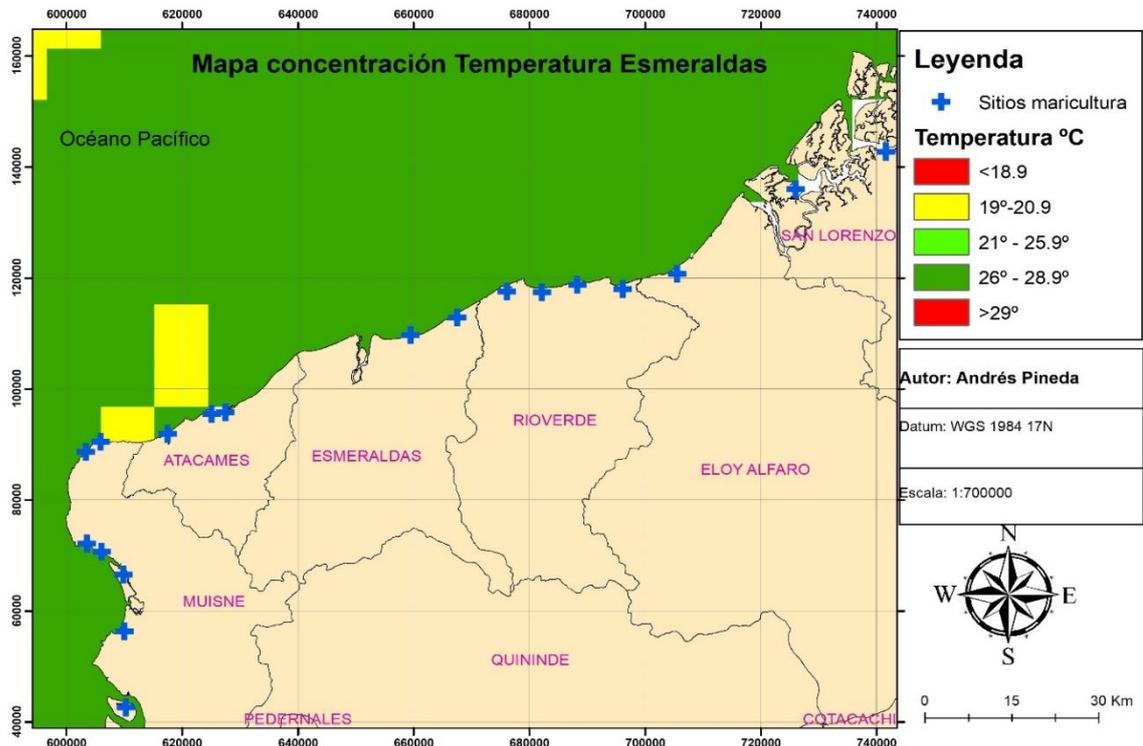
*Nota:* La salinidad tiene tendencia a variar en los puntos donde se encuentran las desembocaduras de ríos de gran caudal como el Esmeraldas y el San Francisco.

## Temperatura superficial

Los valores asociados a la variabilidad de la temperatura superficial del océano frente a las costas de Esmeraldas, permite apreciar la uniformidad en las temperaturas superficiales que fluctuaron entre los 26°C hasta un máximo de 29°C durante el año del estudio en gran parte de la zona de estudio; entre los cantones Atacames y Muisne se presentaron zonas de variabilidad en la temperatura con rangos oscilantes entre los 19°C hasta 21°C.

## Ilustración 18

Mapa de variabilidad térmica en mar frente a costas de Esmeraldas



### Identificación de zonas óptimas para cultivo de *Crassostrea gigas* según la interacción entre variables ambientales.

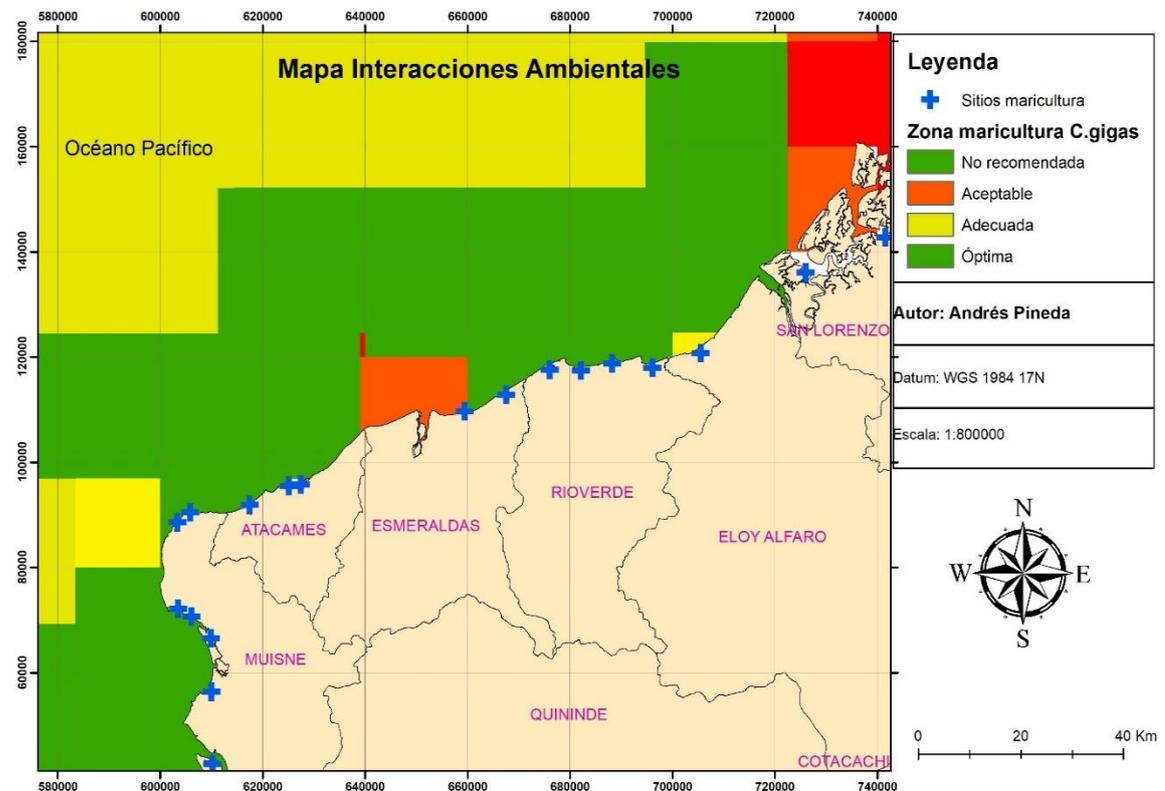
Los resultados del geo procesamiento superposición ponderada generó un área no recomendada para la ejecución de proyectos de maricultura en la provincia de Esmeraldas, el cantón San Lorenzo presentó durante el estudio variabilidad en los parámetros correlacionados por lo que es poco probable según esta metodología que se logre cultivar de forma rentable *C.gigas*.

En la provincia de Esmeraldas se presentaron 4 cantones como zonas óptimas según la ponderación, Esmeraldas, Rioverde, Atacames y Muisne. A continuación, se muestran estas zonas.

:

## Ilustración 8

Mapa de zonas óptimas para cultivo de ostiones según interacciones ambientales



*Nota:* La limitación en las dos zonas se debe a la alta concentración en nitratos (Esmeraldas), variabilidad en salinidad y a la elevada temperatura superficial en el océano en la zona norte (>28°C).

### Relación entre interacciones ambientales e interacciones socioeconómicas en zonas óptimas.

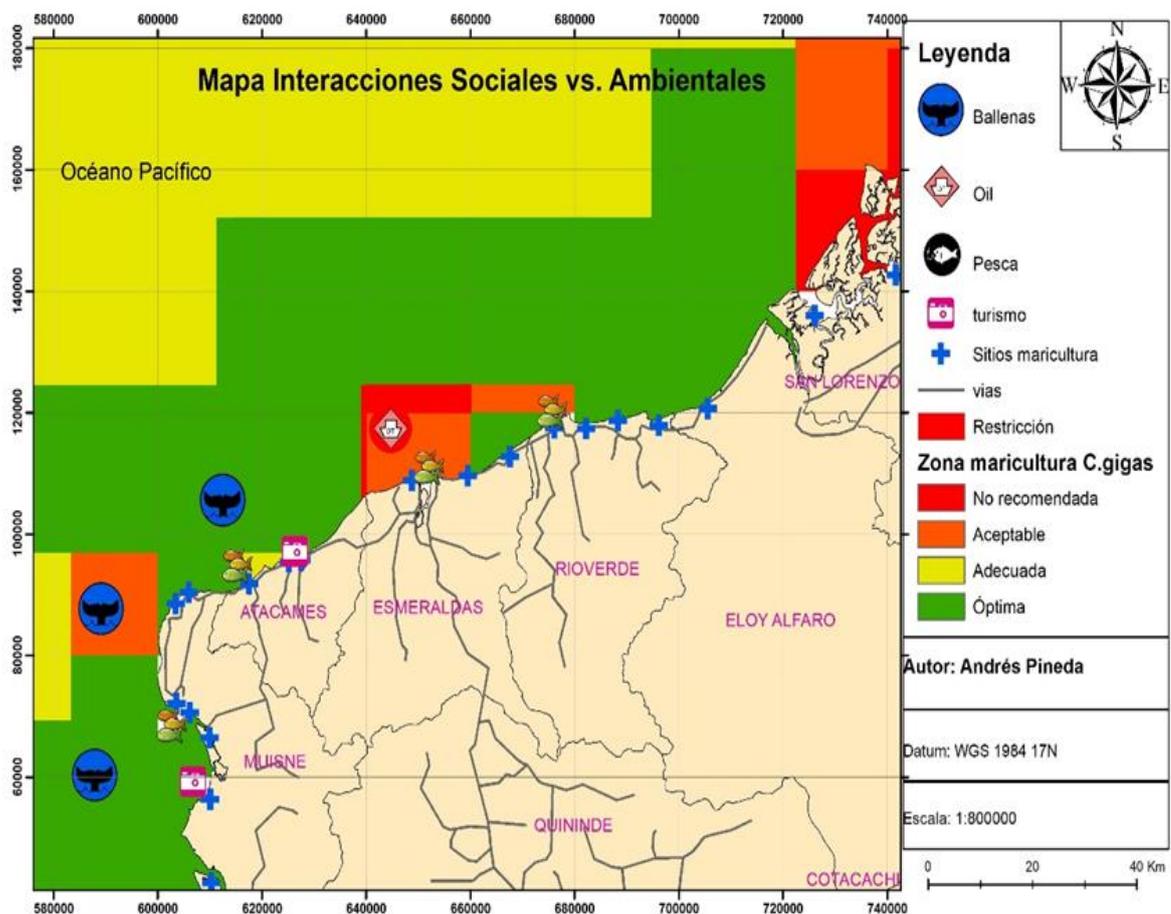
Una vez correlacionadas las variables ambientales y socio económicas, la evaluación multicriterio para la selección de sitios óptimos para el cultivo de *Crassostrea gigas* en la zona norte y sur de Esmeraldas evidencia como las interacciones socio económicas limitan el uso del espacio marino en el perfil costero de la provincia de Esmeraldas; las principales actividades conflictivas para el desarrollo de cultivos de ostiones son el turismo, la pesca artesanal y el transporte de crudo.

En los mapas resultantes se observó la conectividad vial que existe en la provincia de Esmeraldas lo que proporciona una ventaja competitiva para la industria de cultivo de moluscos por la cercanía a posibles mercados para comercialización (Distrito Metropolitano de Quito=309,28Km).

A continuación, en la ilustración 20 se puede observar el mapa final de interacciones, además en la Tabla 5 se presentan la extensión de las áreas según el nivel de idoneidad con relación a los aspectos socioeconómicos y sus interacciones con los parámetros de calidad de agua para el cultivo de *C. gigas*

### Ilustración 20

*Mapa de zonas óptimas para la maricultura de ostiones*



Nota: Se pueden distinguir las actividades económicas que poseen áreas de explotación, la socialización de proyectos de maricultura de ostiones es fundamental para el éxito.

**Tabla 5**

***Extensión de zonas según evaluación multicriterio***

<b>Tipo de zona</b>	<b>Extensión (Hectáreas)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Área de estudio</b>	47.897	100
<b>Óptima</b>	21.362	44.59
<b>Aceptable</b>	5.731	11.96
<b>Inaceptable</b>	18.217	38.03
<b>Restringida</b>	2.587	5.40

**Nota:** El área de estudio comprende desde 0.15 hasta 1.15 millas náuticas

#### **CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en esta investigación con respecto a los posibles conflictos de uso de espacio marítimo que se generarían al implementar producciones acuícolas de *Crassostrea gigas* en Esmeraldas muestran que las actividades socio económicas con mayor uso de espacio marítimo en la provincia son el turismo, la pesca artesanal y el transporte de carga y crudo pesado.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Doty (43) quien señala que los espacios marinos tienden a ser utilizados de forma deficiente por los pescadores artesanales cuyas actividades no presentan patrones de explotación estable lo que se deriva en conflictos por la instalación de los sistemas longline para el cultivo de ostras, además que la pesca industrial afecta de varias formas los ambientes acuáticos limitando el desarrollo de la acuicultura marina en estas zonas.

Con respecto a la posible solución de los conflictos entre industrias relacionadas con manejo de zonas marino costeras, Kapetsky (44) menciona que la versatilidad de los sistemas de información geográfica permiten generar una planificación espacial eficiente lo que mejora la toma de decisiones con respecto del uso del área marítima. De esta forma los SIG resultan de gran utilidad para el ordenamiento territorial de las zonas marino-costeras disminuyendo los conflictos en uso de espacios marinos costeros y por lo tanto los impactos ambientales negativos en estas zonas.

Diversos estudios se han centrado en el aprovechamiento sostenible del espacio marino-costero, para lograr esto es fundamental propiciar herramientas metodológicas adaptables que permitan el estudio de variables ambientales y las relaciones con las actividades socioeconómicas (22); en este sentido, Arnold et al.(45) comentan que la adaptabilidad de los moluscos permite que las evaluaciones multicriterio que integren variables como la temperatura superficial del océano, concentración de clorofila A y oxígeno disponible son suficientes para la implementación de cultivos.

Además, según mencionan Longdille et al (47) es necesario que se realicen pruebas periódicas para determinar la capacidad de carga de los ecosistemas ya que sobrepoblaciones de individuos de una especie comercial específica puede derivar en alteraciones de los patrones ecológicos en los ecosistemas marinos; cabe mencionar que esta evaluación presentó resultados similares a los obtenidos por Windupranata et al. (48) que detectaron zonas aptas para el cultivo de moluscos mayores al 40% del área de estudio, corroborando el gran desempeño de estos organismos y su atractivo para la acuicultura.

Con respecto a los posibles impactos ambientales de proyectos de acuicultura marina de ostiones es determinante la limitada información acerca de esta temática en Ecuador, para la realización de este estudio fue necesario adaptar la información satelital en una escala espacial que no permite una identificación 100% fiable de las zonas óptimas disminuyendo la capacidad de proyección; para corregir esto Silva et al (50). mencionan que es necesario realizar pruebas in situ; a pesar de estas limitaciones se destaca que las zonas óptimas obtenidas presentan bancos naturales de ostiones destacando *Argopecten purpuratus*.

En general los resultados arrojados por el geoprocesamiento superposición ponderada ubican varios puntos óptimos para el cultivo de ostiones de la especie *Crassostrea gigas* en la provincia de Esmeraldas, esto está relacionado con las condiciones ambientales favorables en el océano pacífico, según Bucheli (51), en las costas de Ecuador las concentraciones de clorofila A son considerables, de acuerdo a esto los organismos tendrán acceso a alimento constante permitiendo su desarrollo hasta tallas comerciales.

Con respecto a la temperatura superficial del océano y la concentración de oxígeno, las relaciones estrechas entre las corrientes marinas, los vientos alisios y otros patrones meteorológicos permiten que en las costas de Esmeraldas se mantenga los niveles óptimos para el desarrollo de *Crassostrea gigas*. Como menciona Carrillo (52) existe un punto de convergencia entre la corriente oceánica de Humbolt y la corriente cálida de Panamá cerca de las costas de Esmeraldas permitiendo un intercambio calórico que genera una zona termal que únicamente es influenciada por los fenómenos de La Niña o El Niño.

Los altos niveles de nitratos presentes en el océano frente a las costas del cantón Esmeraldas probablemente estén asociados a las intensas actividades agrícolas y a las descargas sin tratamientos especiales que desembocan en el río Esmeraldas; según Corredor (64) gracias a la presencia de remanentes de manglar, el amonio y nitritos pueden ser descompuestos a nitratos disminuyendo su influencia negativa sobre organismos; sin embargo hay que considerar la capacidad de carga para que estos microorganismos puedan descomponer las moléculas de amonio a su estado base, por lo que es fundamental mantener una buena salud de los manglares.

Con relación a la presión parcial de dióxido de carbono, es evidente, según menciona Macklyn (65) el aporte de CO<sub>2</sub> por parte de las ciudades costeras es el principal factor por el cual se desarrollan Bloom algales que pueden derivar en eventos de mareas rojas e intoxicación de consumidores de mariscos frescos como las ostras. Debido a esto se debe considerar la implementación de proyectos de maricultura en zonas donde el crecimiento demográfico sea estable como en las pequeñas poblaciones pesqueras del sur de la provincia de Esmeraldas.

Según el estudio realizado en el espacio marino costero de la provincia de Esmeraldas la viabilidad para el desarrollo de cultivos de ostiones es elevada, aproximadamente el 44,59% del área de estudio se presenta como óptima; de esta manera los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Lodeiro (54) que sugiere el cultivo de *Crassostrea gigas* se debe presentar como una seria alternativa para la diversificación de los ingresos en comunidades pesqueras en la costa de Ecuador.

## **CONCLUSIONES**

- El análisis de las correlaciones entre variables socio económicas y ambientales permiten obtener un panorama alentador para el desarrollo de proyectos de maricultura de ostiones en la provincia de Esmeraldas
- Las características del medio ambiente oceánico sobre la plataforma continental de la provincia de Esmeraldas están influenciadas por procesos de variabilidad estacional de productividad primaria, esta región del océano Pacífico posee variabilidad de la temperatura superficial del océano por la influencia de las corrientes oceánicas de Humboldt (agua fría) y corriente cálida de Panamá y patrones estables con respecto a concentración de nitratos, concentración de oxígeno disponible y salinidad.
- Se plantea a los sistemas de información geográficos como una herramienta estratégica y moderna para darle solución al ordenamiento de la zona marino costera de la Provincia de Esmeraldas con el fin de proponer la diversificación económica relacionada con proyectos de maricultura.

## **RECOMENDACIONES**

- Es fundamental que se desarrollen estudios In situ en las zonas clasificadas como óptimas durante el desarrollo de este estudio, de esta manera se confirmarán los datos de los parámetros medidos con relación al cultivo de moluscos.
- Proponer unas metodologías para la selección de sitios óptimos para la maricultura de moluscos adaptando las variables a investigar según las condiciones socio económicas y ambientales de Ecuador.
- El uso de criterios de evaluación permitirá a futuros proyectos de cultivos de acuicultura marina de moluscos administrar áreas oceánicas en las costas de Esmeraldas ya que toma en cuenta la distancia hasta posibles mercados, aeropuertos, puertos; el orden de vías y el acceso a servicios básicos de las poblaciones costeras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción [Internet]. 2020. Available from: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229es>
2. Pérez OM, Telfer TC, Ross LG. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquac Res.* 2005;36(10):946–61.
3. Porporato EMD, Pastres R, Brigolin D. Site Suitability for Finfish Marine Aquaculture in the Central Mediterranean Sea. *Front Mar Sci.* 2020;6.
4. MAGAP. Memorias del Primer Foro Ecuatoriano de Maricultura. 2015. 69 pp.
5. Windupranata W. Development of a Decision Support System for Suitability Assessment of Mariculture Site Selection. 2007;(November):1–122. Available from: [https://search.proquest.com/docview/860389221?accountid=27871%0Ahttp://sfx.library.wur.nl:9003/sfx\\_local?url\\_ver=Z39.88-2004&rft\\_val\\_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:book&genre=book&sid=ProQ:Aquatic+Science+%26+Fisheries+Abstracts+%28ASFA%29+Aquaculture+Abstracts](https://search.proquest.com/docview/860389221?accountid=27871%0Ahttp://sfx.library.wur.nl:9003/sfx_local?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:book&genre=book&sid=ProQ:Aquatic+Science+%26+Fisheries+Abstracts+%28ASFA%29+Aquaculture+Abstracts)
6. Burbano L. Propuesta Técnica para el cultivo de ostras (*Crassostrea gigas*) como método de diversificación de ingresos en zonas marino costeras. 2015;
7. Guneroglu A, Kose E, Eruz C, Basar E, Erkebay S, Karsli F. Use of Geographic Information System (GIS) to select fish cage farming sites in Surmene Bay, Black Sea. *Isr J Aquac - Bamidgeh.* 2005;57(2):81–9.
8. Radiarta IN, Albasri H, Sudradjat A. GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM-BASED MODELING AND ANALYSIS FOR SITE SELECTION OF GREEN MUSSEL, *Perna viridis*, MARICULTURE IN LADA BAY, PANDEGLANG, BANTEN PROVINCE. *Indones Aquac J.* 2011;6(1):83.
9. Oyinlola MA, Reygondeau G, Wabnitz CCC, Troell M, Cheung WWL. Global estimation of areas with suitable environmental conditions for mariculture species. *PLoS One.* 2018;13(1):1–19.
10. Kapetsky JM, Aguilar-Manjarrez J. Sistemas de información geográfica , sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina [Internet]. FAO, Documento Técnico. 2009. 140 p. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2011/XF/XF1102.xml;XF2006444791>
11. Jha DK, Rajaprabhu G, Kirubakaran R, Sendhil Kumar R, Dharani G, Das A, et al. Estimation of potential zones for offshore mariculture in the Indian Sea using geographical information system as a management tool. *J Coast Conserv.* 2017;21(6):893–902.
12. Montúfar J, Montúfar M. Análisis del impacto socioeconómico del cultivo en maricultura de la *Crassostrea gigas* (ostra del pacífico) en la comuna “La Entrada” de la Provincia de Santa Elena. Tesis grado MBA [Internet]. 2013;280. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4297>
13. Esmeraldas: La gente de Bolívar cuida su manglar | El Comercio [Internet]. [cited 2020 Nov 17]. Available from:

<https://www.elcomercio.com/tendencias/esmeraldas-bolivar-muisne-manglar-intercultural.html>

14. Cruz M. Moluscos Submareales de la Costa Ecuatoriana Durante la Prospección Sísmica, Diciembre 2008. *Acta Ocean Del Pacific* [Internet]. 2008;20(1):155–68. Available from: [https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/10344/Moluscos submareales de la costa.....OCE20\\_10.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/10344/Moluscos%20submareales%20de%20la%20costa.....OCE20_10.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
15. Miguel F, Pérez C, José M, García L. Cartografía de praderas de *Posidonia oceanica* en el litoral valenciano a partir de imágenes SPOT-5. 2014;
16. Hermawan S. Implementation of Decision Support System for Integrated Coastal Zone Management of Sustainable Mariculture Development Industry in Indonesia. *Civ Eng Dimens*. 2016;18(2).
17. Kapetsky JM, Aguilar-Manjarrez J, Jenness J. A global assessment of offshore mariculture potential from a spatial perspective. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. 2013. 181 p.
18. von Schuckmann K, Le Traon PY, Alvarez-Fanjul E, Axell L, Balmaseda M, Breivik LA, et al. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report. *J Oper Oceanogr*. 2016;9:s235–320.
19. Maricultura del camarón blanco - MANABÍ PRODUCE-EP - Agencia de Desarrollo de la Provincia de Manabí [Internet]. [cited 2020 Jul 12]. Available from: <https://www.manabiproduce.gob.ec/maricultura-del-camaron-blanco/>
20. Ili D. Universidad Estatal Península de Santa Elena Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2010;1–2.
21. de Sousa FES, Moura EA, Marinho-Soriano E. Use of geographic information systems (GIS) to identify adequate sites for cultivation of the seaweed *Gracilaria birdiae* in Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. *Brazilian J Pharmacogn*. 2012;22(4):868–73.
22. Brigolin D, Porporato EMD, Prioli G, Pastres R. Making space for shellfish farming along the adriatic coast. *ICES J Mar Sci*. 2017;74(6):1540–51.
23. Esmeraldas GAD de la P de. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015-2025. 2015;248.
24. Melo J. Teledetección aplicada al estudio de fenómenos oceanográficos superficiales. *Meteorología Colomb* [Internet]. 2002;5(0124-6984):91–103. Available from: <file:///D:/Desktop/literura/11TeledeteccionOceanografica.pdf>
25. Lal R, Nizeyimana E. Remote Sensing and GIS Integration. *Encycl Soil Sci* Second Ed. 2005;
26. Raman RK, Gajera NB. Study on Potential Application of Geographic Information Systems (GIS) to find out Suitable Aquaculture Site in Pune - Maharashtra, India. *Int J Adv Remote Sens GIS* [Internet]. 2014;3(1):669–80. Available from: <http://technical.cloud-journals.com/index.php/IJARSG/article/view/274>
27. Superposición Ponderada con ArcGIS | Tutoriales ArcGIS | GEASIG [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: <https://www.geasig.com/superposicion-ponderada-con-arcgis/>
28. Enfoque de la UE sobre desarrollo sostenible | Comisión Europea [Internet]. [cited 2020 Jul 13]. Available from: <https://ec.europa.eu/info/strategy/international->

strategies/sustainable-development-goals/eu-approach-sustainable-development\_es

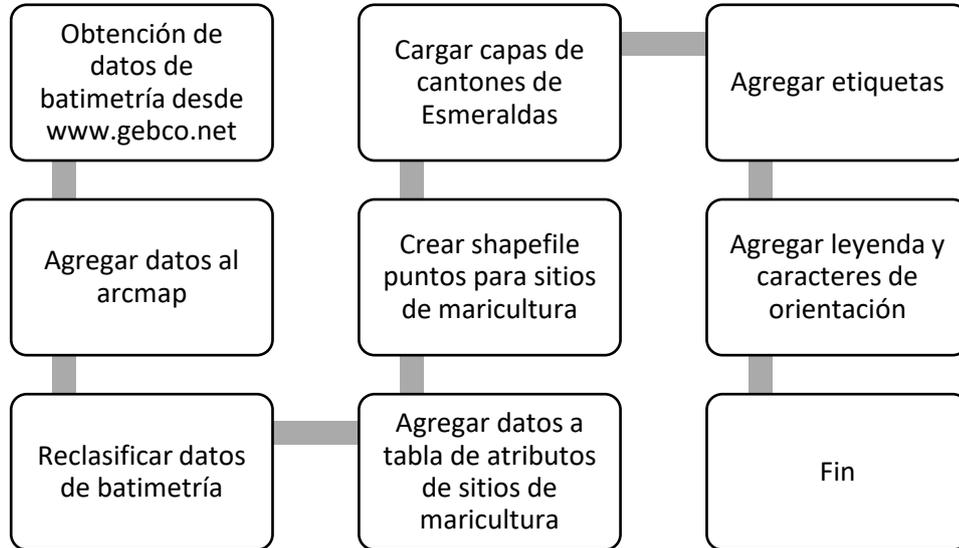
29. Copernicus - Marine environment monitoring service [Internet]. [cited 2020 Jul 14]. Available from: <https://marine.copernicus.eu/about-us/about-eu-copernicus/>
30. Moreira Madueño J, Fernández-Palacios Carmona A, Ojeda Zújar J, Sánchez Rodríguez E. Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite: (Andalucía. Agencia de Medio Ambiente). Rev teledetección Rev la Asoc Española Teledetección. 1994;(3):2.
31. Landuci FS, Rodrigues DF, Fernandes AM, Scott PC, Poersch LH da S. Geographic Information System as an instrument to determine suitable areas and identify suitable zones to the development of emerging marine finfish farming in Brazil. Aquac Res. 2020;(April):1–18.
32. Radiarta IN. Remote Sensing and GIS Approaches Toward Sustainable Management of Marine Aquaculture in Indonesia [Internet]. Vol. 8, Indonesian Aquaculture Journal. 2014. p. 173–9. Available from: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/iaj/article/view/2693>
33. Lopez-Alvarado J, Ruiz W. Manual de construcción y manejo de jaulas flotantes para la maricultura del Ecuador [Internet]. 2015. 24 p. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/282979544\\_Manual\\_de\\_construccion\\_y\\_manejo\\_de\\_jaulas\\_flotantes\\_para\\_la\\_maricultura\\_del\\_Ecuador/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/282979544_Manual_de_construccion_y_manejo_de_jaulas_flotantes_para_la_maricultura_del_Ecuador/citation/download)
34. Kurihara H, Kato S, Ishimatsu A. Effects of increased seawater pCO<sub>2</sub> on early development of the oyster *Crassostrea gigas*. 2007;1(October):91–8.
35. Moullac G Le, Quéau I, Souchu P Le, Pouvreau S, Moal J, Coz JR Le, et al. Metabolic adjustments in the oyster *Crassostrea gigas* according to oxygen level and temperature. Mar Biol Res. 2007;3(5):357–66.
36. Silva N. Oxígeno disuelto , pH y nutrientes en canales y fiordos australes. Av en el Conoc Ocean las aguas Inter Chil Puerto Montt a cabo Hornos. 2006;37–43.
37. Le Roux F, Gay M, Lambert C, Waechter M, Poubalanne S, Chollet B, et al. Comparative analysis of *Vibrio splendidus*-related strains isolated during *Crassostrea gigas* mortality events. Aquat Living Resour. 2002;15(4):251–8.
38. Dineshbabu AP, Thomas S, Rohit P. GIS-based spatial data analysis for marine fisheries management as a prerequisite for mariculture development. Fish Chimes [Internet]. 2014; Available from: [http://eprints.cmfri.org.in/10020/1/FC\\_33-10&11\\_Dineshbabu.pdf](http://eprints.cmfri.org.in/10020/1/FC_33-10&11_Dineshbabu.pdf)
39. Escapa M, Isacch JP, Daleo P, Alberti J, Iribarne O, Borges M, et al. The distribution and ecological effects of the introduced pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in Northern Patagonia. J Shellfish Res. 2004;23(3):765–72.
40. Fabioux C, Huvet A, Le Souchu P, Le Pennec M, Pouvreau S. Temperature and photoperiod drive *Crassostrea gigas* reproductive internal clock. Aquaculture. 2005;250(1–2):458–70.
41. Malham SK, Cotter E, Keeffe SO, Lynch S, Culloty SC, King JW, et al. Summer mortality of the Pacific oyster , *Crassostrea gigas* , in the Irish Sea : The influence of temperature and nutrients on health and survival. Aquaculture [Internet]. 2009;287(1–2):128–38. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.006>

42. Villanueva-Fonseca BP. Efecto de la densidad de siembra y los factores ambientales en el cultivo de ostión japonés *Crassostrea gigas* en la península de Lucernilla , Navolato , Sinaloa. 2011;
43. Semedi B, Da Costa DK, Mahmudi M. Feasibility study of seaweed (*Kapaphycus alvarezii*) mariculture using geographic information system in Hading Bay, East Flores Indonesia. *Nat Environ Pollut Technol.* 2016;15(4):1347–9.
44. Kapetsky JM, Hill JM, Worthy LD, Evans DL. Assessing Potential for Aquaculture Development with a Geographic Information System. *J World Aquac Soc.* 1990;21(4):241–9.
45. Arnold WS, White MW, Norris HA, Berrigan ME. Hard clam (*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, USA: Geographic information system applications to lease site selection. *Aquac Eng.* 2000;23(1–3):203–31.
46. Soletchnik P, Lambert C, Costil K. Summer mortality of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in relation to environmental rearing conditions. *J Shellfish Res* [Internet]. 2005 Jan 1 [cited 2020 Dec 23];24(1):197–207. Available from: [https://bioone.org/journals/journal-of-shellfish-research/volume-24/issue-1/0730-8000\(2005\)24\[197:SMOCGT\]2.0.CO;2/SUMMER-MORTALITY-OF-CRASSOSTREA-GIGAS-THUNBERG-IN-RELATION-TO-ENVIRONMENTAL/10.2983/0730-8000\(2005\)24\[197:SMOCGT\]2.0.CO;2.full](https://bioone.org/journals/journal-of-shellfish-research/volume-24/issue-1/0730-8000(2005)24[197:SMOCGT]2.0.CO;2/SUMMER-MORTALITY-OF-CRASSOSTREA-GIGAS-THUNBERG-IN-RELATION-TO-ENVIRONMENTAL/10.2983/0730-8000(2005)24[197:SMOCGT]2.0.CO;2.full)
47. Longdill PC, Healy TR, Black KP. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean Coast Manag.* 2008;51(8–9):612–24.
48. Windupranata W, Mayerle R. Decision support system for selection of suitable mariculture site in the western part of Java Sea, Indonesia. *ITB J Eng Sci.* 2009;41 B(1):77–97.
49. Szuster BW, Albasri H. Mariculture and marine spatial planning: Integrating local ecological knowledge at Kaledupa Island, Indonesia. *Isl Stud J.* 2010;5(2):237–50.
50. Silva C, Ferreira JG, Bricker SB, DeIvalls TA, Martín-Díaz ML, Yáñez E. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture* [Internet]. 2011;318(3–4):444–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.033>
51. Bucheli R. Comportamiento temporal del plancton ante factores oceanográficos y eventos climáticos en las estaciones de Esmeraldas, Puerto López y Salinas. *Fac Ciencias Nat.* 2016;22:105.
52. Carrillo P. Comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua de las estaciones fijas ecuatorianas 1988-2013. 2013;18:41–8.
53. Del DM. Productividad del fitoplancton en la bahía de santa elena, ecuador durante mayo del 2006.\*. *Acta Ocean del Pacífico.* 2009;15(1).
54. Lodeiros C, Rodríguez-Pesantes D, Márquez A, Revilla J, Chávez-Villalba J, Sonnenholzner S. Suspended cultivation of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Eastern Tropical Pacific. *Aquac Int.* 2018;26(1):337–47.
55. Constitución de la Republica del Ecuador. Publicada en el Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Incluye Reformas [Internet]. 2008;1–136. Available from: [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
56. MAGAP. Instructivo para ordenamiento y fomento de actividades de maricultura.

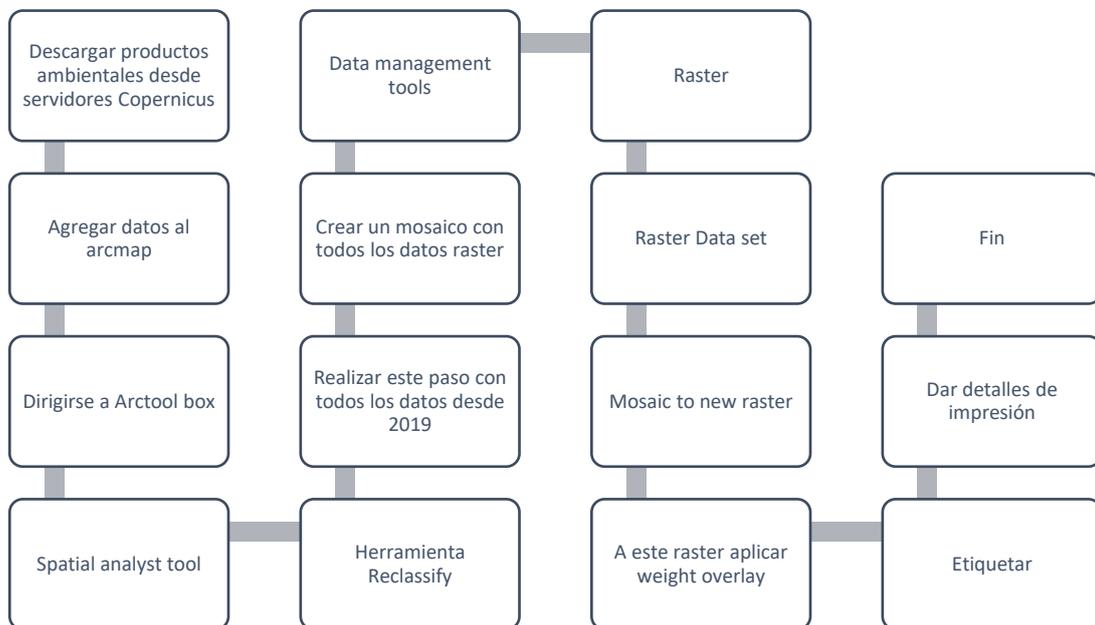
- 2015;64. Available from:  
[http://www.silec.com.ec/Webtools/LexisFinder/DocumentVisualizer/FullDocumentVisualizerPDF.aspx?id=AGROPEC-INSTRUCTIVO\\_PARA\\_ORDENAMIENTO\\_FOMENTO\\_DE\\_ACTIVIDADES\\_DE\\_MARICULTURA](http://www.silec.com.ec/Webtools/LexisFinder/DocumentVisualizer/FullDocumentVisualizerPDF.aspx?id=AGROPEC-INSTRUCTIVO_PARA_ORDENAMIENTO_FOMENTO_DE_ACTIVIDADES_DE_MARICULTURA)
57. Wind Y, Saaty TL. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. Vol. 26, Management Science. 1980. p. 641–58.
  58. Liu Y, Saitoh SI, Radiarta IN, Igarashi H, Hirawake T. Spatiotemporal variations in suitable areas for Japanese scallop aquaculture in the Dalian coastal area from 2003 to 2012. Aquaculture [Internet]. 2014;422–423:172–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.033>
  59. Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. Int J Geogr Inf Sci. 2006;20(7):703–26.
  60. Cameron S. Handbook on the economics of leisure. Handbook on the Economics of Leisure. 2011.
  61. MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online [Internet]. [cited 2020 Aug 29]. Available from: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>
  62. Comprender la reclasificación—Ayuda | ArcGIS for Desktop [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-reclassification.htm>
  63. Cómo funciona Superposición ponderada—Ayuda | ArcGIS for Desktop [Internet]. [cited 2020 Aug 28]. Available from: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>
  64. Corredor JE, Morell JM. Nitrate depuration of secondary sewage effluents in mangrove sediments. Estuaries. 1994;17(1):295–300.
  65. Macklin PA, Suryaputra IGNA, Maher DT, Murdiyarso D, Santos IR. Drivers of CO<sub>2</sub> along a mangrove-seagrass transect in a tropical bay: Delayed groundwater seepage and seagrass uptake. Cont Shelf Res [Internet]. 2019;172(April 2018):57–67. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.10.008>

## ANEXOS

### Elaboración mapas de batimetría



### Elaboración de mapas



*Rangos de concentración para superposición ponderada*

<b>Concentración clorofila A (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo de zona</b>
0.125-0.699	No recomendable
0.700-1.758	Aceptable
1.759-3.859	Adecuada
3.860-4.529	Muy adecuada
4.532 – 6.250	Óptima

<b>Concentración pCO<sub>2</sub></b>	<b>Tipo de zona</b>
<649	Óptima
650-1039	Muy adecuada
1040-3234	Adecuada
3235-7849	Aceptable
>7850	No recomendable

<b>Concentración Nitratos (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo de zona</b>
<150	Óptima
150-300	Muy adecuada
300-450	Adecuada
450-600	Aceptable
>600	No recomendable

<b>Concentración Oxígenos disueltos (<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Tipo de zona</b>
<1.9	No recomendable
2-3.9	Aceptable
4-5.9	Adecuada
6-7.9	Muy adecuada
>8	Óptima

<b>Concentración Salinidad (ppm)</b>	<b>Tipo de zona</b>
<10	Aceptable
10.1-15	Muy adecuada
15.1-19	Óptima
19.1-25	Muy adecuada
>25	Aceptable

<b>Temperatura potencial del océano (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Tipo de zona</b>
>29	No recomendable
28.9-26	Aceptable
25.9-21	Muy adecuada
20.9-19	Óptima
18.9	Adecuada