

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

PROGRAMA MAESTRÍA PROFESIONAL EN SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRAFICA Y TELEDETECCIÓN

IDENTIFICACIÓN DE LOS SITIOS ÓPTIMOS PARA EL CULTIVO DE
OSTRAS EN EL GOLFO DE NICOYA, COSTA RICA UTILIZANDO LOS
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO INSUMO PARA
EL ORDENAMIENTO ESPACIAL MARINO

Trabajo Final de Graduación sometido a la Comisión del Programa de
estudios de Posgrado en Ciencias Geográficas para optar por el grado de
Magister en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección

Rebeca Quesada Céspedes

Campus Omar Dengo, Heredia
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Montes de Oca

Costa Rica
2018

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a las personas que creen en las capacidades de las comunidades costeras para salir adelante, que invierten su vida en un proyecto que beneficia las comunidades a partir de cuánto estén estas dispuestas a trabajar: Sidey Arias Valverde, Oscar Pacheco Urpí y Gerardo Zúñiga Calero.

Está dedicado a las instituciones, organizaciones y empresas que se han sumado a la tarea de generar alternativas para las comunidades, donde se integra una propuesta de trabajo, con el acompañamiento y guía que se merecen.

Está dedicado a quienes confían en que el mar puede generar alternativas de vida aparte de la pesca y que puede producir de forma organizada aprovechando la herramientas tecnológicas para una mejor toma de decisiones.

Y está dedicado a esas personas de las comunidades que ansían un proyecto de vida que les genere sustento y bienestar a sus familias, que creen en las oportunidades que les da la vida a través de las universidades.

Agradecimientos

Agradezco a mi mamá Virginia Céspedes Gaitán por ser de inspiración para buscar mayores logros en la vida, por apoyarme y confiar en mis capacidades.

Agradezco a mis jefas: Hannia Vega Bolaños y Sidey Arias Valverde por inspirarme en el tema de tesis de diferentes formas, por su apoyo durante su proceso y el acompañamiento en su momento, por recalcar detalles que pasan desapercibidos muchas veces. Un agradecimiento enorme a Hannia Vega por su tiempo y dedicación en el trabajo, porque si bien no cumplía el requisito para ser parte del comité, sí cumplía con los conocimientos en temas como calidad de agua, acuicultura y sistemas de información geográfica que se integran en este trabajo.

Agradezco a mi esposo Oscar Pacheco Prieto, que durante todo el proceso de cursos me apoyó y acompañó de la mejor manera, estado yo tan ausente y me asesoró en otros momentos.

Agradezco a mis compañeros de trabajo: Juan Manuel Agüero y Gerardo Zúñiga por alentarme a tomar la decisión de llevar la maestría, a Silvia Ramírez Flores, Inés Lostalo Sancho por darme ánimos durante el transcurso. Agradezco a Alejandra Murillo, Carlos Jaen, Henry Enriquez y Orlando Chavarría por estar pendientes durante el proceso.

Agradezco al proyecto “Aceleración y posicionamiento de la PyMES competitivas de la Región Pacífico Central mediante un Plan Estratégico Interuniversitario Regional”, aprobado por la vicerrectoría de extensión a través de fondos CONARE, por facilitar los datos que se utilizaron para la realización de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros de cursos que me hicieron recordar que las cosas bonitas suceden a diario y que los aportes y enseñanzas no siempre vienen del profesor.

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Comité de Gestión Interinstitucional del Programa (CI) de Maestría en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección UNA-UCR en sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica como requisito para optar por el grado de Magister en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección

M.Sc. Francisco Rodríguez Soto

Coordinador del Programa de Maestría en Sistemas de Información Geográfica y
Teledetección, UNA

Dr. Rafael Arce Mesén

Director Posgrado en Geografía, UCR

M.Sc. Marvin Alfaro Sánchez

Profesor responsable

M.Sc. León Javier Saborío

Tutor

Rebeca Quesada Céspedes

Sustentante

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
Planteamiento del problema	1
Justificación.....	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Capítulo 2. Marco teórico.....	5
Moluscos	5
Criterios de idoneidad de un sitio para la ostricultura.....	6
Ambiente Intrínseco	7
Ambiente Extrínseco	10
Logística.....	10
Ordenamiento Espacial Marino.....	11
Implementación de los SIG para determinar áreas óptimas para el cultivo de ostra japonesa..	12
Capítulo 3. Metodología.....	13
Determinación de parámetros ambientales.....	13
Calculo del peso de los factores	17
Sitios no compatibles	17
Identificación de sitios óptimos.....	18
Capítulo 4. Resultados	20
Determinación de parámetros ambientales.....	20
Cálculo de peso de los factores	21
Sitios no compatibles	22
Identificación de sitios óptimos.....	24
Capítulo 5. Discusión, conclusiones y recomendaciones.....	44
Discusión.....	44
Definición de rangos	44
Cálculo de peso de los factores	45
Sitios no compatibles	46
Identificación de sitios óptimos.....	46
Conclusiones	49
Recomendaciones.....	50
Bibliografía	51
Anexos.....	56

Resumen

La acuicultura es una actividad que se realiza en muchas partes del mundo y gracias a ella, la ostra japonesa o *Crassostrea gigas* se ha convertido en una especie cosmopolita, cultivada incluso en el Golfo de Nicoya de nuestro país. Este golfo ha servido por muchos años como fuente de recursos para los pobladores cercanos sin que el gobierno preste atención a la regulación de las actividades que aquí se realizan. Debido a que la actividad está en crecimiento y a que ha recibido acompañamiento por parte de algunas instituciones, se hace necesario generar información que sea de utilidad para las poblaciones interesadas en la actividad y para los tomadores de decisiones. A partir de referencias bibliográficas, se generó información sobre los rangos de tolerancia de la especie para distintas variables, así como el peso que tienen para la misma, esta información se integró utilizando los SIG para obtener los sitios óptimos para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya. Algunos parámetros como la temperatura, la salinidad, la biomasa algal, el oxígeno y el pH, resultaron tener buenas condiciones para el cultivo de *C. gigas* en el golfo, sin embargo, los TDS, la profundidad y el DS pueden ser factores limitantes. En el caso de los nutrientes, a excepción de los fosfatos, no hubo razones para pensar que puedan ser un factor limitante para el cultivo de ostras. En términos generales, el Golfo de Nicoya resultó tener condiciones favorables para el cultivo de ostras, sin embargo algunos factores como el DS y la profundidad podrían limitar la actividad hacia la parte interna.

Palabras clave: cultivo de ostras, *Crassostrea gigas*, Sistemas de Información Geográfica, ordenamiento espacial marino, Golfo de Nicoya

Lista de cuadros

Cuadro 1. Coordenadas de puntos de monitoreo.....	14
Cuadro 2. Valor de la variable de acuerdo con el rango	18
Cuadro 3. Factores, rangos de criterio y referencia.....	20
Cuadro 4. Resultados de entrevista y cálculo de factor.....	21

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de identificación de sitios óptimos para el cultivo de ostras.....	7
Figura 2. Puntos de monitoreo en el Golfo de Nicoya	15
Figura 3. Medidor multiparámetro	15
Figura 4. Toma y análisis de muestras: a) Botella Niskin, b) muestras teñidas y c) espectrofotómetro	16
Figura 5. Encuesta a expertos.....	17
Figura 6. Esquema de metodología de trabajo	19
Figura 7. Sitios no compatibles con el cultivo de ostras	23
Figura 8. Rampas de color de <i>interpolaciones</i> y de reclasificaciones.....	24
Figura 9. a) Valores interpolados de la temperatura en el Golfo de Nicoya 2015 y b) reclasificación de valores	26
Figura 10. a) Valores interpolados de sólidos totales disueltos en el Golfo de Nicoya 2015 y b) reclasificación de valores	27
<i>Figura 11. a) Valores interpolados de la salinidad en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12. a) Valores interpolados de la clorofila a en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores</i>	<i>29</i>
Figura 13. a) Valores interpolados de la profundidad en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	30
Figura 14. a) Valores interpolados de oxígeno en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	31
Figura 15. a) Valores interpolados de amonio en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	33
Figura 16. a) Valores interpolados de nitrito en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	34
Figura 17. a) Valores interpolados de nitrato en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	35
Figura 18. a) Valores interpolados de fosfato en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	36
Figura 19. Valores interpolados de silicatos en el Golfo de Nicoya, 2015	37
<i>Figura 20. a) Valores interpolados de pH en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores</i>	<i>38</i>

Figura 21. a) Valores interpolados de disco secchi en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores	39
Figura 22 Valores promediados de acuerdo con los rangos en el Golfo de Nicoya.....	40
Figura 23. Idoneidad de sitios para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya	41
Figura 24. Comparación de valores mínimos, promedio y máximos de rangos de acuerdo con reclasificación para a-c) DS y d-f) profundidad.....	42
Figura 25. Mapas de idoneidad de acuerdo con valores mínimos de a) DS y b) profundidad.....	43

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Significado
Cél/L	Células por Litro
DS	Disco Secchi
EBM	Estación de Biología Marina
FAN	Floraciones Algales Nocivas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
g/L	gramos por Litro
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
ko	kriging ordinario
lat	latitud
lon	longitud
m	metros
máx	máximo
mg/L	miligramos por Litro
mg/m ³	miligramos por metro cúbico
mín	mínimo
ml	mililitros
NH ₄	amonio
nm	nanómetros
NO ₂	nitrito
NO ₃	nitrato
Ox	oxígeno
pH	potencial Hidrógeno
prof	profundidad
prom	promedio
PO ₄	fosfato

ppm	partes por millón
Rbiol	Reclasificado biomasa algas
RDS	Reclasificado Disco Secchi
RNH4	Reclasificado Amonio
RNO2	Reclasificado Nitrito
RNO3	Reclasificado Nitrato
Rox	Reclasificado Oxígeno
RpH	Reclasificado potencial Hidrógeno
RPO4	Reclasificado Fosfato
Rprof	Reclasificado profundidad
RTDS	Reclasificado Sólidos Totales Disueltos
Rtemp	Reclasificado temperatura
Sal	salinidad
shp	shape
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SiO2	silicatos
TDS	Sólidos Totales Disueltos
temp	temperatura
umol/L	micromoles por Litro
UNA	Universidad Nacional

Identificación de los sitios óptimos para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya, Costa Rica
utilizando los Sistemas de Información Geográfica como insumo para el ordenamiento espacial marino

Capítulo 1. Introducción

Planteamiento del problema

El Golfo de Nicoya es uno de los estuarios de Costa Rica, este se localiza en el Pacífico Central y está rodeado de comunidades como Jicaral, Cóbano, Lepanto y Paquera en la Península, otras como Costa de Pájaros, Punta Morales, Chomes, Puntarenas centro e islas como Caballo, San Lucas, Venado, Chira, Cedros entre otras. Alrededor de este golfo habita gran cantidad de personas, muchas se dedican a la pesca o actividades relacionadas a la misma, como lo es venta de productos del mar, venta de hielo para el mantenimiento del producto y reparación de embarcaciones para mantener a sus familias.

Entre las formas de pesca utilizadas están el trasmallo, la línea, la cuerda, de forma manual; muchas de estas actividades se realizan de forma ilegal, esto significa que no se respeta el tamaño de las mallas o los tiempos de veda, haciendo que lo que se capture, sean individuos jóvenes que muchas veces no han alcanzado la talla de madurez por lo que no han logrado reproducirse, además de esto, gran parte de estas personas tienen baja escolaridad, lo que reduce las opciones de empleo.

Esto es lo que da pie a proyectos de maricultura como una opción para las familias que dependen de los recursos que brinda el mar. La Universidad Nacional consiente de la problemática social, inicia proyectos de investigación destinados a reproducir en laboratorio, organismos aptos para el cultivo en el Golfo de Nicoya y es así como se logró reproducir la ostra japonesa, que permitió iniciar su cultivo en una zona de Paquera y que ha permitido a otras familias ver esto como una fuente de ingresos.

Si bien la intención de la universidad es clara, mejorar la calidad de vida de las poblaciones aledañas al Golfo de Nicoya, la forma de realizarlo es un poco incierta pues proyectos de este tipo no existen en el país y los contactos cercanos que realizan la actividad lo hacen de forma intensiva y sin tomar en cuenta el tema ambiental. Debido a que lo que se está construyendo se quiere realizar de forma sustentable y amigable con el ambiente, se quiere aprovechar cualquier herramienta que facilite la toma de decisiones y pueda además reducir gastos en su implementación.

Es por esto que se quiere definir los sitios que mejor cumplan con las características óptimas para el crecimiento de la ostra japonesa en el Golfo de Nicoya. Esta ostra se reproduce en laboratorio con la finalidad de ser el medio de vida de las poblaciones costeras. Gran parte de las poblaciones que viven cerca o alrededor del Golfo de Nicoya depende de la pesca o la extracción de moluscos para suplir sus necesidades, sin embargo, la alta demanda ha reducido las poblaciones de peces y moluscos haciendo que se haga necesario buscar alternativas para que estas poblaciones tengan ingresos.

La ostra tiene ciertos requerimientos ambientales que en condiciones óptimas puede alcanzar la talla para la venta en ocho meses, mientras que, si estos requerimientos no son los óptimos, se puede retrasar su crecimiento. En la actualidad existen en el país seis granjas ostrícolas, el establecimiento de los sitios se ha realizado: primero de acuerdo con la cercanía de la población que lo solicita, segundo, realizando una gira para la medición de parámetros y profundidades y a partir de esto se define el sitio. De los sitios evaluados, algunos no han cumplido los requerimientos, principalmente por la concentración de sal o la profundidad; estos sitios que se evaluaron y no cumplieron los requerimientos, significaron un gasto.

Debido a que en el golfo se realiza gran cantidad de actividades, la planificación puede evitar conflictos entre los usuarios, entre las actividades se pueden citar pesca, turismo, recreación o protección. Una propuesta inicial permitiría definir a nivel político, sitios que tienen algún tipo de restricción y excluirlas; también se debe adecuar los sitios, a las condiciones óptimas de los organismos a cultivar, en este caso la ostra japonesa, pero existen muchos otros organismos con potencial para el cultivo.

Un sitio que no sea adecuadamente seleccionado puede ocasionar pérdidas económicas antes de iniciar el cultivo. Para definir el sitio se debe realizar una gira para conocer las condiciones previas, esto permite tener una idea general del sitio, si se tuviera información base, se utilizaría para sugerir posibles sitios, que estaría además basada en datos históricos y no de un momento específico, haciendo que el lugar seleccionado para el cultivo realmente cumpla con los requerimientos para las ostras.

Justificación

La maricultura es una actividad que empieza a desarrollarse en el país. Por estar iniciando debería ser bien planeada. Los SIG contribuyen en la planificación al permitir incluir gran cantidad de variables con ciertas características cada una y a partir de eso tomar decisiones. Si toda esta información se puede incluir en un sistema para la mejora en la toma de decisiones, sería importante aprovechar las tecnologías para hacer uso adecuado del recurso marino sin entrar en conflicto con otras actividades que se vienen desarrollando en el Golfo de Nicoya y al mismo tiempo tener información visual de fácil entendimiento para las comunidades que quieren iniciar la actividad.

A nivel económico, la identificación de los sitios podría reducir gastos en combustible, viáticos y tiempo destinado para obtener la información del sitio a evaluar, pues esta actividad previa al inicio de trámites, ya estaría resuelta. Debido a que antes de iniciar la actividad ostrícola se debe hacer una evaluación de la misma, si se tiene la información, se reduce el tiempo de espera de las agrupaciones en obtener respuesta y se puede agilizar la solicitud de permisos; tener la información permite además evaluar alternativas de tiempo y costo que se debe tener para el mantenimiento de la actividad; identifica áreas que favorecen el crecimiento de los organismos, por lo que genera resultados en menos tiempo; además se toma en cuenta, espacios que puedan tener actividades que no son afines, por lo que se evita tener que incurrir en mayores gastos en el traslado de la actividad.

Desde el punto de vista ambiental, el estudio incluiría información de sitios que puedan ser vulnerables por su condición o que por sus características pueda hacerlo vulnerable a la ostricultura, de esta forma quedarían protegidos ante posibles afectaciones. Estos sitios quedarían excluidos para ser considerados, evitando generar conflictos.

A nivel social, cada grupo interesado en realizar la actividad tendría un punto de partida de acuerdo a su ubicación con los sitios que geográfica y logísticamente cumple con los requerimientos. Las granjas suelen ubicarse cerca del lugar donde viven los dueños del proyecto, por lo que tendrían mayor facilidad de acceso, mayor facilidad a infraestructura o servicios que requieran, así como cercanía a carreteras para trasladar el producto o materiales que requieran.

Por ser la ostricultura una actividad en crecimiento resulta útil generar información que permita la toma de decisiones al momento de recibir solicitudes de poblaciones que pretendan iniciar la actividad.

Esta actividad tiene como objetivo generar ingresos a las comunidades costeras como una alternativa a la pesca que se ha visto disminuida principalmente en el Golfo de Nicoya. La actividad la desarrollan diversos grupos u asociaciones de personas de las zonas costeras que lo ven como un modo de vida para generar ingresos para sus familias.

Antes de iniciar la actividad productiva, cada grupo propone un sitio para establecer la actividad, este sitio debe cumplir con ciertos lineamientos que se desconocen hasta que se realice un estudio de la zona. Sin embargo, luego de la evaluación por parte del personal de la universidad, el sitio puede que no cumpla con las características necesarias para el desarrollo de la actividad.

El tener un mapa de sitios óptimos para el cultivo de ostras, permitirá destinar esfuerzos hacia estas zonas que, si bien puede tener las condiciones óptimas, también debe realizarse un buen monitoreo para asegurarse de que no se está afectando la zona.

Es por todo lo anterior que con esta investigación se pretende identificar los sitios que contemplen la mayor cantidad de características requeridas para el buen crecimiento de la ostra y poder recomendar a los encargados, los lugares aptos para realizar el cultivo, además, aportar información sobre los sitios que no cumplen con los requerimientos para el cultivo, así como contribuir con el ordenamiento espacial marino que debe realizarse en el país.

Objetivo general

Identificar los sitios óptimos para el cultivo de ostras utilizando múltiples criterios a partir de los Sistemas de Información Geográfica como insumo para el ordenamiento espacial marino en el Golfo de Nicoya

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros ambientales óptimos de crecimiento de la ostra japonesa *Crassostrea gigas* basado en referencias bibliográficas

- Determinar el peso de los factores de cada criterio que influye en el crecimiento de la ostra japonesa
- Categorizar actividades que se estén realizando que no sean compatibles con el cultivo de ostras
- Identificar los sitios óptimos para la realización del cultivo de ostras definidos a partir de los SIG

Capítulo 2. Marco teórico

Se realizará una explicación sobre las generalidades del grupo de las ostras, así como algunas características específicas de los moluscos. Se discutirán algunos usos que se les ha dado a los moluscos y algunas razones que han hecho que sea necesario optar por el cultivo de los mismos hasta la implementación de herramientas como los SIG para definir los sitios óptimos para el cultivo.

Moluscos

La ostra es un organismo del grupo de los moluscos, estos son invertebrados que se caracterizan por tener un cuerpo blando y por lo general desprotegido; estos han colonizado todos los ambientes, desde los 3000 metros sobre el nivel del mar, hasta los 5000 metros de profundidad. Entre los moluscos se encuentran los pulpos, calamares, babosas, quitones y también hay otros con el cuerpo protegido como los caracoles, las almejas y ostras. Las ostras y almejas pertenecen dentro de los moluscos a la clase de los bivalvos que tienen el cuerpo protegido por dos valvas (Hickman, 2009).

Entre los usos que le ha dado el ser humano a los moluscos están: para la confección de artesanías, obtención de perlas (Bardach, Ryther & McLaren 1986) y la principal es para consumo. Se cree que el consumo de ostras se da desde la prehistoria por evidencias de conchas encontradas en las cercanías donde se ubicaban las culturas cercanas al mar. La obtención de las ostras para consumo puede realizarse por captura a mano de las ostras que se encuentran a poca profundidad, o con rastrillos con brazos para llegar a obtener las que se encuentran en zonas más profundas.

La alta demanda del producto aunado a disminuciones en las poblaciones naturales ha hecho que se busquen alternativas para su consumo sin alterar las poblaciones; es así como surge la acuicultura de

ostras como una alternativa al consumo de estos organismos (Góngora-Gómez, García-Ulloa, Hernández-Sepúlveda y Domínguez-Orozco, 2012).

La ostricultura es un tipo de acuicultura, esta es una actividad que se encuentra en desarrollo en el país. Al encontrarse en crecimiento se debe tener claridad sobre las características que deben tener los sitios óptimos para realizarla.

Estos lugares van a depender de sus características físicas, químicas y biológicas y su interacción. En el país la acuicultura en general y la acuicultura marina en específico no están muy desarrolladas. Antes de un desarrollo apresurado de la actividad sería conveniente seleccionar a partir de criterios científicos, zonas adecuadas para realizar la actividad.

Criterios de idoneidad de un sitio para la ostricultura

Para definir los sitios óptimos para la acuicultura, se definen criterios del ambiente extrínseco, intrínseco, logística y socio económico (Buitrago, Rada, Hernández & Buitrago, 2005). En el caso de los moluscos, la calidad del agua es uno de los principales factores a analizar; las características intrínsecas son esas características únicas de un lugar que pueden hacer viable en este caso, el cultivo de moluscos bivalvos, algunas pueden ser más relevantes que otras pero su conjunto termina definiendo la afinidad del sitio para la actividad, éstas características en particular, afectan la supervivencia. Las características del ambiente extrínseco que se consideran son: depredadores, florecimientos de mareas rojas, protección de la acción de las olas, sustrato, corrientes, contaminación de desagües y salida industrial. Entre las características de logística están: acceso al sitio, disponibilidad de servicios, seguridad de las instalaciones y conflictos en el uso de espacio y recursos. Y entre las características socio económica están: organización de la comunidad, nivel económico y tradición pesquera (Fig 1) (FAO, 2009); para este análisis, no todos los factores definidos por la FAO serán tomados en consideración.

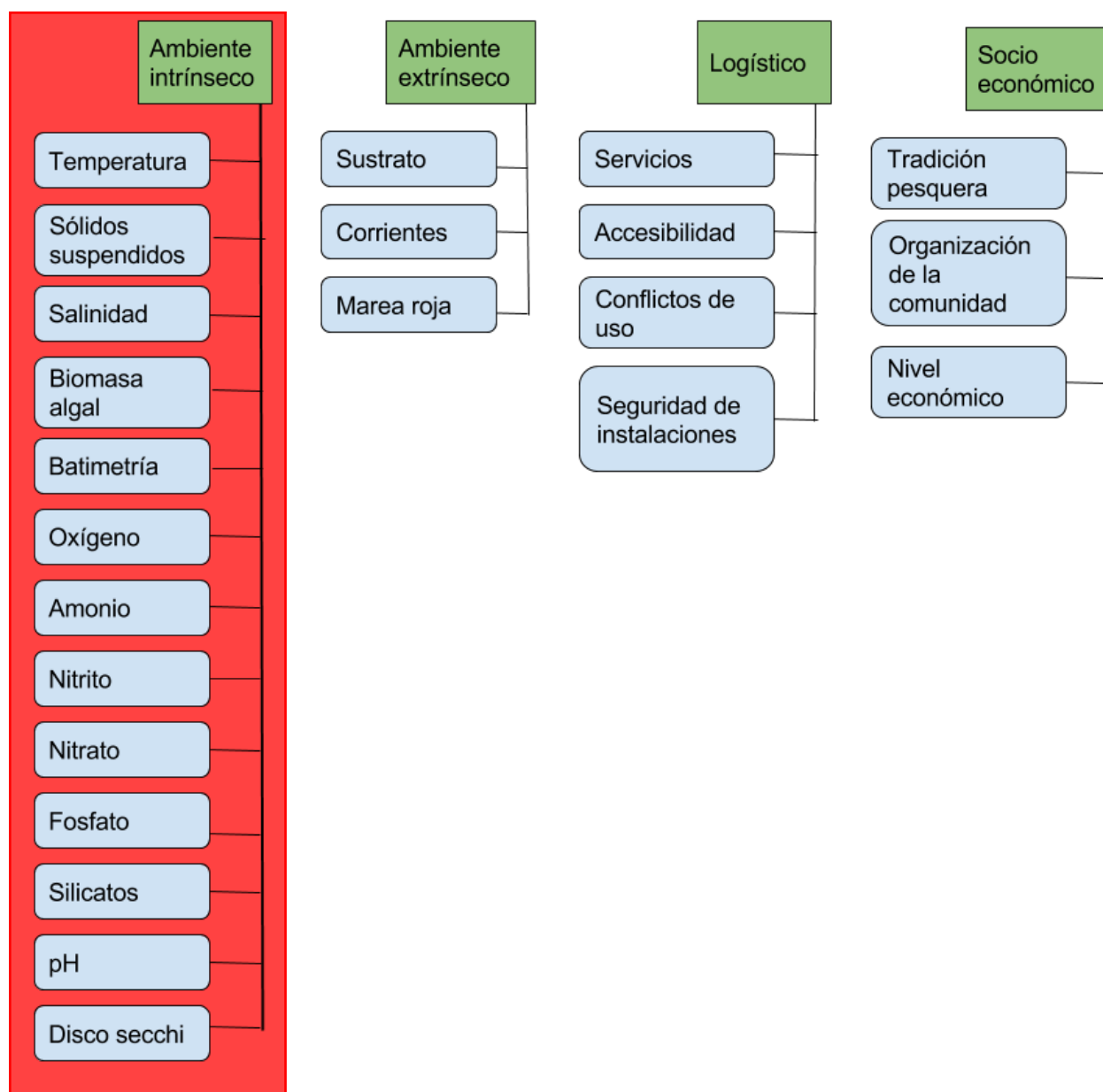


Figura 1 Diagrama de identificación de sitios óptimos para el cultivo de ostras

Ambiente Intrínseco

Entre las características intrínsecas para definir la aptitud de un sitio, están: temperatura, batimetría, sólidos suspendidos, producción primaria, competidores, salinidad y parásitos.

La temperatura condiciona la forma como funcionan los sistemas enzimáticos de los organismos, influyendo en la tasa de crecimiento y el estrés de los organismos, por lo que será importante tener información sobre los valores óptimos de esta variable (Timmons *et al.*, 2009). Este valor también varía con la latitud, de acuerdo con Nayar & Mahadevan (1987) y Matto, Ivanina, Ullstad, Beniash & Sokolova (2013) valores entre los 28 y 31°C son lo óptimos para el crecimiento de moluscos, mientras que valores menores a 5 °C o por encima de 40 °C pueden reducir el funcionamiento del sistema metabólico hasta ocasionar la muerte.

Las partículas de sólidos suspendidos en el agua sirven de alimento a los moluscos, pequeñas partículas pueden ser utilizadas en la cadena alimenticia sin intermediarios lo que resulta en una conversión directa de producción primaria a proteína. Sitios con valores muy bajos o muy altos, pueden limitar la tasa de alimentación de las ostras, por lo que valores entre 110-130 mg/L son los óptimos para el cultivo, mientras que valores menores a 2 o mayores a 550 mg/L son limitantes (Bernard, 1983).

Algunos estudios han concluido que la salinidad es un factor muy importante para el crecimiento de moluscos como la *Crassostrea gigas* (Góngora-Gómez *et al.*, 2012, Nayar & Mahadevan, 1987 y Shumway, 1996). Este parámetro puede influir en el crecimiento de éstas de forma negativa. La salinidad varía de acuerdo con la latitud, por lo que los valores óptimos varían; para las zonas tropicales, los rangos óptimos de salinidad van entre los 28-30 ppm, mientras que valores por debajo de 13 ppm o por encima de 40 ppm pueden ser letales.

La biomasa algal, se cuantifica indirectamente a partir de la producción primaria o clorofila, permite conocer la cantidad de alimento disponible para las ostras, por lo que ambientes que suficiente cantidad de algas, favorecen el crecimiento de las mismas o exceso de éstas puede reducir o agotar el oxígeno, provocando la muerte de otros organismos. Valores cercanos a 1mg/m³ pueden ser beneficiosos, mientras que valores por encima de 75 mg/m³, pueden ser perjudiciales (Moreno *et al.*, 2010).

La batimetría que indica la profundidad de un lugar también es indispensable conocerla para el tipo de actividad que se quiera realizar. Para el caso de cultivo de ostras sitios de muy poca profundidad, son limitantes para realizar la actividad o sitios de mucha profundidad, resultan en altos costos monetarios, por lo que tampoco servirían. En lugares con profundidades por debajo de 5 metros, no se puede desarrollar el cultivo y sitios con profundidades mayores a 15 metros pueden dificultar la actividad.

El oxígeno es de los factores más importantes para la buena salud de las ostras, a niveles por encima de 5 mg/L hace que los organismos se alimenten mejor, por lo que se mejora el crecimiento y son más saludables, mientras que valores muy bajos cercanos a 2 mg/L pueden resultar mortales para los organismos (Timmons *et al.*, 2009 y Villaroel, Buitrago & Lodeiros, 2004).

El nitrógeno que se encuentra en la naturaleza en sus diferentes formas es excretado por los animales, proviene también de restos de alimento o de organismos muertos; esta variable es esencial para los organismos, sin embargo, puede convertirse letal de acuerdo con su concentración. En su forma de amonio, es la forma más tóxica y puede ocasionar la muerte en concentraciones por encima de 22,20 mmol/L. En su forma de nitrito, puede ser letal a concentraciones mayores a 210,86 mmol/L y en su forma de nitrato puede ocasionar daños en concentraciones mayores a 355,58 mmol/L (Nootong *et al.*, 2013 y Barbieri, Marques, Vigilar, Buhner & Tego, 2014).

Los fosfatos suelen ser nutrientes limitante para la producción de fitoplancton que sirve de alimento a los moluscos bivalvos y junto con el nitrato, en exceso pueden causar eutrofización del medio, lo que significa un aporte significativo de nutrientes al medio y que puede ocasionar mareas rojas, alterando las cadenas tróficas. Valores óptimos de fosfatos en el medio serían concentraciones entre 0,2-0,5 mmol/L, mientras que concentraciones mayores a 5,5 mmol/L pueden producir alteraciones (Moreno, Quintero & López, 2010).

El pH o concentración de iones de hidrógeno indica el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. La concha de las ostras está conformada por carbonato de calcio, una molécula muy común que crece de forma constante y de acuerdo con las condiciones ambientales, por lo que condiciones de pH bajo (muy ácidos) producen menor calcificación afectando el desarrollo y aumentando la vulnerabilidad de los organismos. Valores de pH entre 6-7 son los óptimos para el buen desarrollo de los moluscos, mientras que valores menores a 4 o mayores a 9 van a limitar crecimiento (Nayar & Mahadevan, 1987).

El Disco secchi medido como la profundidad de penetración de la luz indica una medida de turbidez del agua, por debajo de la cual no hay suficiente luz para realizar la fotosíntesis, también muestra en cierta medida la cantidad de partículas que hay en el agua y que puede servir de alimento para algunos organismos. Valores de disco secchi entre 6-12 (m) son los óptimos para el cultivo de ostras, mientras que menores a 4 o mayores a 9 son limitantes para el cultivo (Moreno *et al.*, 2010).

Ambiente Extrínseco

El tipo de sustrato puede favorecer la acumulación de metales pesados cerca de la zona de cultivo, por lo que se prefieren sustratos con mayor porcentaje de tipo arenoso, sin embargo, no es una limitante para la realización del cultivo de ostras.

Las corrientes pueden ser un factor determinante, ya que corrientes de mucha velocidad les impediría a los animales alimentarse y morirían de hambre.

Las llamadas mareas rojas o Floraciones algales son proliferación de algas, estas pueden ser nocivas, ocasionar daños o incluso causar la muerte a ciertos organismos. Algunas de estas algas producen toxinas que al ser consumidas por los moluscos se acumulan y pueden generar envenenamiento amnésico u ocasionar la muerte en las personas (FAO, 2009).

El oleaje es un factor determinante, ya que mucha presencia de olas impide estabilidad en los sistemas, inseguridad a la hora de trabajar e impide que las ostras puedan alimentarse con facilidad. Una cantidad adecuada de corrientes puede dispersar los desechos de los organismos y reducir la incidencia de infecciones ectoparasitarias (FAO, 2009).

El desagüe es un tema que debe considerarse en algunos tipos de cultivo, en el caso de nuestro país, los desagües de las casas van a dar al golfo, por lo que no será considerado como un factor.

Las salidas industriales no se tienen reportadas por lo que no podrán ser consideradas para el análisis de los sitios óptimos para el cultivo de ostras.

Logística

Tener servicios cercanos al sitio donde se desarrollará la actividad, facilita su desempeño, la actividad requiere un sitio cercano con acceso a agua, electricidad, servicios sanitarios y un espacio para trabajar, a medida que crezca, podría tener mayores requerimientos, por lo que es una variable más a considerar (Díaz & López, 2000).

La accesibilidad al lugar permite tener facilidad para el ingreso del personal, sacar el producto para su comercialización o incluso, visita de personas al lugar. Si el lugar es de difícil acceso, la granja se puede ver limitada, para algunas actividades. La accesibilidad se puede cuantificar en términos de proximidad a vías de comunicación, ya que se facilita el ingreso y egreso al sitio, salida de producto o entrada de insumos. La proximidad a las vías de comunicación se hará a partir de la cercanía con vías de comunicación; entre 0 y 4 km de distancia a vías de comunicación se tomaría como bueno, más de 8 km, podría ser limitante, esta distancia tomada desde el lugar de trabajo, no desde la ubicación de la granja (Díaz & López, 2000).

Por el tipo de actividad, los conflictos de uso que se considerarán serán los puntos de pesca que usen los pescadores y se definirán como limitante, esta información se obtendrá de Soto, Hernández, Vega y Vega (2016).

El tema de la seguridad de las instalaciones no se evaluará debido a que por lo general las instalaciones no existen, deben construirse, por lo que no se tiene información previa para ser tomada en cuenta.

Ordenamiento Espacial Marino

El Ordenamiento Espacial Marino data del año 1493 cuando se hizo una división de los mares que se acababan de descubrir. La Convención de las Naciones Unidas regula de forma parcial la gobernanza de los países con costas, donde se definen espacios compartidos por todas las naciones denominados “patrimonio de la humanidad” y espacios donde los estados tienen soberanía. En las zonas donde los países tienen soberanía, se ha venido realizando desde hace un par de décadas el ordenamiento territorial que intenta planificar y regular las actividades humanas como: zonas portuarias, pesca, zonas de protección, rutas de navegación (MarViva, 2013).

La falta de lineamientos debidos a una falta de coordinación entre los entes encargados ha provocado conflictos y disputas entre los usuarios, sobreexplotación de recursos, destrucción de hábitats críticos para la biodiversidad y pérdida de seguridad de las inversiones (MarViva, 2013).

Implementación de los SIG para determinar áreas óptimas para el cultivo de ostra japonesa

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas que permiten a las personas, identificar las condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo de ostras. Las herramientas de análisis espacial de los SIG se han desarrollado para facilitar la toma de decisiones; tienen interfaces útiles para relacionar la estructura espacial con procesos hidrológicos y biológicos que permiten reconocer patrones espaciales que controlan el funcionamiento de áreas identificadas (Hassen & Prou, 2001).

Los SIG pueden contener una gran cantidad y tipo de información para generar resultados prácticos para la implementación de la acuicultura de una forma ordenada, por lo que es conveniente, si se piensa promover esta actividad, realizarla de una forma sistemática con la implementación de herramientas como lo son los sistemas de información geográfica (Aguilar-Manjarrez & Kapetsky, 2013).

Los SIG permiten incluir diversos tipos de información como planeación económica, financiera y ambiental e integrarla para obtener resultados. Para esto se han estandarizado criterios como factores de producción que promueven o reducen las condiciones para un uso específico (se mide en escala continua) y restricciones que limitan las áreas en apropiadas o no apropiadas (McDaid & Aguilar-Manjarrez, 2009).

Los SIG también tienen la capacidad de: 1- almacenar información sobre ubicación, topología y atributos de objetos espaciales referenciados (Tsihrintzis *et al.*, 1996), 2- integrar y desplegar diferentes tipos de información espacial (Ventura & Kim, 1993) y 3- analizar información espacial explícita y enlazarla los patrones de nutrientes a los factores que controlan estos procesos (Levine *et al.*, 1993) para identificar áreas críticas de forma eficiente.

En Brasil se identificó a partir de los sistemas de información geográfica, las regiones y municipios con condiciones aptas para desarrollar varios tipos de acuicultura a lo largo del Río de Janeiro; este estudio incluyó estudios en agua y tierra a lo largo de la costa y compara los resultados en términos de capacidad espacial y productividad acuícola (Scott, Vianna y Mathias, 2002).

Otros países han utilizado los SIG para implementar modelos que incluyan datos oceanográficos, físicos o incluso biológicos que permitan tomar decisiones identificando sitios con el mejor potencial para reintroducir especies de forma exitosa (Ravit *et al.*, 2014).

En 2003 Macías-Rivero, Castillo y Rey y Zurta, realizaron un estudio en la Región de Andalucía, España, para identificar zonas apropiadas para la acuicultura, para esto consideraron doce criterios entre estos: batimetría, instalaciones portuarias, hábitats protegidos, áreas turísticas, instalaciones acuícolas y otras y obtuvieron de acuerdo con el grado de compatibilidad tres tipos de zonas 1- apropiadas, 2- limitantes y 3- de exclusión; resultando en un atlas de usos apropiados para la acuicultura costera.

Entre las características a tomar en cuenta del sitio se destacan: profundidad de la zona, salinidad, temperatura y oxígeno principalmente; estas condiciones podrían ser limitantes al momento de realizar el cultivo de la ostra. Es por esta razón que en muchos países se ha implementado el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el desarrollo de la acuicultura.

Si bien la acuicultura contribuye al desarrollo de las comunidades a partir de la generación de empleo, no se puede descuidar que también si se realiza de forma descuidada o desordenada puede traer grandes consecuencias al medio ambiente; en este sentido los SIG también permiten evaluar el impacto de ciertas actividades como lo hicieron Gernez *et al.* (2014).

Capítulo 3. Metodología

El trabajo se agrupó en cuatro apartados: a. definición de rangos donde se delimitó, de acuerdo con la literatura los rangos óptimos para el crecimiento; b. cálculo del peso de los factores, aquí se intentó obtener a partir de la opinión de expertos en el tema, una ecuación para describir el factor de importancia de los factores y asignarles un peso; c. sitios no compatibles, que buscó obtener información sobre lugares que por sus condiciones no son aptos para el cultivo de ostras y d. identificación de sitios óptimos donde se definió a partir de los rango óptimos, el peso de factores y los sitios no aptos, los sitios óptimos para el cultivo. En este caso se trabajó únicamente con la variable ambiente intrínseco.

Determinación de parámetros ambientales

Se realizó una revisión bibliográfica de los criterios, a partir de la revisión se definieron los rangos para cada variable como: óptimo, bueno, aceptable, malo y limitante acorde con la literatura. Para cada factor se asignó luego el peso que tiene en el crecimiento de las ostras (FAO, 2009); para esto se realizó la consulta a expertos para establecer parámetros prioritarios.

Los datos del ambiente intrínseco como la información sobre temperatura, sólidos suspendidos, salinidad, concentración de clorofila, oxígeno, amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicatos, se obtuvo del proyecto “Vinculación interinstitucional con actores del litoral Pacífico de Costa Rica, estratégicos que promuevan el fomento de la ostricultura como una alternativa socio-económica desarrollada por grupos ‘organizados’ de las comunidades costeras”.

Este proyecto comprende 21 puntos de monitoreo en el Golfo de Nicoya. Estos puntos se definieron de forma aleatoria estratificada para obtener información de la mayor parte del golfo, sin ser demasiado exhaustivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Coordenadas de puntos de monitoreo

lat	lon	N	lat	lon	N
9,86314	-84,71813	1	10,15381	-85,1598	12
9,82917	-84,7496	2	10,05608	-85,05984	13
9,78764	-84,78986	3	10,02666	-85,0953	14
9,83292	-84,8798	4	10,09089	-85,02272	15
9,842	-84,883	5	9,95929	-84,94881	17
9,86541	-84,88963	6	10,00899	-84,90517	18
9,9037	-84,82785	7	10,17068	-85,17682	19
9,95249	-84,75467	8	9,99457	-84,94212	21
10,11732	-85,21769	10	10,09558	-84,99729	22
10,1362	-85,18371	11			

Los datos del monitoreo se determinaron en cuatro 4 momentos del año: durante la época seca, época de transición seca lluviosa, época lluviosa y época de transición lluviosa seca (Fig 2). De estos valores se obtuvieron promedios para cada factor y se realizó un kriging para cada uno; se definió método de interpolación éste ya que algunos autores señalan que en este método, la función de interpolación depende de la autocorrelación espacial de la variable; éste añade más peso a las posiciones más

cercanas a los puntos de muestreo, haciendo uso del principio de la primera ley de Tobler que establece que las unidades más próximas entre sí, son más similares que las unidades más lejanas (Coaguila *et al.*, 2013).

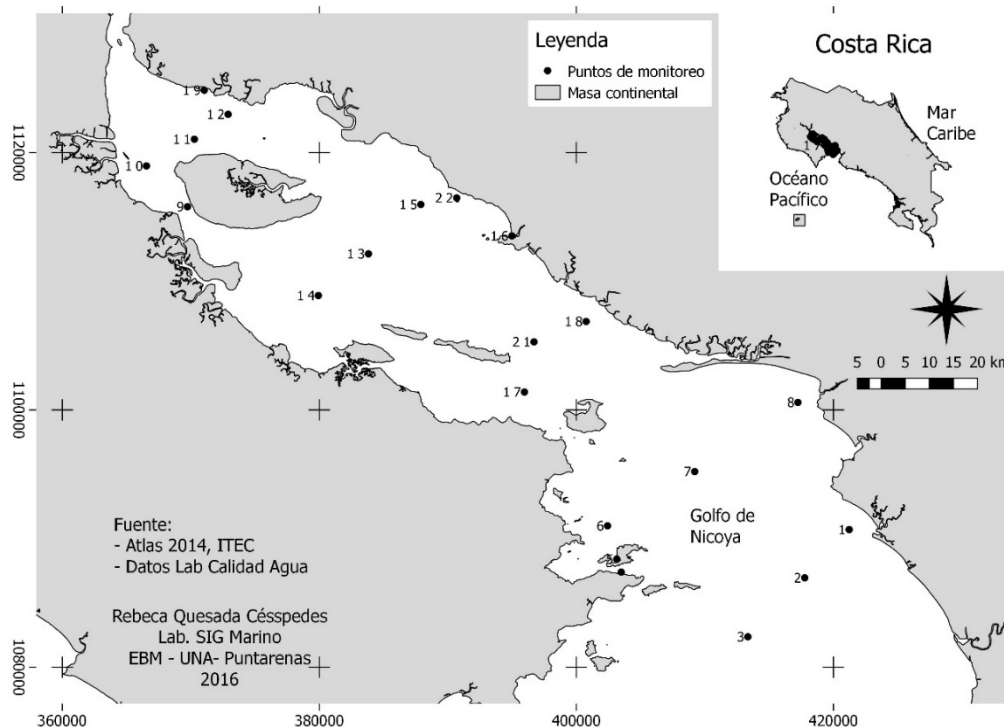


Figura 2. Puntos de monitoreo en el Golfo de Nicoya

Los parámetros ambientales se midieron directamente en el agua a dos metros de profundidad, usando un medidor Multiparámetro YSI 556 (Fig 3), los parámetros medidos fueron: temperatura, sólidos totales disueltos (TDS), salinidad y oxígeno.



Figura 3. Medidor multiparámetro

La determinación de los nutrientes: amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato, se realizó a partir del método de colorimetría descrito por Strickland & Parson (1972). Para el método se tomó una muestra de agua con una botella Niskin a dos metros de profundidad, la muestra se almacenó en una botella plástica a 4°C hasta se llegada a la EBM donde se congeló hasta su análisis. Para el análisis se descongeló la muestra, se tomaron 5 ml por triplicado y se agregó los reactivos para generar el cambio de color, luego se cuantificó a diferentes longitudes de onda usando un espectrofotómetro UV mini 1240 marca Shimatzu (Fig 4).



Figura 4. Toma y análisis de muestras: a) Botella Niskin, b) muestras teñidas y c) espectrofotómetro

La clorofila se determinó siguiendo el método del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Eaton et al., 2012). Usando una botella Niskin, se tomó una muestra de agua y se almacenó en botella plástica a 4°C hasta llegar a la Estación de Biología Marina (EBM). Una vez en la EBM, se filtró cerca de 500ml usando un filtro de nitrato de celulosa, el filtro se almacenó en congelación dentro de papel aluminio para evitar la desnaturalización de la clorofila. Los filtros luego se colocaron en tubos para centrifuga con 10ml de acetona al 90% y se almacenaron en refrigeración durante 12 horas para realizar la extracción de clorofila. Luego de las 12 horas, las muestras se centrifugaron y se realizó la determinación a diferentes longitudes de onda (630nm, 647nm, 750nm) usando un espectrofotómetro (Fig 4c) para calcular luego la clorofila.

Se buscó la información de batimetría del golfo que exista para la mayor parte del mismo y con la mayor resolución posible, en zonas de muy baja profundidad, no es posible realizar el cultivo.

Calculo del peso de los factores

Para el cálculo del peso de cada factor, se realizó una entrevista a expertos en el tema, en la misma debían asignar un valor a cada factor (Fig 5).

Asigne un valor a cada factor que de acuerdo con su experiencia tendría mayor peso para el cultivo de ostras en una de base 100 puntos.

Factor	Puntaje
Temperatura	
Sólidos suspendidos	
Salinidad	
Producción primaria	
Oxígeno	
Profundidad	
Floraciones algales	
Corrientes	
Oleajes	
Amonio	
Nitrato	
Nitrato	
Fosfato	
Silicatos	
pH	
Disco secchi	

Figura 5. Encuesta a expertos

El cálculo del peso de los criterios se realizó a partir del total de variables a incluir en cada criterio. De cada factor se sumaron los valores obtenidos en la entrevista y luego se calculó un valor en base a 4. Para el caso de Ambiente Intrínseco, el total de factores son 12. El mapa final se obtendrá a partir de una reclasificación de los criterios con los rangos: 0-4.

Sitios no compatibles

Se debe identificar los sitios que tiene algún tipo de prohibición para la implementación de cultivos en el agua, para esto se utilizará la información del atlas y del GRÚAS II volumen 3. Para cada variable se hará una clasificación según la literatura de acuerdo con su grado óptimo para el crecimiento de la ostra. También se realizará una revisión con respecto a Floraciones Algales Nocivas reportadas para el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

Identificación de sitios óptimos

A partir de los datos obtenidos, se calculó un promedio anual para el año 2015 de cada variable y se generó el archivo shp para cada uno, a partir del shp se realizó una interpolación usando el kriging ordinario para cada variable para obtener una imagen general y completa del Golfo de Nicoya. Con los valores interpolados, se realizó una reclasificación de acuerdo con criterios de la literatura como limitante (0), malo (1), aceptable (2), bueno (3) u óptimo (4).

El análisis para la selección de un adecuado sitio para realizar la acuicultura puede influir en el éxito de la actividad, esto hace que sea necesario una metodología apropiada para su selección. Con las variables identificadas y sus rangos se realizará un análisis multicriterio (Fig 3). Este análisis es efectivo para solventar problemas de selección de sitios (Hadipour, Vafaie & Hadipour, 2015).

De acuerdo con los resultados se generó una escala para los datos obtenidos a partir de la ecuación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valor de la variable de acuerdo con el rango

Condición	Óptimo	Bueno	Aceptable	Malo	Limitante
Valor	4	3	2	1	0
Rango	14-16	10-13	5-9	1-4	0

Se generaron mapas reclasificados con los valores mínimos para factores vulnerables como lo son el Disco Secchi y la profundidad y manteniendo en ambos casos, cada factor con el valor resultante como definitivo total en caso de que el valor fuera igual a 0 ó 1, eso significa que si el valor reclasificado de DS o profundidad era 0 ó 1, la ecuación mantenía este valor.

Diagrama de flujo

El análisis multicriterio estandariza información cuantitativa que luego procesa y analiza a través de clasificaciones, sobreposiciones, interpolaciones y genera información de salida en forma gráfica a través de mapas que deben ser interpretados, señalando además limitaciones o restricciones, esto permite representar la influencia de cada factor (Díaz & López, 2000).

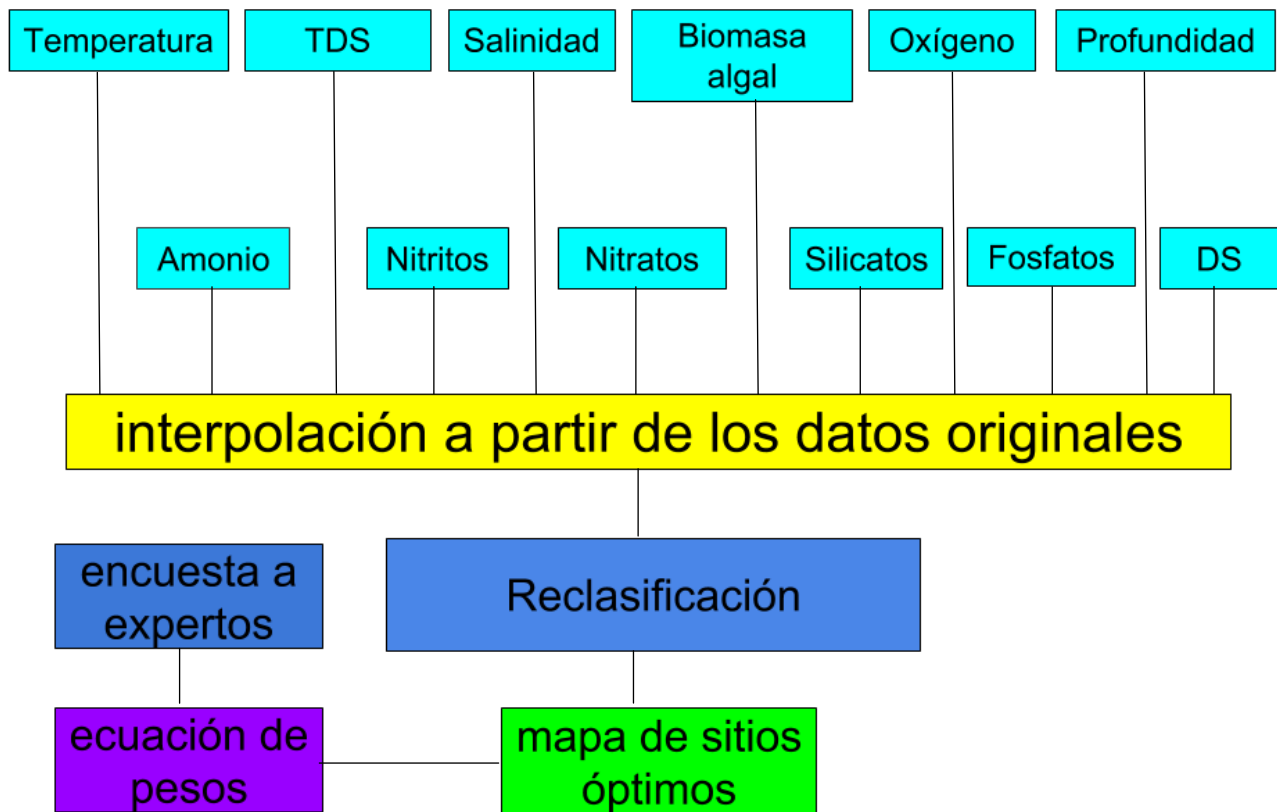


Figura 6. Esquema de metodología de trabajo

A partir del resultado de la interpolación, luego reclasificación y usando la herramienta raster to polygon se generó el nuevo shp de cada variable. A partir de los archivos shp, se utilizó la herramienta Intersect para generar un solo archivo con todas las variables. Con el archivo generado, se usó la calculadora para obtener un promedio de las variables en su base en 4, luego usando la misma herramienta se calculó, de acuerdo con los resultados obtenidos de los pesos, el mapa con los sitios óptimos para el cultivo de ostras según el peso calculado.

Se generó una tabla de los valores máximos y mínimos de algunas variables sensibles para la ostricultura (DS, profundidad) para compararlos con los promedios, para éstos se siguió la misma metodología de interpolación y reclasificación.

Capítulo 4. Resultados

Determinación de parámetros ambientales

Los rangos de cada variable, se definieron a partir de varias fuentes (Cuadro 3):

Cuadro 3. Factores, rangos de criterio y referencia

Factor	Criterios					Referencia	
	Óptimo	Bueno	Aceptable	Malo	Limitante		
	4	3	2	1	0		
Temperatura (°C)	28-31	26-27 y 32-33	23-25 y 34	6-22 y 35-39	< 5 y >40	Nayar & Mahadevan, 1987	Matto, Ivanina, Ullstad, Beniash & Sokolova, 2013
Sólidos Disueltos (mg/l)	110-130	85-109 y 131-275	31-84 y 276-349	25-30 y 350-550	<25 y >550	Bernard, 1983	
Salinidad (ppm)	28-30	20-27 y 31-33	18-19 y 34	14-17 y 35-39	<13 y > 40	Nayar & Mahadevan, 1987	Shumway, 1996
Clorofila (mg/m3)	<1	1-2,4	2,5-16	17-75	>75	Moreno, Quintero & López, 2010	Pérez et al., 2016
Oxígeno	> 5	4-5	3-3,9	2-2,9	<2	Timmons <i>et al.</i> , 2009	Villaroel, Buitrago & Lodeiros, 2004
Profundidad (m)	>15	10-14	8-10	5-8	<5		
Floraciones algas							
Amonio (umol/l)	<4,43	4,44-8,87	8,88-13,32	13,33-22,20	>22,20	Barbieri, Marques, Vigilar, Buhner & Tegov, 2014	
Nitrito (umol/l)	<1,52	1,52-7,16	7,17-39,12	39,13-210,86	>210,86	Barbieri, Marques, Vigilar, Buhner & Tegov, 2014	
Nitrato (umol/l)	<64,51	64,51-129,02	129,03-193,53	193,54-322,58	>322,58	Spotte, 1979	Camargo et al, 2005
Fosfato (umol/l)	0,2-0,5	0,5-0,6	0,7-1,8	1,9-5,5	>5,5	Moreno, Quintero & López, 2010	

Silicato (umol/l)							
pH	6-7	5,5-5,9 y 8-8,4	5,1-5,4 y 8,5-8,8	4,1 -5 y 8,9	<4 y >9	Nayar & Mahadevan, 1987	
Disco Sechi (m)	6-12	5-5,9	3,1-4,9	1,5-3	<1,5	Moreno, Quintero & López, 2010	

Algunos factores como Floraciones Algales Nocivas (FANs) o mareas rojas, varían en función de la especie de alga por lo que no se puede generalizar; factores como los silicatos, no se incluyeron debido a que en la literatura no se especifica ningún criterio de afectación.

Cálculo de peso de los factores

Se logró entrevistar a 11 expertos en el tema de acuicultura, entre estos académicos que laboran en áreas como: reproducción y cultivo de organismos, calidad de agua, pesquerías, así como personas que se dedican a la ostricultura en el Golfo de Nicoya. Los resultados de la suma de las entrevistas a expertos y el factor calculado se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultados de entrevista y cálculo de factor

Factor	Promedio	Desviación	Factor en base 4
Temperatura	86,82	20,40	0,35
Sólidos suspendidos	84,09	9,95	0,34
Salinidad	81,36	18,04	0,33
Biomasa algal	100,00	17,89	0,41
Oxígeno	92,73	10,09	0,38
Profundidad	86,50	9,44	0,35
Amonio	77,73	15,71	0,32
Nitrito	71,36	22,81	0,29
Nitrato	75,00	13,23	0,31
Fosfato	72,73	15,55	0,30
pH	79,55	18,23	0,32
Disco secchi	75,45	13,68	0,31

El factor que tuvo mayor variación entre los expertos con respecto a su importancia fueron los nitritos, seguido por la temperatura, mientras que la profundidad y los sólidos suspendidos fueron las variables que tuvieron menor variación (Cuadro 3).

La operación que se obtuvo como resultado quedaría:

Sitios óptimos

$$= RTemp * 0,35 + RTDS * 0,34 + RSal * 0,33 + RBioA * 0,41 + ROx * 0,38 \\ + RProf * 0,35 + RNH4 * 0,32 + RNO2 * 0,29 + RNO3 * 0,31 + RPO4 * 0,30 \\ + RpH * 0,32 + RDS * 0,31$$

Donde:

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
RTemp	Temperatura reclasificado	RNH4	Amonio reclasificado
RTDS	Sólidos Totales Disueltos reclasificados	RNO2	Nitrito reclasificado
RSal	Salinidad reclasificada	RNO3	Nitrato reclasificado
RBioA	Biomasa Algas reclasificada	RPO4	Fosfato reclasificado
ROx	Oxígeno reclasificado	RpH	pH reclasificado
RProf	Profundidad reclasificada	RDS	Disco secchi reclasificado

De los factores, el de mayor peso resultó ser la Biomasa Algal con 0,41 seguido por el oxígeno con 0,38, mientras que los de menor peso fueron los nitritos con 0,29 y fosfatos con 0,30.

Sitios no compatibles

De las bases de datos consultadas, las actividades que podría ser incompatibles con el cultivo de ostras se destacan: las rutas de navegación marítimas, sitios con ocurrencia de FANs tóxicas para las ostras y los muelles.

Sitios no compatibles con el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

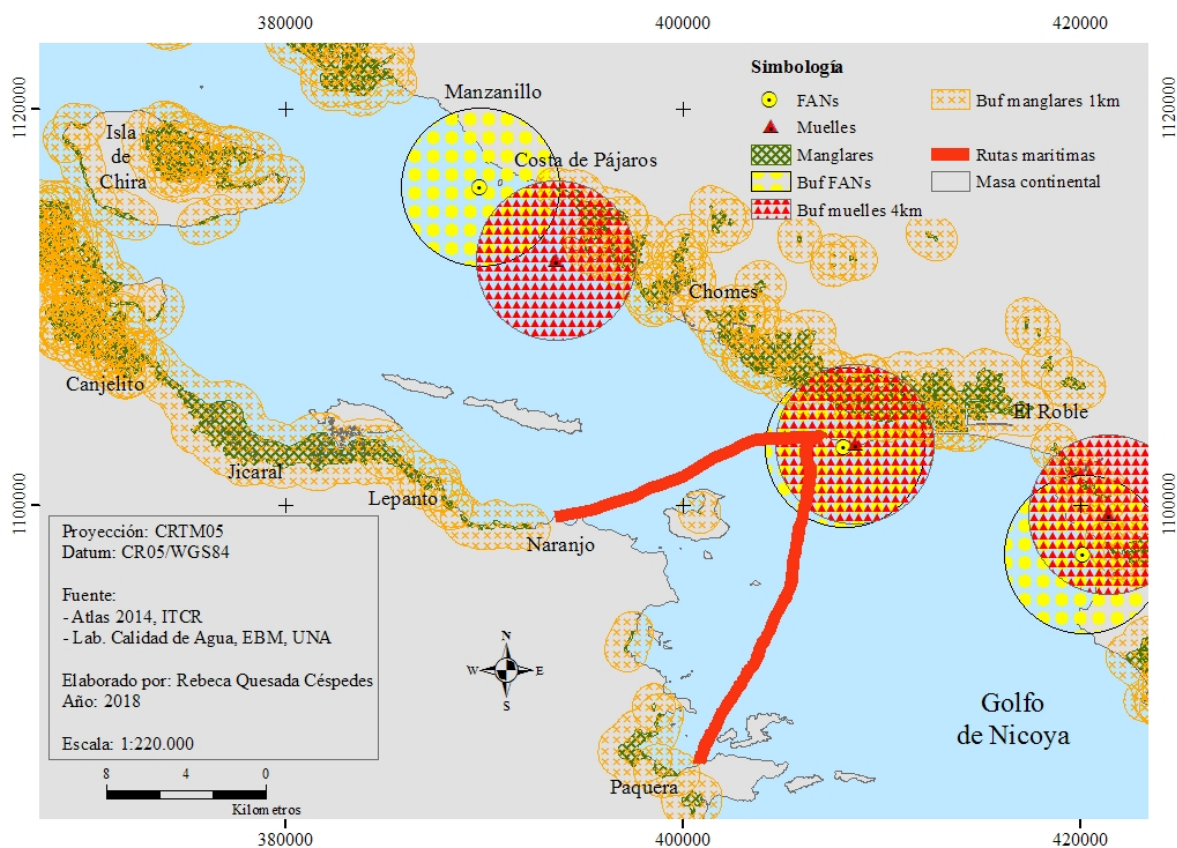


Figura 7. Sitios no compatibles con el cultivo de ostras

Las vías marítimas encontradas fueron las que realizan el transporte de ferry que tiene ruta Puntarenas - Playa Naranjo y el de Puntarenas – Paquera que se agregó un buffer de 1 km. Los muelles encontrados fueron la Terminal de Punta Morales, la Terminal de Cruceros y el Muelle de Caldera, a estos se les agregó un buffer de 4km. Con respecto a las Floraciones Algales Nocivas reportadas para el Golfo de Nicoya, se deben considerar tres lugares con reportes frecuentes pero con valores aceptables para el cultivo de ostras que fueron: Isla Pajarita, Muelle de Puntarenas y Caldera para éstas se generó un buffer de 4km alrededor del punto de monitoreo. Se adicionó un buffer de 1km a las zonas de manglar como sitios con condiciones aceptables. (Fig 7).

Identificación de sitios óptimos

La interpolación de cada factor permitió visualizar la variación de cada factor en el Golfo de Nicoya, las rampas de color para las interpolaciones así como para las reclasificaciones se estandarizaron para todas las variables (Fig 8).



Figura 8. Rampas de color de interpolaciones y de reclasificaciones

Parámetros

Para el caso de la temperatura, los valores máximos se presentaron en la parte interna con valores de 30,0 °C y los mínimos de 23,76 °C hacia la parte externa; los rangos de la reclasificación identifican a la mayor parte del golfo con temperaturas óptimas para el cultivo de ostras (Fig 9) (Anexo 1).

Los valores de los Sólidos Totales Disueltos (TDS) ubican los valores mínimos hacia la parte interna y máximos hacia la parte externa con valores entre 24 y 32 g/L; de acuerdo con la reclasificación, un poco más de la mitad del golfo presenta condiciones aceptables para el cultivo de ostras pero también presenta condiciones malas o limitantes (Fig 10) (Anexo 1).

La salinidad presentó valores entre 23 y 32 ppm con los valores mínimos hacia la parte interna y los valores máximos hacia la parte externa; de acuerdo con la reclasificación, el golfo presenta condiciones buenas y óptimas para el cultivo de ostras (Fig 11) (Anexo 1).

La clorofila a mostró variaciones de entre 0,03 hasta 1,69 mg/m³, con los mayores valores hacia la parte media del golfo que van disminuyendo hacia la parte interna y externa, con los valores mínimos en la parte externa; los resultados de la reclasificación muestran los sitios óptimos para el cultivo de

ostras hacia la parte interna y externa, mientras que la parte media se presentó como un sitio bueno (Fig 12) (Anexo 3).

Los valores de profundidad estuvieron entre 4 y 37 m, con los valores mínimos en la parte interna que iban en aumento hacia la parte externa; los rangos de acuerdo con la reclasificación indican que el golfo presenta condiciones entre aceptable, buena y óptima para el cultivo de ostras (Fig 13) (Anexo 1).

El oxígeno mostró los máximos valores en la parte media del golfo que fueron disminuyendo hacia la parte interna y externa; los rangos mostraron como los sitios óptimos las partes con los mayores valores de oxígeno (Fig 14) (Anexo 1).

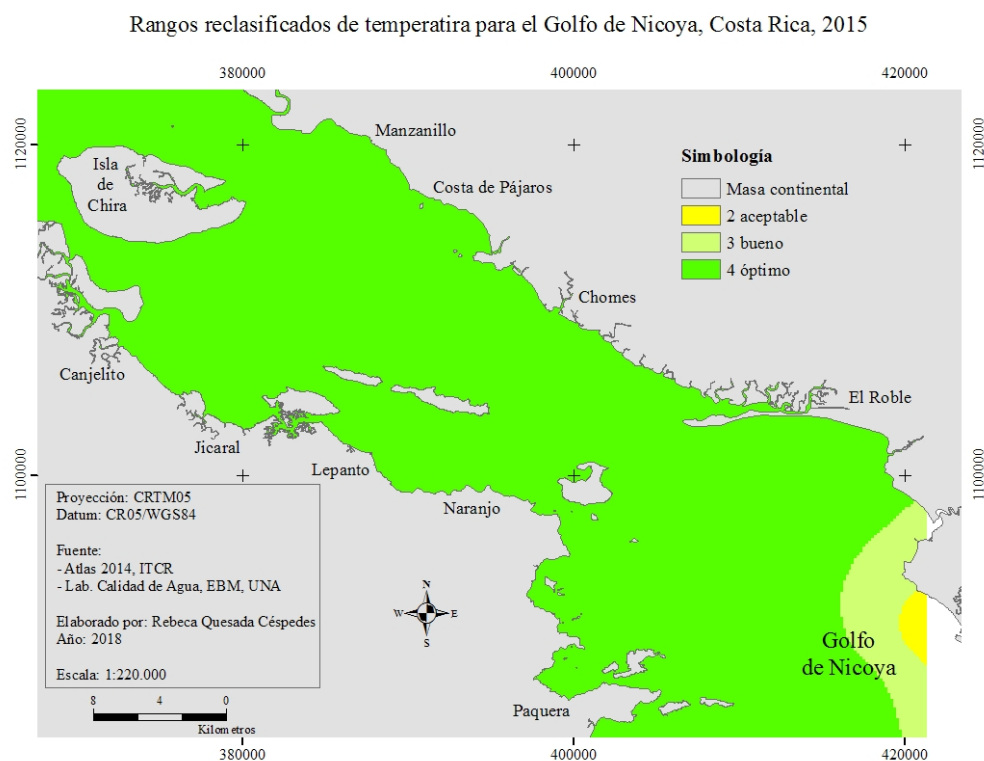
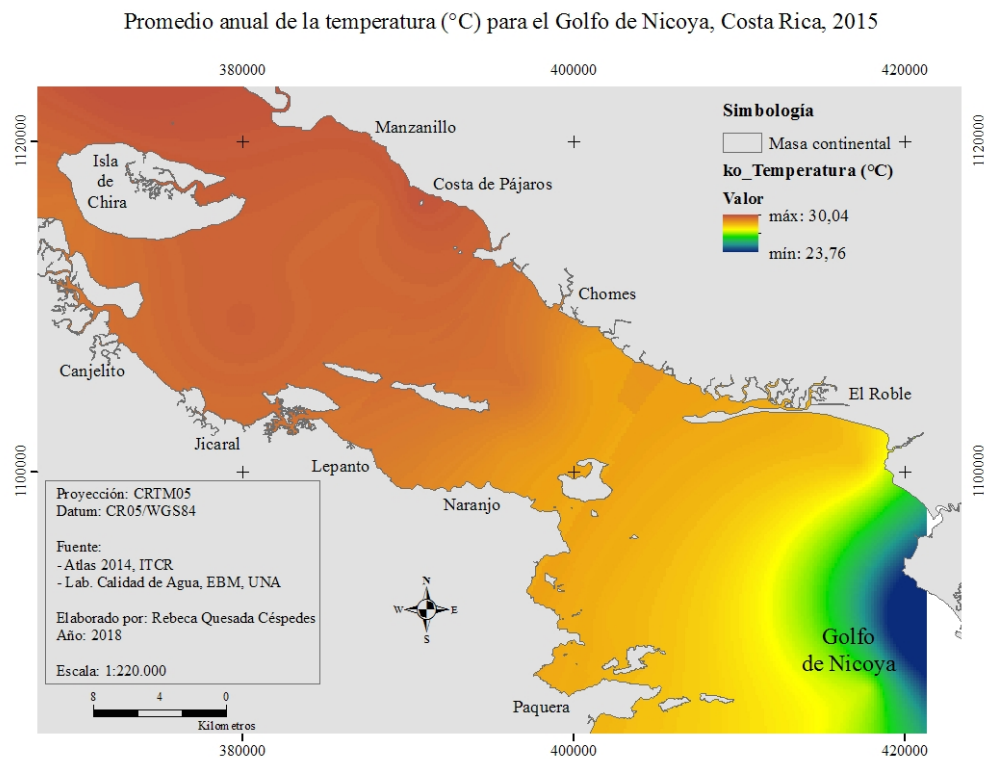
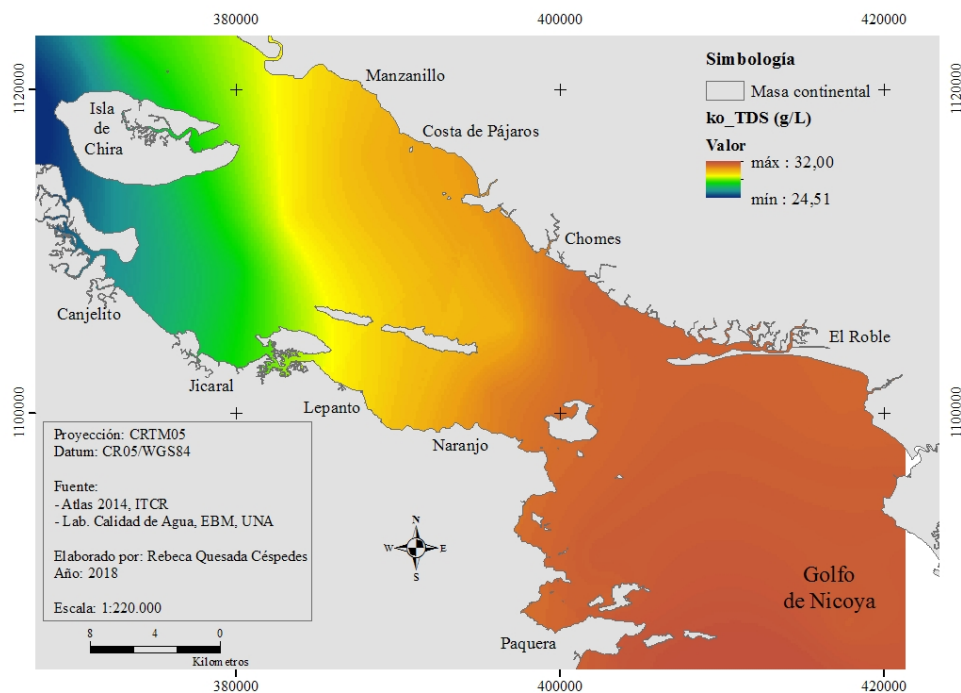


Figura 9. a) Valores interpolados de la temperatura en el Golfo de Nicoya 2015 y b) reclasificación de valores



Rangos reclasificados de TDS para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

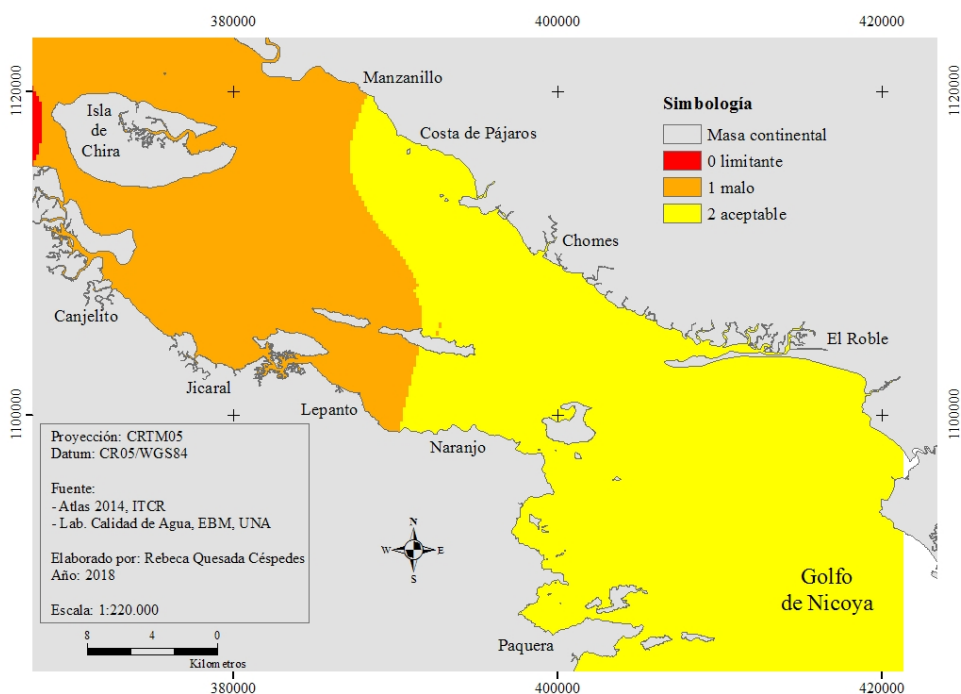
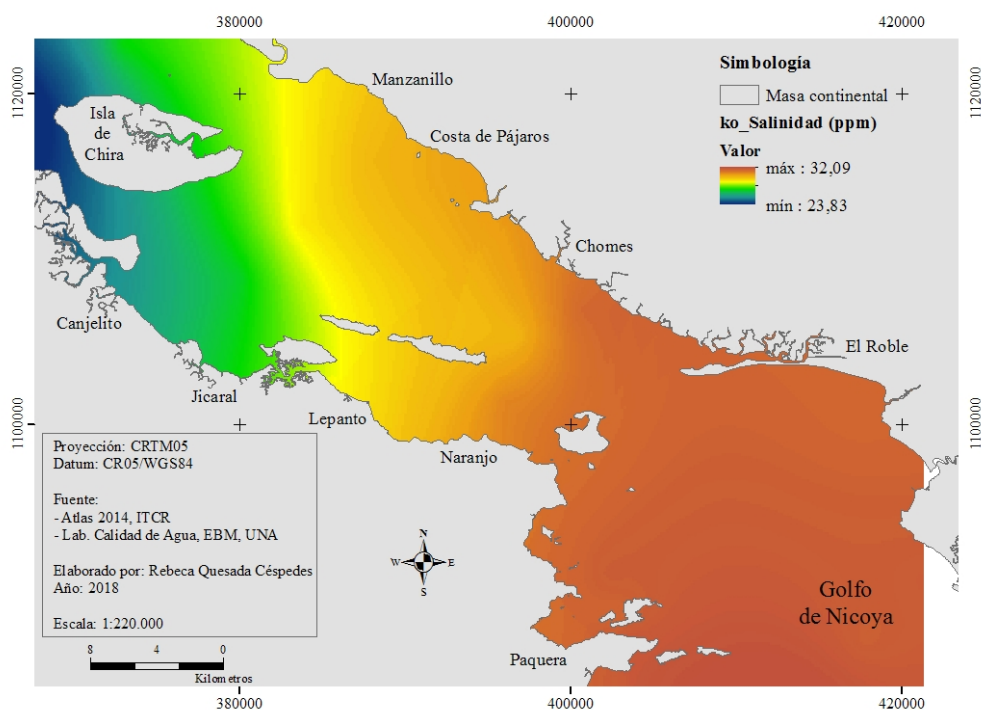


Figura 10. a) Valores interpolados de sólidos totales disueltos en el Golfo de Nicoya 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la salinidad para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de salinidad para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

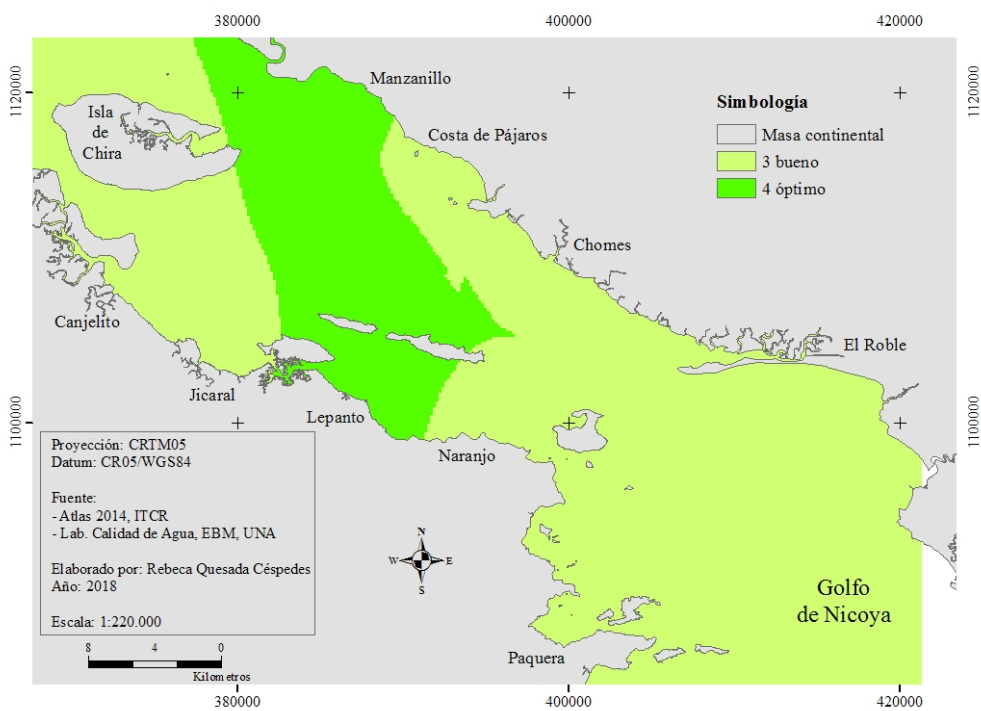
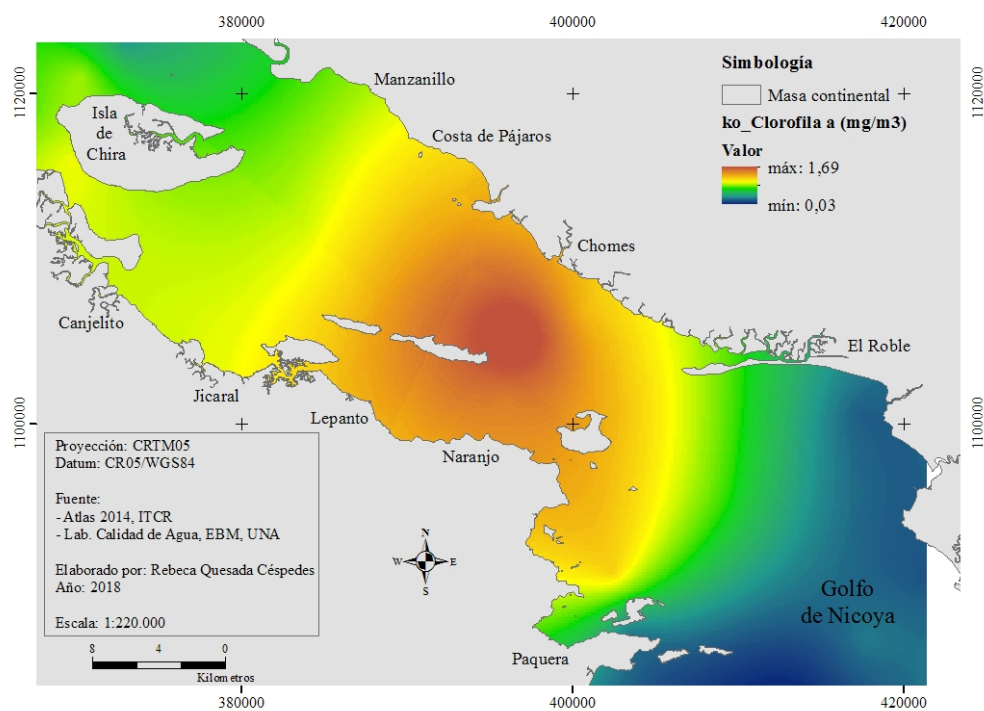


Figura 11. a) Valores interpolados de la salinidad en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la concentración de clorofila a (mg/m³) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de biomasa algal para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

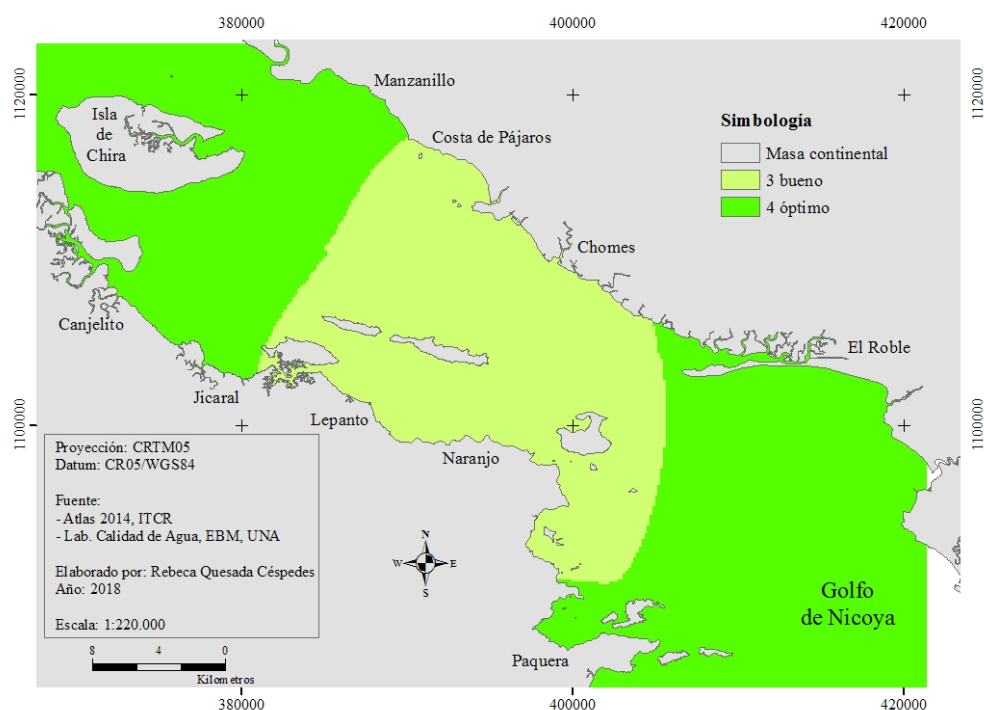


Figura 12. a) Valores interpolados de la clorofila a en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

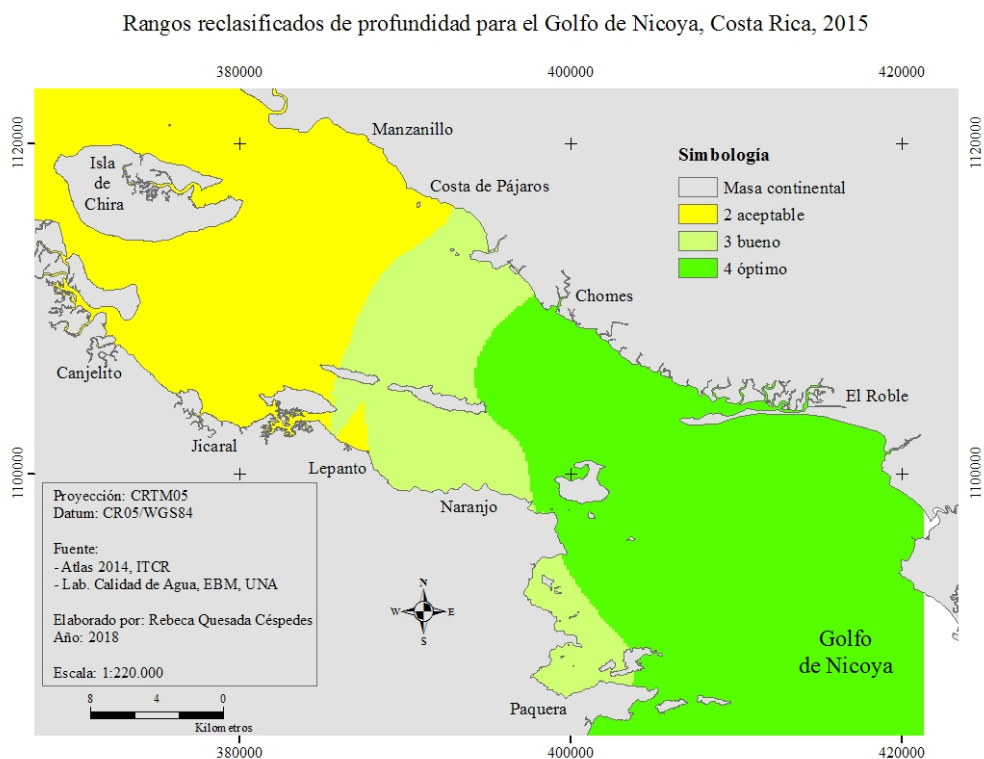
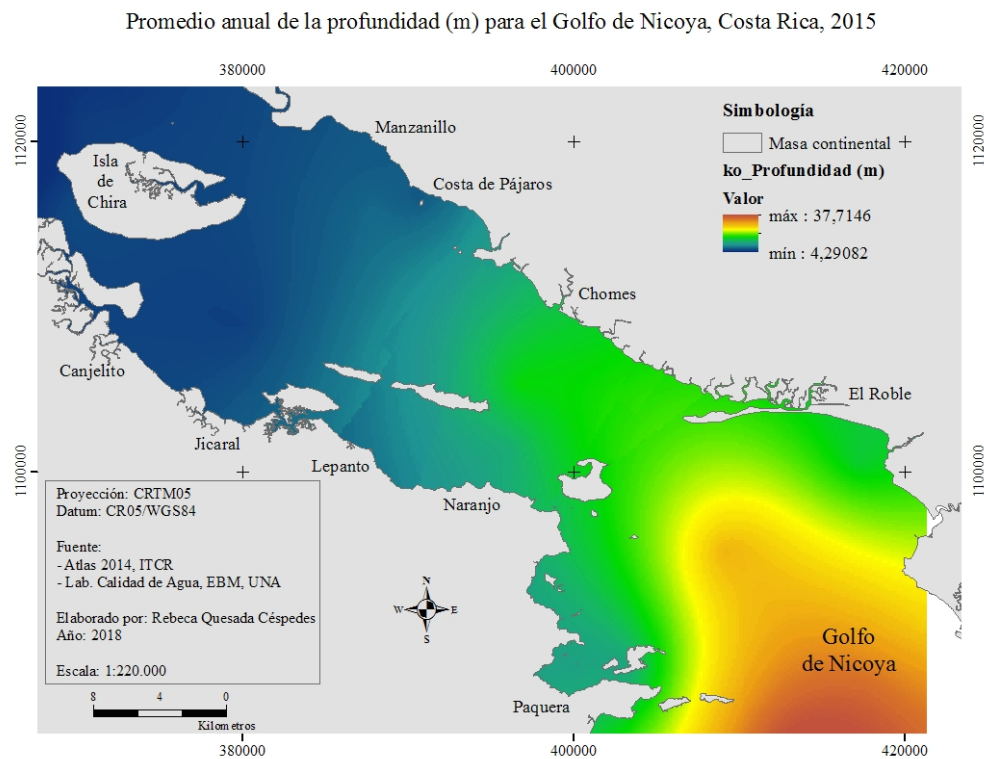
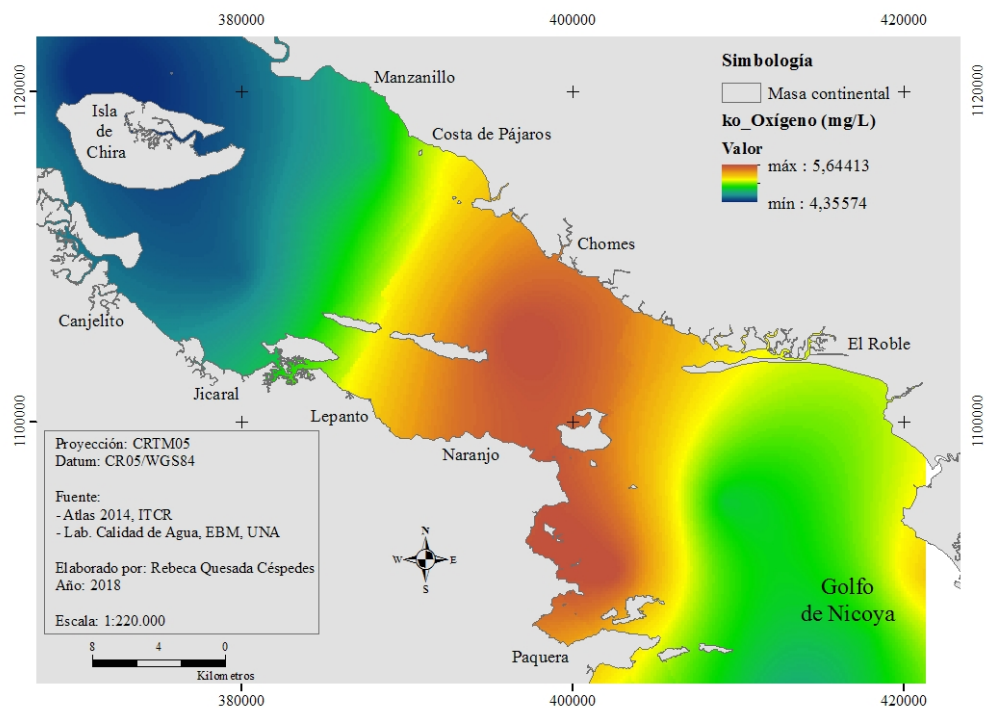


Figura 13. a) Valores interpolados de la profundidad en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual del oxígeno (mg/L) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de oxígeno para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

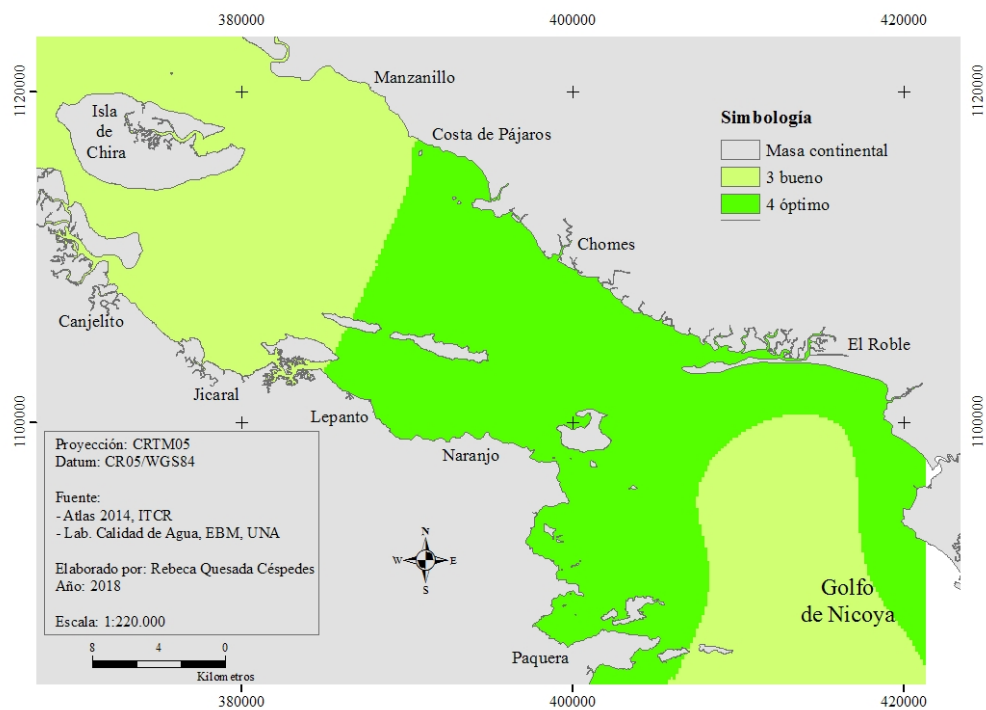


Figura 14. a) Valores interpolados de oxígeno en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Nutrientes

Los valores de amonio fueron mínimos (0,51 mmol/L) en la parte media y fueron aumentaron hacia la parte interna y externa con valores de hasta 0,72 mmol/L; de acuerdo con la reclasificación, todo el golfo presenta condiciones óptimas para realizar el cultivo de ostras (Fig 15) (Anexo 2).

La concentración de nitrito fue máxima en la parte interna con valores de hasta 1,930 mmol/L que fue disminuyendo hacia la parte externa con valores mínimos de 0,05 mmol/L; de acuerdo con los rangos de reclasificación, el golfo tiene condiciones buenas y óptimas para realizar el cultivo de ostras (Fig 16) (Anexo 2).

Los nitratos mostraron máximas concentraciones en la parte interna con valores de hasta 9,90 mmol/L que fueron disminuyendo hacia la parte externa con valores de hasta 0,29 mmol/L; todo el golfo presentó condiciones óptimas para el cultivo de ostras de acuerdo con la reclasificación (Fig 17) (Anexo 2).

La concentración de fosfatos fue máxima hacia la parte interna con valores de 6,76 mmol/L que fueron disminuyendo hacia la parte externa hasta valores de 0,67 mmol/L; de acuerdo con la reclasificación, en el caso de los fosfatos, el golfo presenta sitios con valores que pueden ser limitantes y malos para el cultivo de ostras, sin embargo también presenta sitios con valores aceptables (Fig 18) (Anexo 2).

Las concentraciones de silicatos en el golfo fueron máximas en la parte interna de hasta 146,80 mmol/L y mínimas hacia la parte interna con valores de 3,02 mmol/L; este factor no tiene mayor influencia en el crecimiento de las ostras, por lo que no se tienen reportes de concentraciones críticas, buenas u óptimas que puedan afectar el cultivo de ostras (Fig 19) (Anexo 2).

Otros

El pH tuvo valores mínimos de 8,01 en la parte interna que fueron aumentando hacia la parte externa con valores de hasta 8,32; de acuerdo con la reclasificación todo el golfo tiene condiciones buenas para el cultivo de ostras (Fig 20) (Anexo 2).

El Disco secchi presentó valores mínimos en la parte interna de hasta 0,41m que fueron aumentando hacia la parte externa hasta valores de 5,95m; de acuerdo con la reclasificación, la parte interna hasta la

parte media puede ser un factor limitante para el cultivo de ostras, de la parte media hacia la parte externa tuvo un valor de malo y la parte externa mostró valores de aceptable y bueno (Fig 21) (Anexo 1).

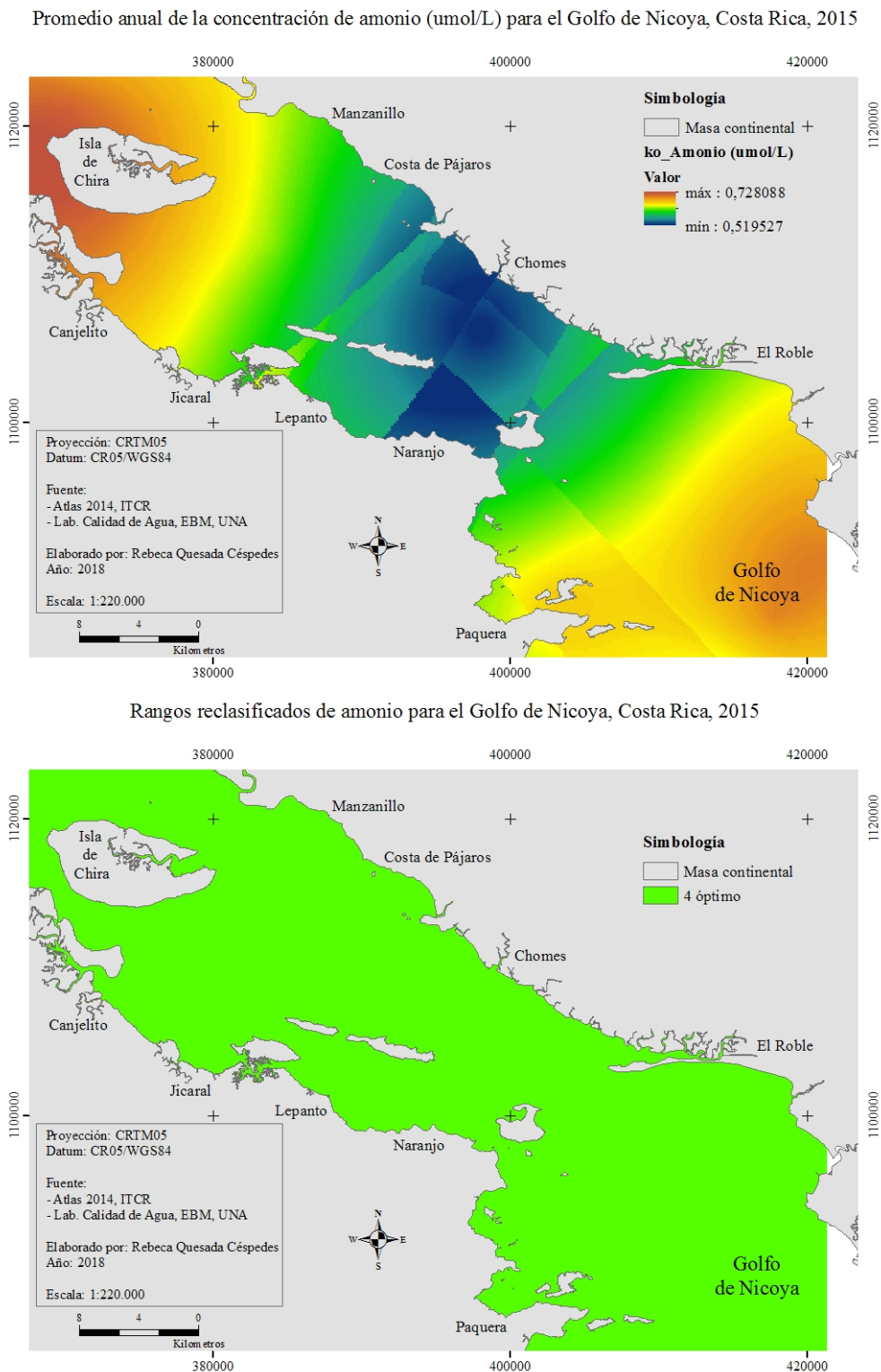
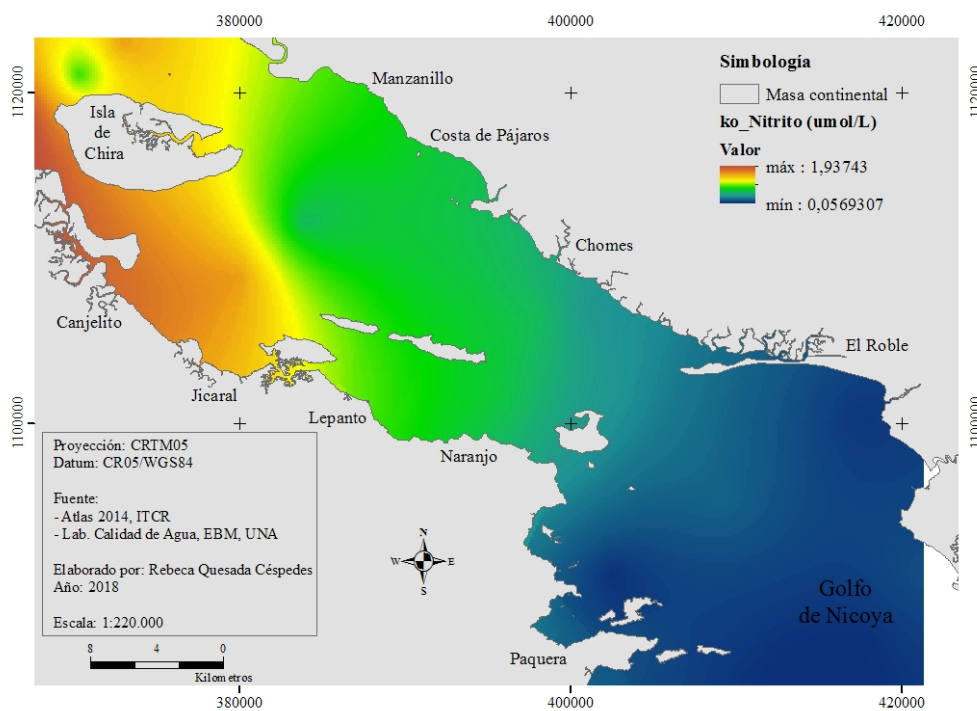


Figura 15. a) Valores interpolados de amonio en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la concentración de nitrito ($\mu\text{mol/L}$) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de nitritos para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

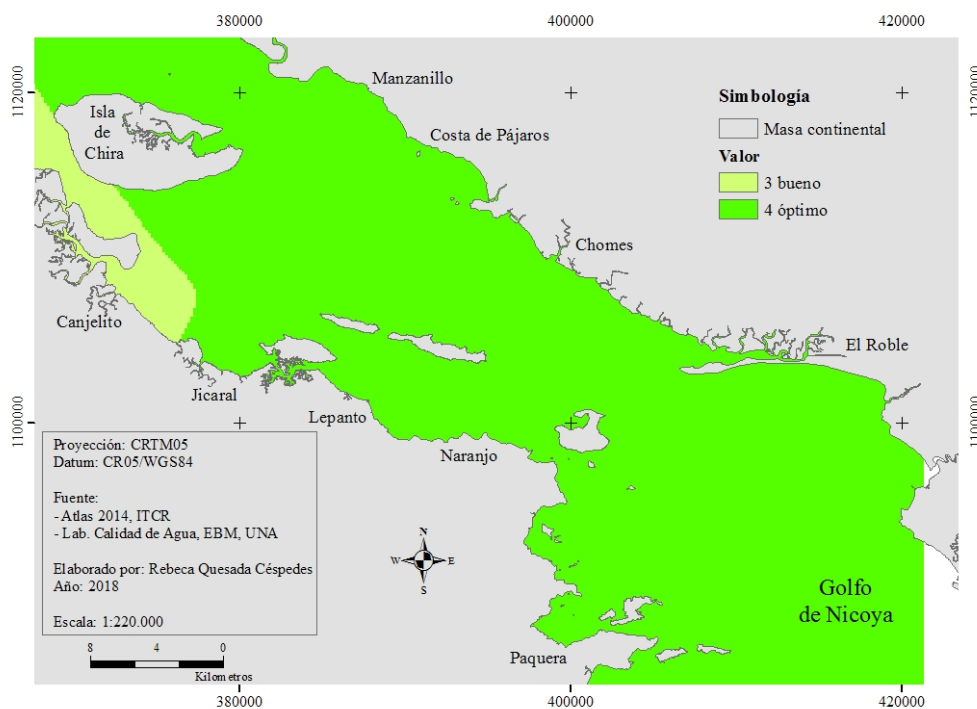
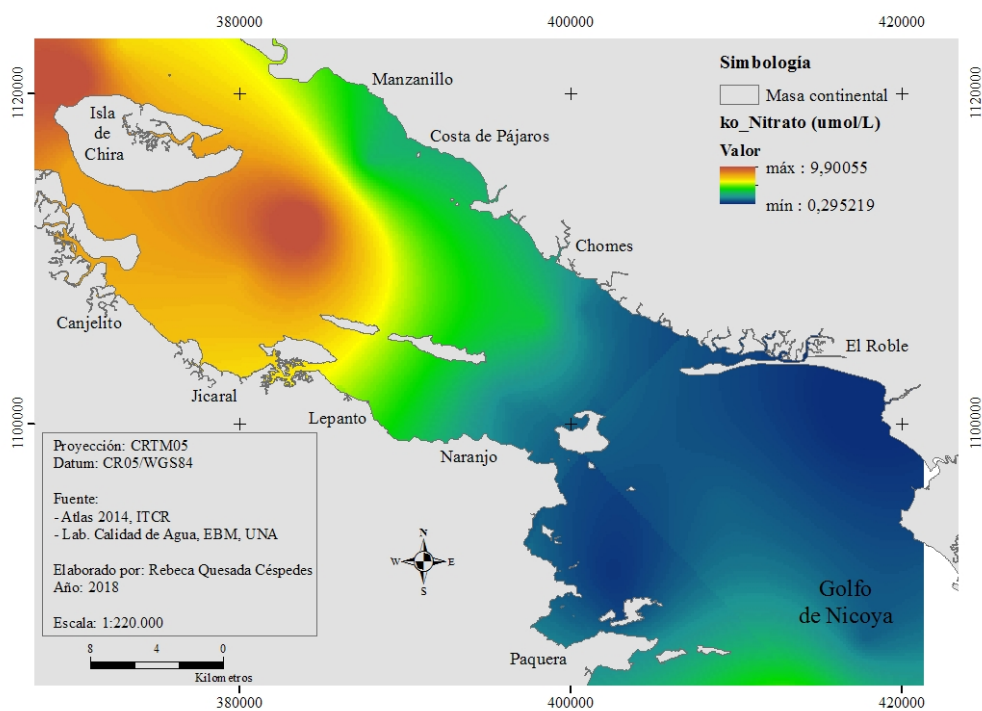


Figura 16. a) Valores interpolados de nitrito en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la concentración de nitrato (umol/L) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de nitratos para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

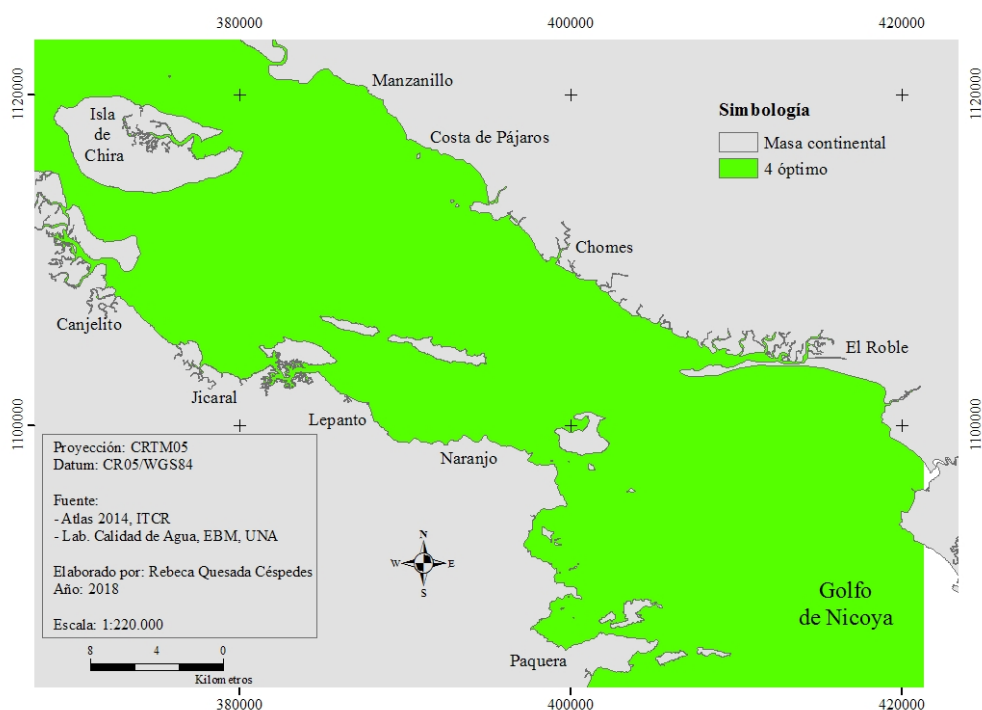
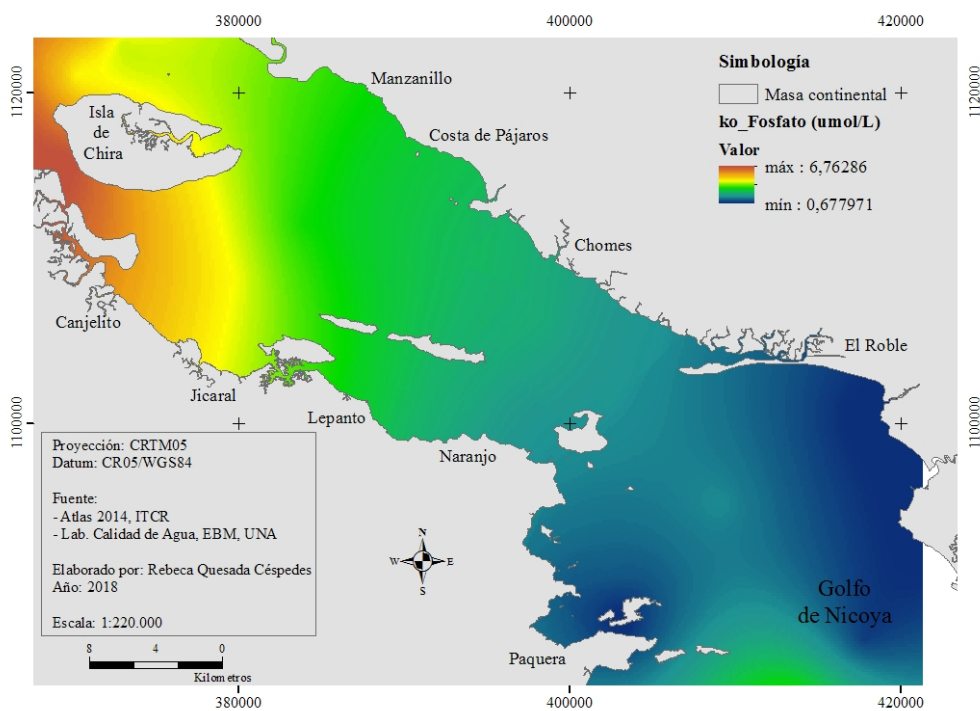


Figura 17. a) Valores interpolados de nitrato en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la concentración de fosfato ($\mu\text{mol/L}$) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de fosfatos para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

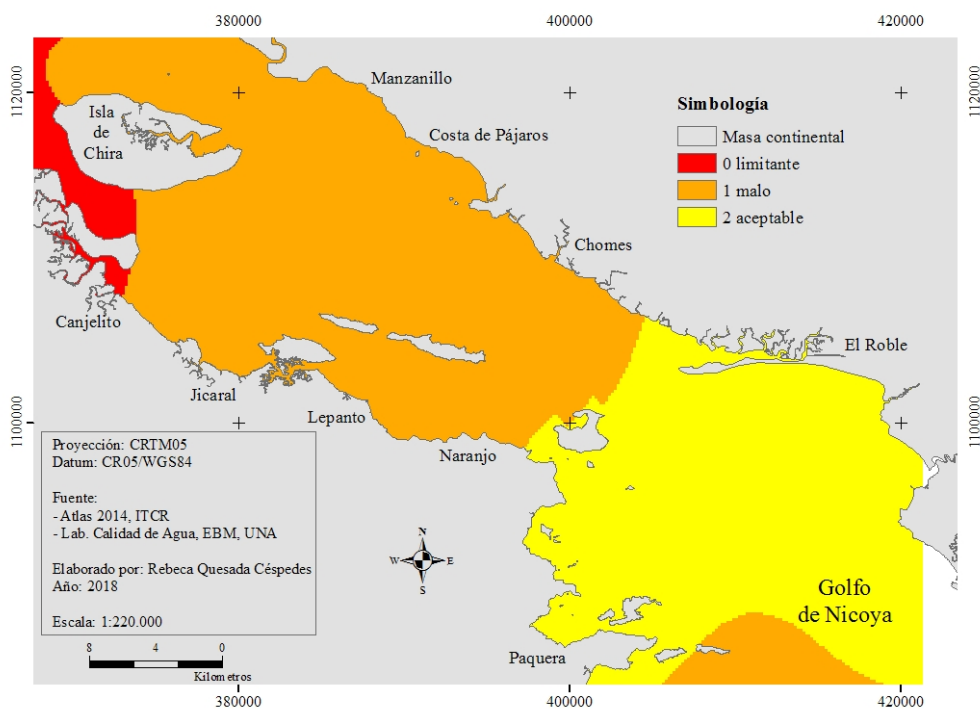


Figura 18. a) Valores interpolados de fosfato en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual de la concentración de silicatos (umol/L) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

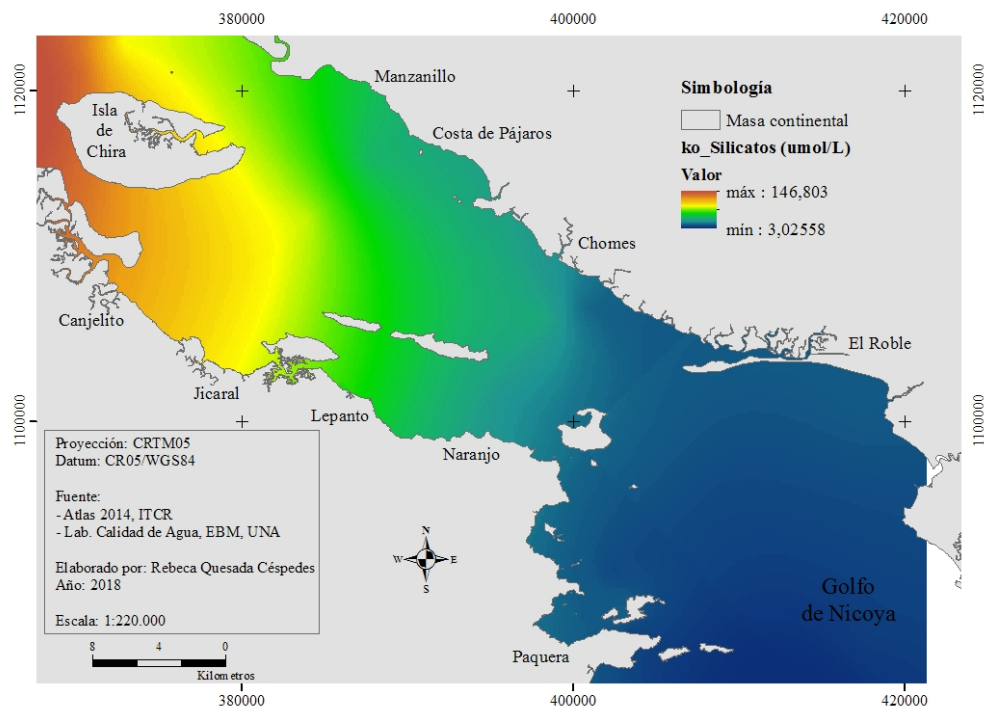
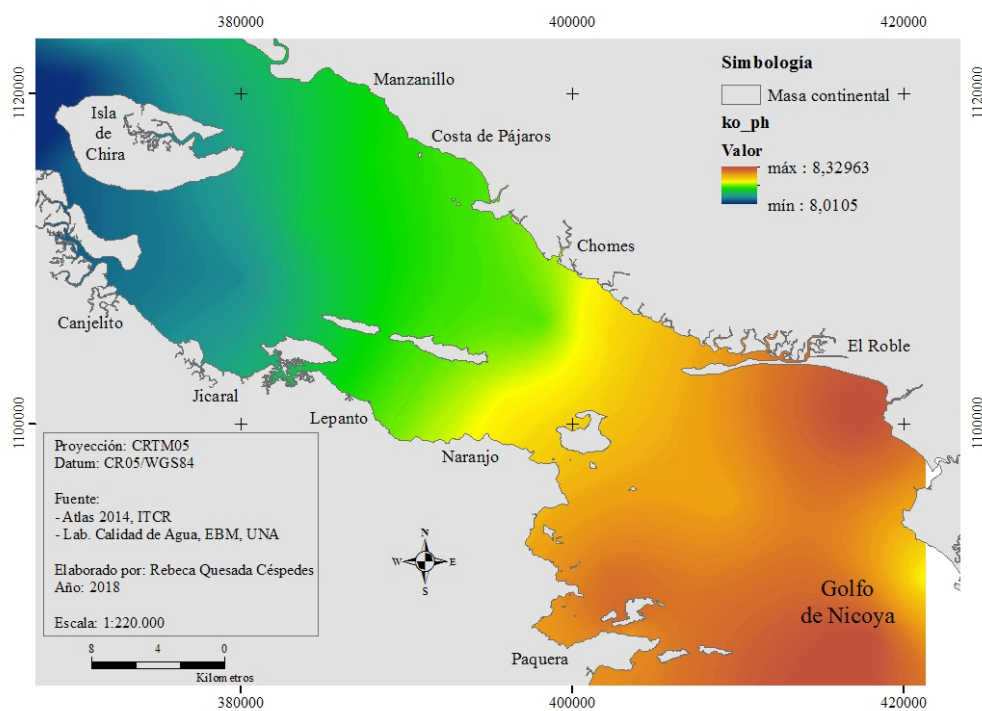


Figura 19. Valores interpolados de silicatos en el Golfo de Nicoya, 2015

Promedio anual del pH para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de pH para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

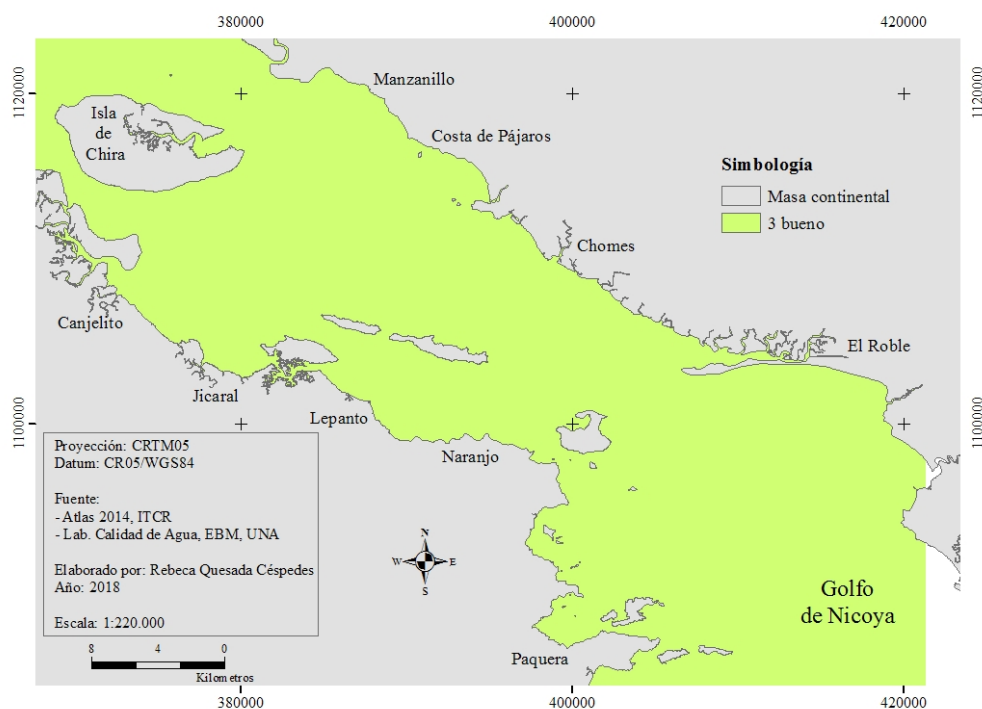
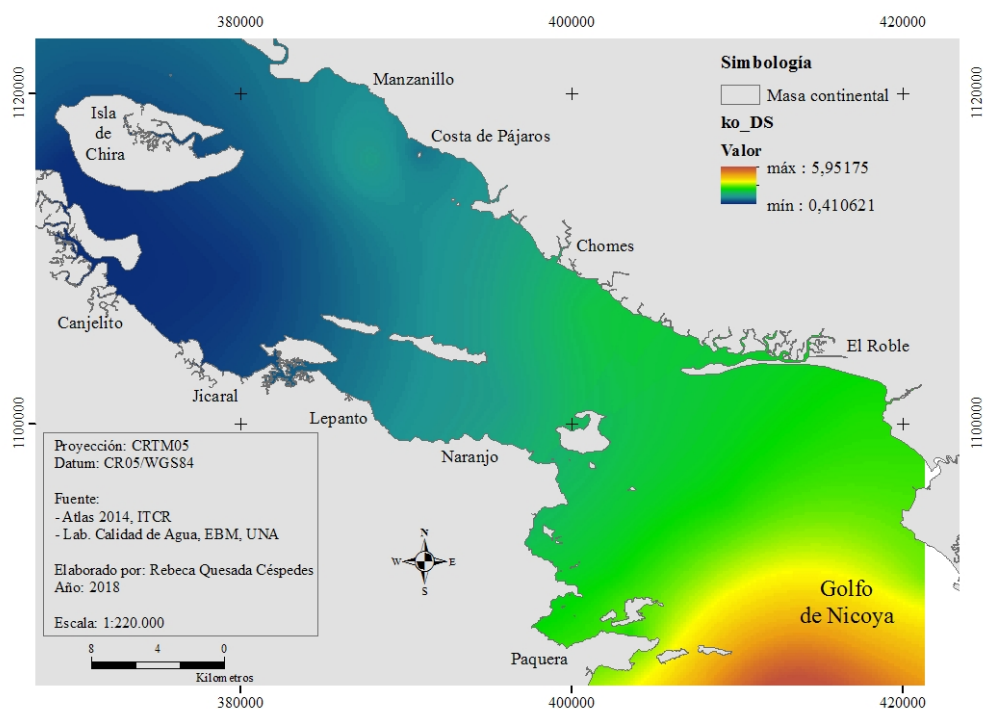


Figura 20. a) Valores interpolados de pH en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

Promedio anual del Disco Secchi (m) para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015



Rangos reclasificados de DS para el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

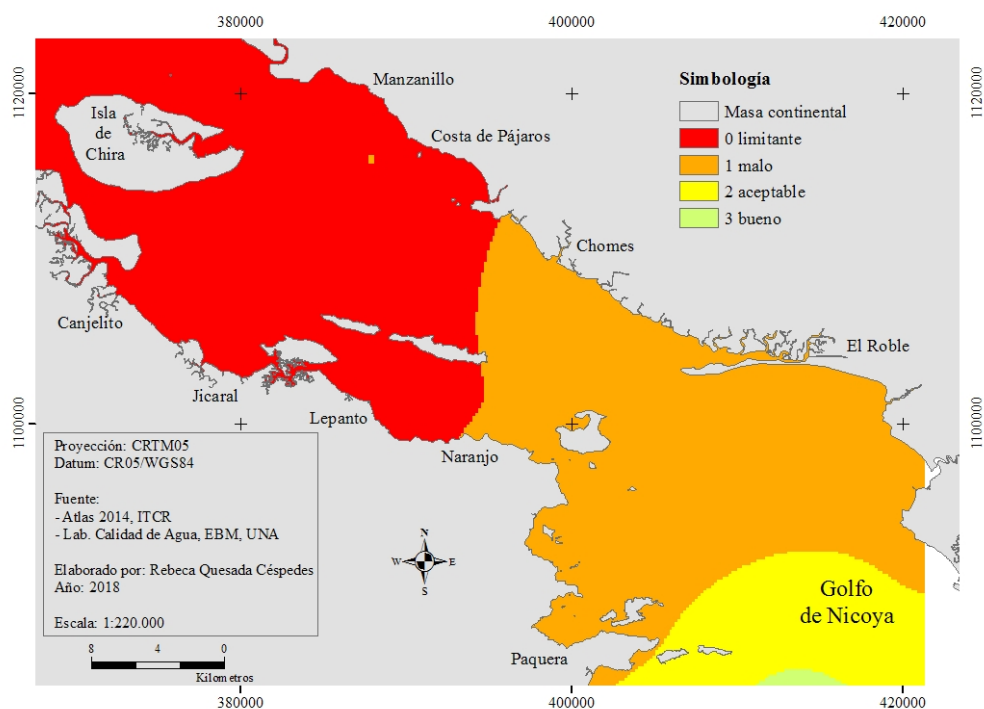


Figura 21. a) Valores interpolados de disco secchi en el Golfo de Nicoya, 2015 y b) reclasificación de valores

De acuerdo con los valores promediados de los factores, la mayor parte del Golfo de Nicoya presenta condiciones buenas para el cultivo de ostras, con una pequeña parte hacia el costado de Isla de Chira que da a la península, que presentó valores de aceptable (Fig 22).

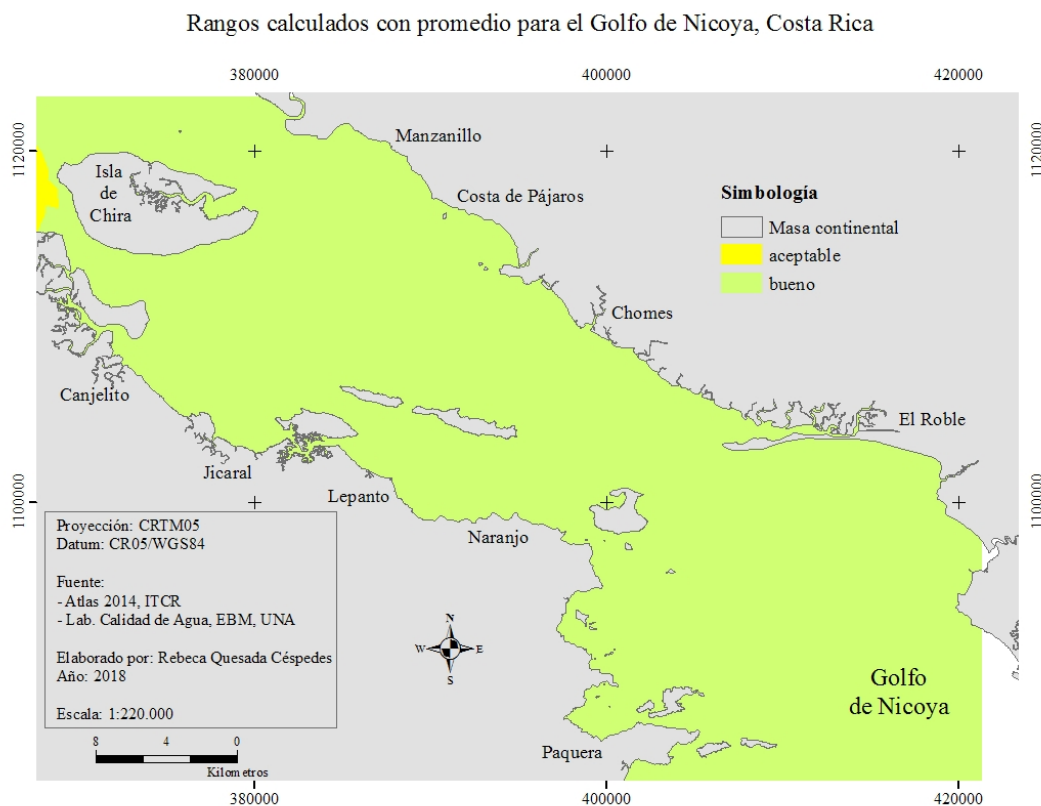


Figura 22. Valores promediados de acuerdo con los rangos en el Golfo de Nicoya

El mapa obtenido a partir de la ecuación generada por pesos y agregando los sitios definidos como no compatibles con la ostricultura, muestra un escenario teórico muy favorable para la actividad (Fig 23), con una pequeña porción del golfo con condicione óptimas, la mayor parte con condiciones buenas y pocos espacios definidos como limitantes o aceptables.

Idoneidad de sitios para el cultivo de ostras calculados con ecuación para el Golfo de Nicoya, Costa Rica

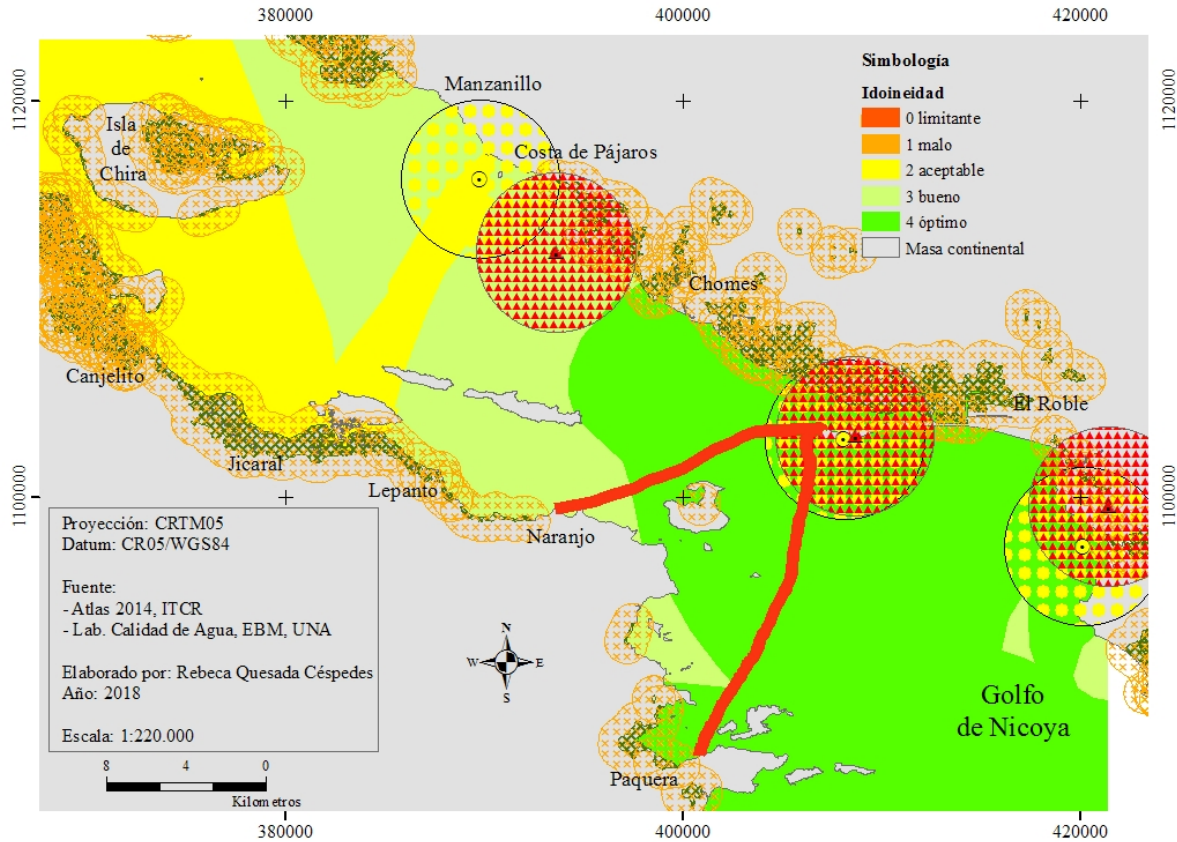


Figura 23. Idoneidad de sitios para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya

Al obtener resultados poco satisfactorios, hace que sea necesario pensar en alternativas, pues no todo el resultado de bueno puede ser considerado como tal.

Los resultados para DS así como para la profundidad, muestran variaciones de acuerdo con los datos que se defina trabajar, si se utilizan los valores mínimos o máximos, en ambos casos, las áreas adecuadas para el cultivo, varían (Fig 24) (Anexo 4).

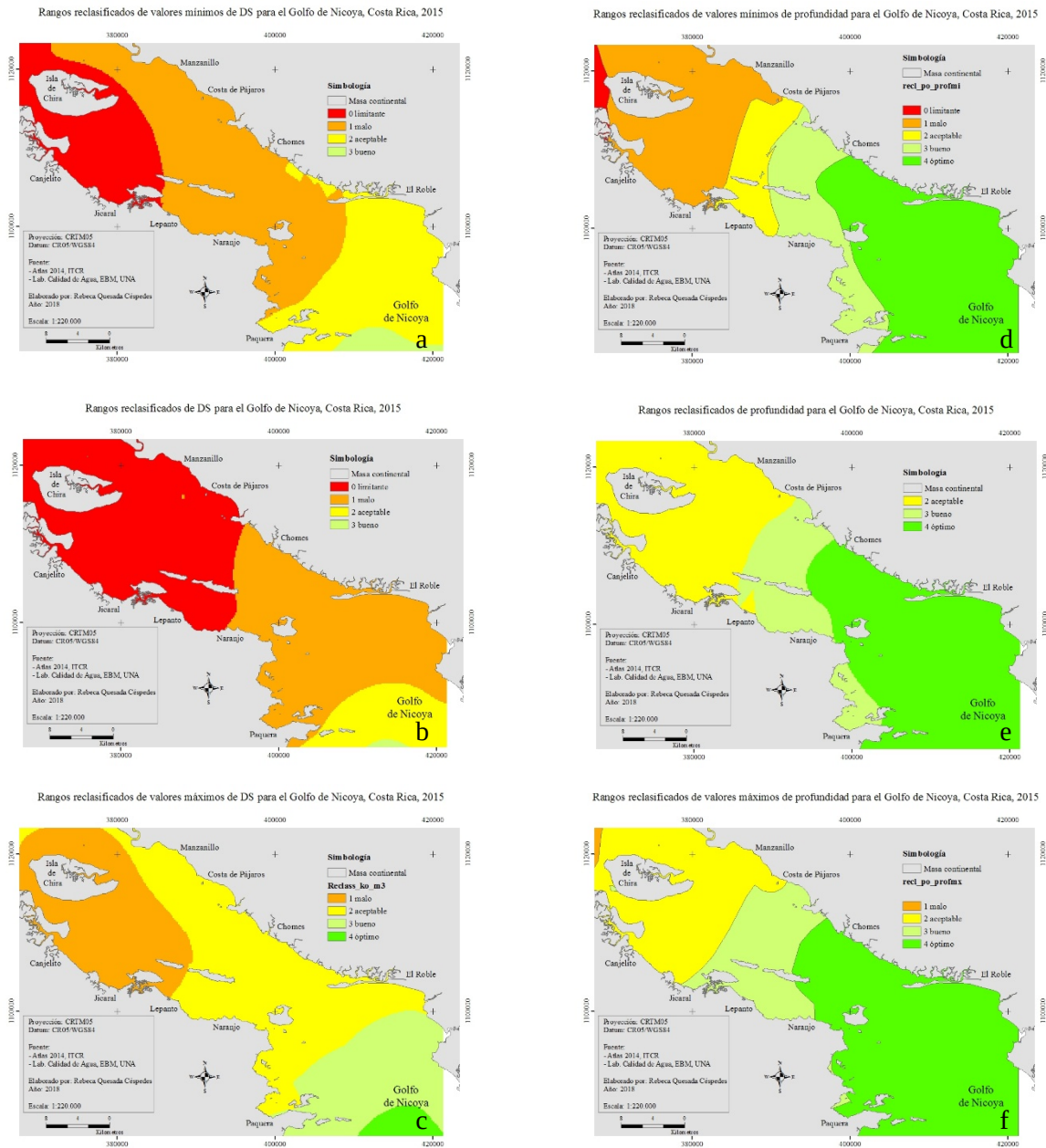
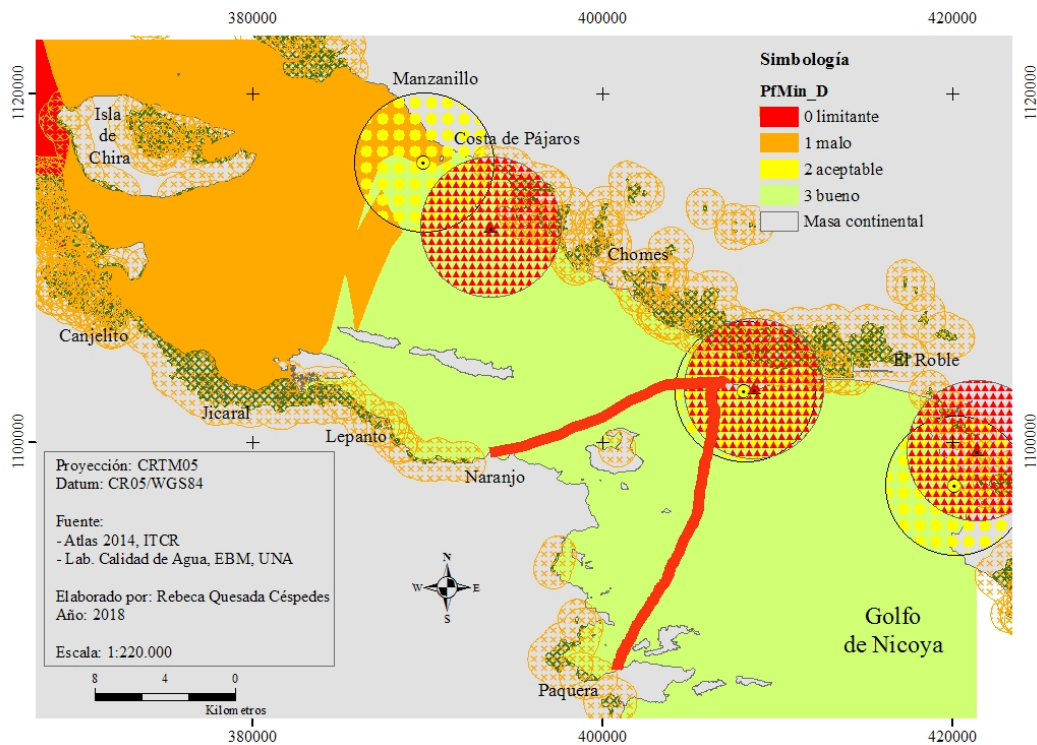
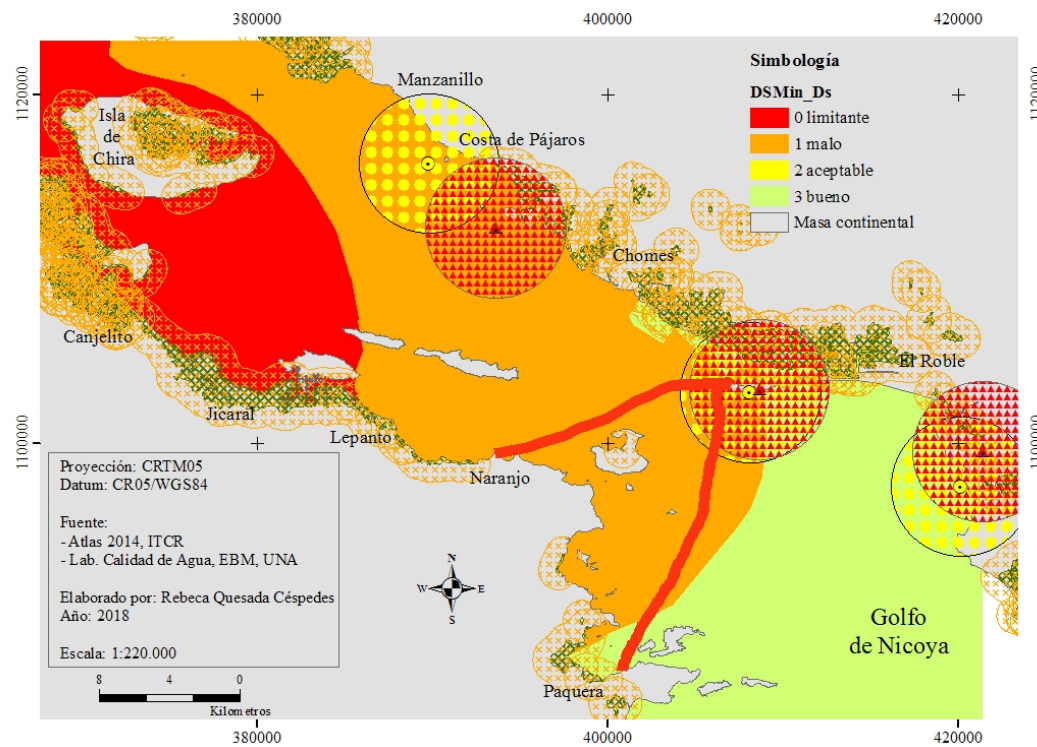


Figura 24. Comparación de valores mínimos, promedio y máximos de rangos de acuerdo con reclasificación para a-c) DS y d-f) profundidad



a

Idoneidad de sitios para el cultivo de ostras con valores mínimos de DS en el Golfo de Nicoya, Costa Rica



b

Figura 25. Mapas de idoneidad de acuerdo con valores mínimos de a) DS y b) profundidad

Al calcular los sitios óptimos a partir de los pesos e integrando el resto de factores dejando como factor limitante la profundidad (Fig 25 a) o el DS (Fig 25 b), se reducen los sitios óptimos para el cultivo, haciendo que para el caso del DS, la mayor parte del golfo tenga condiciones limitantes y malas y una menor parte con condiciones buenas, mientras que para el caso de la profundidad, la mayor parte del golfo tenga condiciones buenas y cerca de una tercera parte con condiciones malas para realizar la actividad.

Capítulo 5. Discusión, conclusiones y recomendaciones

Discusión

Definición de rangos

La ostra japonesa es un molusco originario de oriente que se cultiva en muchos países por lo que se ha convertido en cosmopolita. Esto ha hecho que aumenten las publicaciones al respecto y también ha variado sus rangos de tolerancia, sin que exista necesariamente publicaciones específicas al respecto (Thomas, Pouvreau, Alunno-Bruscia, Barillé, Gohin, Bryère & Gernez, 2016).

Para algunos factores se encontró mayor cantidad de publicaciones como es el caso de la temperatura (Nayar & Mahadevan, 1987 y Matto, Ivanina, Ullstad, Beniash & Sokolova, 2013), salinidad (Nayar & Mahadevan, 1987 y Shumway, 1996), clorofila (Moreno, Quintero & López, 2010 y Pérez et al., 2016), oxígeno (Timmons *et al.* 2009 y Villareal, Buitrago & Lodeiros, 2004) y nitrato (Pérez et al., 2016 y Camargo et al, 2005).

Algunas variables no tienen mayor influencia en cuanto al crecimiento o mortalidad de la ostra como fue el caso de los silicatos, por lo que esta variable, se tomó en cuenta para describir el lugar pero no para la reclasificación pues no se encontró literatura que permitiera distinguir entre concentraciones óptimas, buenas, malas o limitantes. Sin embargo, el sílice es un micronutriente constituyente del esqueleto de radiolarios y diatomeas (parte del fitoplancton), aportando estas últimas, la mayor cantidad de alimento a los bivalvos en el medio natural (Villanueva, 2011).

Las FANs no se incluyeron en los rangos debido a que no se puede generalizar, existen reportes para la costa Pacífica del país de al menos 13 taxones de dinoflagelados que producen FAN. Si bien el fitoplancton se encuentra en el primer eslabón de la cadena alimenticia, en concentraciones muy altas y dependiendo de la especie, puede provocar daños o la muerte a otros organismos; su proliferación se puede ver favorecida por algunas temperaturas, salinidades y nutrientes (Calvo, Berrocal & Boza, 2016).

La definición de los rangos puede ser uno de los puntos más sensibles debido a que la precisión de los resultados dependerá de la rigurosidad con que sea valorada esta variable, así como los valores para la reclasificación; esta etapa es de las que puede requerir más tiempo y revisión bibliográfica y aun así no garantiza resultados exitosos.

Cálculo de peso de los factores

El cálculo de peso de los factores puede causar grandes variaciones en el resultado final, por lo que resulta importante generarlo de la mejor manera, sin embargo no existe una única forma de obtenerlo, puede depender del tipo de personas a las que se entreviste y a la forma como se completen los datos; Por lo que pequeñas variaciones en el peso que se asigna a un factor puede tener efectos significativos (Radiarta *et al.*, 2008).

En este caso la consulta a expertos no dio los resultados esperados: tenía muchos factores (temperatura, salinidad, TDS, oxígeno, biomasa algal, amonio, nitrito, nitrato, fosfatos, pH y DS) dificultando su cálculo, no permite dar mayor o menor peso a un factor ya que se definió en una puntuación de 0 a 100 para cada factor que luego se obtuvo una proporción con base a un valor de 4.

Algunos factores como la profundidad puede limitar el cultivo de ostras con el sistema de long line, por esta razón se decidió dentro de la ecuación, excluir totalmente los sitios que de acuerdo con la reclasificación tuvieran un valor de limitante o malo. Al definir la profundidad como un factor limitante y realizar pruebas con su valor, permite apreciar lugares que en principio resultaron buenos para el cultivo, pasan a la categoría de limitante o malo que podría ser lo más cercano con la realidad.

Sitios no compatibles

De las bases de datos examinadas, los factores que se definieron como no compatibles con el cultivo de ostras fueron dos: rutas vía marítima y ocurrencia de FANs. Las rutas marítimas son espacios públicos definidos para la navegación, por lo que su obstrucción con un proyecto de cultivo no es viable.

Las FANs son un evento que se da por diversas razones, sin que exista claridad al respecto, no siempre ocurren, ni son de la misma intensidad ni tampoco es la misma especie la que la ocasiona. De acuerdo con publicaciones de Calvo et al, 2016, para el Golfo de Nicoya, cerca de la Isla Pajarita, hubo una floración ocasionada por *Prorocentrum mínimum* que alcanzó una concentración de 3.147.500 Cél/L, esta especie puede provocar mortalidades en animales adultos (Shumway, 1990) y cerca del muelle en Puntarenas se reportó una floración de *Alexandrium monilatum* con una concentración de 3.371.150 Cél/L, esta especie reduce el crecimiento (Shumway, 1990). Si bien se tienen reportes para los lugares monitoreados, no se tiene certeza del momento que se presentará una floración, por lo tanto se recomienda evitar los sitios monitoreados para el cultivo de ostras, que es de los que se tienen registros; sin embargo, las floraciones no son estáticas, ni tienen patrones definidos de desplazamiento por lo que puede ser incierta su manifestación. Para el caso de las FANs, los lugares donde se realiza el monitoreo es por la frecuencia con que ocurren las floraciones en estos sitios, por lo que se aplicó un buffer de 4km de radio en estos puntos de monitoreo.

En las bases de datos examinadas, no se evidencia datos de varias rutas marítimas como: la lancha de transporte desde Puntarenas hasta la Isla de Chira, desde la Isla de Chira hacia Costa de Pájaros, de embarcaciones hacia el muelle de la Liga de la Caña ubicado en Punta Morales, desde Puntarenas hacia Isla Venado o Isla Caballo que son rutas muy frecuentadas y que se debe tomar los datos para incluirlos. También se debe incluir los puntos donde se ubican los muelles: salida del ferry en Puntarenas, Ferry en Paquera y en Playa Naranjo y para éstos agregar un buffer.

Identificación de sitios óptimos

Los resultados sobre los sitios óptimos para el cultivo de ostras permiten identificar para cada variable, los sitios con mejores condiciones para el cultivo de ostras. Se aprecia que la mayor parte del Golfo de Nicoya presenta características óptimas para el caso de la temperatura, de acuerdo con los rangos

establecidos (Nayar & Mahadevan, 1987), esta variable no permite por lo tanto, descartar sitios dentro del golfo.

En el caso de los sólidos totales disueltos y de acuerdo con Bernard (1983) la mayor parte del golfo presenta condiciones aceptables y en menor proporción, condiciones malas y limitantes, permitiendo ser una cualidad para descartar sitios, sin embargo, su variación a lo largo del año puede reducir el crecimiento de las ostras en ciertas épocas.

Los resultados de la salinidad, de acuerdo con Nayar & Mahadevan (1987), tampoco permiten descartar lugares debido a que el golfo fue catalogados como bueno u óptimo para realizar la actividad, mismo resultado que se obtuvo para la biomasa algal o clorofila a (Moreno, Quintero & López, 1987). Bajas salinidades que se presentan durante la época lluviosa, hacen que se suavice la concha, haciéndola más vulnerable a quebraduras por parte de depredadores.

La profundidad categorizó la mayor parte del golfo con condiciones buenas u óptimas y otras partes como aceptables, haciéndolo un factor decisivo para descartar sitios.

El oxígeno tampoco resultó ser un factor decisivo para el descarte de sitios en el golfo al presentar todo el área con condiciones buenas u óptimas (Timmons *et al.*, 2009); de forma similar se presentó con el pH que resultó tener buenas condiciones para toda el área (Nayar & Mahadevan, 1987).

En el caso de los nutrientes, para la concentración de amonio, nitrito y nitrato el golfo resultó tener buenas u óptimas condiciones descartándolo como factor determinante (Barbieri, Marques, Vigilar, Buhner & Tegen, 2014 y Spotte, 1979) para el cultivo de ostras.

Los fosfatos resultaron con condiciones limitantes, malas o aceptables (Moreno, Quintero & López, 2010) por lo que sí sería un factor determinante para el descarte de sitios. Los fosfatos forman los compuestos orgánicos por lo que las excretas de animales o sus restos, van a formar parte de estos nutrientes que también son necesarios para que los organismos puedan generar estructuras.

El disco secchi podría ser otro factor limitante ya que de acuerdo con los resultados, gran parte del área resultó tener condiciones limitantes y malas para el cultivo y una pequeña porción obtuvo condiciones aceptables o buenas (Moreno, Quintero & López, 2010). Este factor es un indicador del grado de turbidez del agua y se relaciona con la cantidad de luz que puede penetrar hacia el mar. Durante la

época lluviosa, mucha materia orgánica es arrastrada hacia el golfo haciendo que se reduzca el DS, dificultando o impidiendo al fitoplancton llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

Debido a que muchas de las variables presentaron condiciones favorables para el cultivo, el panorama general resultó ser de bueno y aceptable al calcular el promedio de las variables, situación similar se presentó al realizar los cálculos a partir de la ecuación de pesos, haciendo que al final los resultados indiquen que para el cultivo de ostras en sistema de long line, gran parte del golfo tiene buenas condiciones para realizar la actividad.

Al definirse el DS y la profundidad como factores limitantes para realizar la actividad, el golfo presentó panoramas muy distintos, de acuerdo con el DS, gran parte del golfo tiene condiciones limitantes o malas para la actividad (Moreno, Quintero & López, 2010) y de acuerdo con la profundidad, se presenta una mayor parte del golfo con condiciones buenas pero resultó ser más certera al generar el rango hacia la parte interna con condiciones malas. Se debe resaltar que los rangos utilizados para el disco secchi, están basados en valores sobre eutrofia, que es necesario para el fitoplancton y que bajo condiciones de poca luz o bajo DS, impide la fotosíntesis pero un bajo DS también puede representar altas concentraciones de materia orgánica que puede ser aprovechada por las ostras como alimento.

Si bien la herramienta requiere información, sus resultados serán más fiables, en la medida en que mejores datos se integren a la misma facilitando la toma de decisiones (Silva, Ferreira, Bricker, DelValls, Martín-Díaz y Yáez, 2011). Para obtener resultados de mayor precisión se requiere integrar más series temporales.

El uso de herramientas SIG mostró ser útil para la toma de decisiones en acuicultura, permitió identificar sitios con las condiciones óptimas para el cultivo de ostras en el Golfo de Nicoya, información necesaria para los tomadores de decisiones (Cho *et al.*, 2010 y Suplicy, Novaes, Rupp, Novaes, Garbossa, Souza, Guzenski, da Costa, Silva & dos Santos 2015).

Conclusiones

- Es necesario realizar estudios específicos en la zona de interés para adecuar los rangos óptimos de la especie al Golfo de Nicoya y para las ostras adaptadas a las condiciones del país; al ser una especie cosmopolita, las referencias son amplias en cuanto a los rangos que puede soportar este organismo
- El cálculo de los pesos de los factores debe ser de especial atención pues es lo que al final tiene mayor valor en el resultado. De acuerdo con la metodología aplicada, los mapas de las interpolaciones describen características y la reclasificación agrupa según los criterios, pero al final, el resultado se basa en una ecuación, por lo que su obtención requiere de una metodología rigurosa.
- En los sitios que se definieron como no compatibles con el cultivo de ostras, debe respetarse la posición para evitar conflictos de uso
- La variable DS y profundidad resultaron ser factores determinantes para la selección de sitios óptimos para el cultivo de ostras en sistemas de long line.
- Los resultados no pueden tomarse como definitivos al ser los valores utilizados datos promedios de un año, debido a que, las condiciones pueden variar de un año para otro, por lo que puede ser información no tan confiable, todavía más si el año que se utilizó es niño o niña
- No se tiene en el país definido un marco para el Ordenamiento Espacial Marino que delimite las diferentes actividades que se pueden realizar en sus aguas, lo que puede generar conflictos de interés entre las diferentes personas que hacen uso y los potenciales usuarios
- Se evidencia que el uso de los SIG usados de forma adecuada, pueden facilitar la tarea a los tomadores de decisiones al implementar metodologías como esta en la acuicultura para el ordenamiento espacial marino

Recomendaciones

- Los análisis sobre FANs deben ser permanentes en un sistema de cultivo, no solo por las repercusiones a los animales, sino también a la salud humana
- Socializar la ecuación para ajustarla ecuación de acuerdo con el criterio de expertos
- Repetir los cálculos a partir de información específica a la zona de estudio, para esto se requiere generar información específica sobre tasas de crecimiento de acuerdo con los parámetros físico-químicos en diferentes partes del golfo para adecuar los rangos a la zona de estudio
- Utilizar promedios de un mayor rango de datos, dos o tres años o más si fuera posible, para tener mayor certeza con los resultados que se obtengan
- Se requiere obtener valores de profundidad más detallados que permitan descartar sitios

Bibliografía

Aguilar-Manjarrez, J. & J.M. Kapetsky. 2013. Current issues, status and applications of GIS to aquaculture. In: Meaden G.F., Aguilar-Maanjarrez J. (eds). *Avances in Geographic Information Systems and Remote Sensing for Fisheries and Aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 552. 98 pp. Rome.

Barbieri, E., H. Marques, A. Vigilar, M. Buhrer & A. Tegen. 2014. Concentrações do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em áreas de engorda de ostras no município de Cananeia-SP, Brazil. 2014. *O Mundo da Saúde, São Paulo* 38 (1): 105-115.

Bardach, J., J. Ryther & W. McLaren. 1986. *Acuicultura: crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce*. A.G.T. Editor, S.A. México. 741 pp.

Bernard, F. 1983. *Physiology and the Mariculture of some Northeastern Pacific Bivalve Molluscs*. Donald F. Ltd. Canada. 24 pp.

Buitrago, J.M. Mada, H. Hernández & E. Buitrago. 2005. A single-use site selection technique, using SIG for Aquaculture Planning: choosing locations for mangrove oyster raft culture in Margarita Island, Venezuela. *Environmental Management* 35 (5): 544-556.

Calvo, E., K. Berrocal & J. Boza. 2016. Floraciones algales nocivas durante el período 2008-2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.* 8 (1): 129-149.

Camargo, J., A. Alonso & A. Salamanca. 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58: 1255-1267.

Cho, Y., S. Hong, H. Kim, W. Choi, W. Lee & S. Lee. 2010. Development of bivalve culture management system based on GIS for Oyster aquaculture in Geoje Hansan Bay. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* 16 (1): 11-20.

Coaguila, D., F. Tangerino, Y. de Freitas & D. Gonçalves. 2013. Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial utilizando datos de evapotranspiración. *Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, Brazil. 13-18abril, INPE.*

Díaz, J. & J. López. 2000. Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM # 41. 19 pp.

Eaton, A., L. Clesceri & A. Greenberg. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22ed. Washington DC: American Public Health Association.

FAO. 2009. Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina. Documento Técnico de Pesca 458. Roma. 125 pp.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Oportunidades y desafíos. Roma 274 pp. Documento en línea <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>

Gernez, P., L. Barille, A. Lerouxel, C. Mazeran, A. Lucas & D. Doxaran. 2014. Remote sensing of suspended particulate matter in turbid oyster-farming ecosystems. Journal of Geophysical Research: Oceans. AGU. PUBLICATIONS. 10.1002/2014JCD10055. 7277- 7294.

Góngora-Gómez, A.M., M. García-Ulloa, J.A. Hernández-Sepúlveda & A.L. Domínguez-Orozco. 2012. Crecimiento del ostión *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1775) cultivado en el estero La Piedra, Sinaloa, México. Avances en Investigación Agropecuaria 16 (2): 91-104.

Hadipour, A., F. Vafaie & V. Hadipour. 2015. Land suitability evaluation for brackish water aquaculture development in coastal area of Hormozgan, Iran. Aquaculture International 23 (1): 329-343.

Harris, J. 2008. Aquatic Invasive Species Profile: Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). Aquatic Invasion Ecology. December.

Hassen, M.B. & J. Prou. 2001. A GIS-based assessment of potential aquacultural nonpoint source loading in an Atlantic Bay (France). Ecological Applications 11 (3): 800-814.

Hickman, C.P.J. 2009. Principios integrals de zoología. 14ª Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. 936 pp.

INCOPECA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). 2012. La acuicultura en Costa Rica, Departamento de Acuicultura. (01 de julio 2016,) https://www.incopesc.go.cr/acuicultura/acuicultura_cr.html

Levine, D.A., C.T. Hunsaker, S.P. Timmins & J.J. Beauchamp. 1993. A geographic information system approach to modeling nutrient and sediment transport. Environmental Sciences Division, Publication 3993. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA.

Lizano, O. & E. Alfaro. 2004. Algunas características de las corrientes marinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (2): 77-94.

Macías-Rivero, J.C., F. Castillo y Rey & C.A. Zurita. 2003. Zonas idóneas para el desarrollo de la acuicultura en el litoral andaluz. Dirección General de Pesca y Acuicultura, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 43 pp.

MAG. 2005. Manual de buenas prácticas pecuarias en acuicultura. Documento en línea <http://www.senasa.go.cr/senasa/sitio/files/121211080451.pdf>.

MarViva. 2013. Ordenamiento Espacial Marino: Una guía de conceptos y pasos metodológicos. <documento en línea: http://marviva.net/sites/default/files/documentos/marviva_folleto_oem_esp_web.pdf>

Moreno, D., J. Quintero y A. López. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contatos* 78: 25-33.

Nayar, N. & S. Mahadevan. 1987. Oyster culture- status and prospects. Central Marine Fisheries Research Institute (CMFRI) bulletin 38. 8 pp.

Nootong, K., S. Nurit & S. Powtongsook. 2013. Control of Inorganic Nitrogen and Suspended Solids Concentration in a land-based Recirculating Aquaculture System. *Engineering Journal* 17 (1): 49-59.

Pauley, G., B. Van Der Raay & D. Troutt. 1988. Species Profiles: Lifes Histories and Environmental Requirements of Coastal Fishes and Invertebrates (Pacific Northwest) Pacific Oyster. Biological report 82 (11.85). U.S Army Corps of Engineers, U.S. Department of the Interior Fish and Wildlife Service.

Pérez, E., C. Lodeiros, D. Semidey, E. Uribe & L. Freitas. 2016. Crecimiento, supervivencia e influencia de factores ambientales en tres cohortes de la ostra perla *Pinctada imbricata*, en cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 44 (1): 99-112.

Radiarta, N., S. Saitoh & A. Miyazono. 2008. GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Aquaculture* 284: 127-135.

Ravit, B., K. Cooper, B. Buckley, M. Comi & E. McCandlish. 2014. Improving Management Support Tools for Reintroducing Bivalve Species (Eastern Oyster [*Crassostrea virginica* Gmelin]) in Urban Estuaries. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 10 (4): 555-565.

Scott, P.C. L.F. Vianna & M.A. de C. Mathias. 2002. Diagnostico da cadeia aquícola para o desenvolvimento da atividade no Estado do Rio de Janeiro. *Panorama da Aquicultura* 8 (49): 13-19.

Shumway, S. 1990. A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *Journal of the world aquaculture society* 21 (2): 65- 104.

Shumway, S. 1996. Natural Environmental Factors. In: Kennedy, V., R. Newell & A. Eble. 1996. *The Eastern Oyster, Crassostrea virginica*. Maryland Sea Grant College. USA. Pp 467-513.

Silva, C., J. Ferreira, S. Bricker, T. DelValls, M. Martín-Díaz & E. Yáez. 2011. Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*. AQUA-629710 doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.05.033.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicación (MINAE). 2008. GRÚAS II: Propuesta de Ordenamiento Territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Volumen 3: Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad marina y costera. San José, CR. 60 pp.

Soto, R., L. Hernández, J.L. Vega & H. Vega. 2016. Aspectos biológico-pesqueros del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) y características físico químicas en su zona de distribución, área marina de pesca responsable de Paquera-Tambor, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Proyecto (0079-14, Aportes a la gestión pesquera artesanal y semi-industrial del Golfo de Nicoya, Costa Rica). EUNA. Costa Rica. 103 pp.

Spotte, S. 1979. *JoFish and Invertebrate Culture: Water Management in Closed System*. John Wiley and Sons. New York. 179 pp.

Strickland, J.D.H. & T.R. Parson. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. 2^oed. Bulletin, vol 167. Fisheries Research Board of Canada.

Suplicy, F., L. Novaes, G. Rupp, A. Novaes, L. Garbossa, R. Souza, J. Guzenski, S. da Costa, F. Silva & A. dos Santos. 2015. Planning and management for sustainable coastal aquaculture development in Santa Catarina State, south Brazil. *Reviews in Aquaculture* 0: 1-18.

Thomas, Y., S. Pouvreau, M. Alunno-Bruscia, L. Barllé, F. Gohin, P. Bryère & P. Gernez. 2016. Global change and climate-driven invasion of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) along European coast: a bioenergetics modelling approach. *J. Biogeogr* 43: 568-579.

Timmons, M., J. Ebeling & R. Piedrahita. 2009. *Acuicultura en Sistemas de Recirculación*. Cayuga Aqua Ventures. NRACE Publication No. 101-2009 Spanish. 959 pp.

Tsihrintzis, A.V., R. Hamid & H.R. Fuentes. 1996. Use of geographic information system (GIS) in water resources. *Water Resources Management* 10: 251-277.

Ventura, S.J. & K. Kim. 1993. Modeling urban nonpoint source pollution with a geographic information system. *Water Resource Bulletin* 29: 189-198.

Villanueva, B. 2011. 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. Tesis para optar por el grado de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Instituto Politécnico Nacional, México. 82 pp.

Villaroel, E., E. Buitrago & C. Lodeiros. 2004. Identificación de factores ambientales que afectan al crecimiento y la supervivencia de *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca: Bivalvia) bajo condiciones de cultivo en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ* 14 (1): 28-35.

Anexos

Anexo 1. Promedios anuales de los parámetros medidos en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

lat	lon	N	Prof (m)	DS (m)	Temp (°C)	TDS (g/L)	Sal (ppm)	Ox (mg/l)
9,86314	-84,7181	1	23,99	2,77	22,54	31,56	31,59	5,5375
9,82917	-84,7496	2	33,21	3,98	28,67	31,48	31,5	4,7125
9,78764	-84,7899	3	44,61	5,97	28,28	32,01	32,1	4,483333
9,83292	-84,8798	4	10,68	2,38	28,73	31,6	31,62	5,04
9,842	-84,883	5	7,04	2,65	28,96	31,38	31,37	5,3425
9,86541	-84,8896	6	13,93	2,25	28,82	31,53	31,55	6,2025
9,9037	-84,8279	7	33,97	2,33	28,61	31,51	31,53	4,42
9,95249	-84,7547	8	11,41	2,38	29,15	31,34	31,33	4,9825
10,08878	-85,1884	9	8,07	0,41	29,47	25,43	24,83	4,58
10,11732	-85,2177	10	2,32	0,8	29,66	24,51	23,83	4,6275
10,1362	-85,1837	11	6,84	0,75	29,81	25,91	25,34	4,1375
10,15381	-85,1598	12	5,44	0,85	30,06	27,78	27,36	4,3925
10,05608	-85,0598	13	7,14	0,75	29,67	29,41	29,18	4,7775
10,02666	-85,0953	14	4,99	0,5	29,85	27,55	27,13	4,315
10,09089	-85,0227	15	9,50	1,43	29,59	30,12	29,96	4,4975
9,95929	-84,9488	17	9,86	1,45	29,13	30,83	30,76	5,525
10,00899	-84,9052	18	16,40	1,95	28,95	31,33	31,32	5,5725
10,17068	-85,1768	19	5,61	0,93	30,07	26,82	26,3	4,4575
9,99457	-84,9421	21	20,88	1,6	29,77	30,16	29,99	5,89
10,09558	-84,9973	22	4,89	1	30,07	30,3	30,13	5,23

Anexo 2. Promedios anuales de la concentración de nutrientes medidos en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

lat	lon	N	NH ₄ (mmol/L)	NO ₂ (mmol/L)	NO ₃ (mmol/L)	PO ₄ (mmol/L)	SiO ₂ (mmol/L)	pH
9,86314	-84,7181	1	0,8842	0,1629	1,0169	0,7783	10,1665	8,21
9,82917	-84,7496	2	1,0661	0,0784	1,1629	0,8977	8,8100	8,33
9,78764	-84,7899	3	0,2308	0,0567	5,1651	3,9428	2,9896	8,32
9,83292	-84,8798	4	0,6736	0,1714	1,3711	0,7854	10,2367	8,27
9,842	-84,883	5	0,9799	0,1088	0,6998	0,7133	16,7971	8,30
9,86541	-84,8896	6	0,5842	0,0882	0,5018	1,1939	11,3687	8,29
9,9037	-84,8279	7	0,5973	0,2258	1,1783	1,6487	10,8250	8,26
9,95249	-84,7547	8	0,6712	0,0976	0,2912	0,6998	14,7547	8,33
10,08878	-85,1884	9	0,8944	1,6304	7,0955	6,6792	128,1561	8,06
10,11732	-85,2177	10	0,9807	1,9405	8,6364	6,4663	146,9599	8,01
10,1362	-85,1837	11	0,8741	0,8352	9,3889	4,2807	126,0722	8,04
10,15381	-85,1598	12	0,7179	1,4238	6,0329	4,0471	83,2255	8,08
10,05608	-85,0598	13	0,7504	0,5937	9,9716	3,1420	78,9641	8,13
10,02666	-85,0953	14	0,5913	1,4466	6,9039	4,1832	90,6855	8,08
10,09089	-85,0227	15	0,5777	0,7304	2,8822	2,8961	42,6453	8,15
9,95929	-84,9488	17	0,5262	0,6356	1,6576	2,0059	28,7509	8,21
10,00899	-84,9052	18	0,6568	0,4108	1,4685	2,0140	18,1815	8,21
10,17068	-85,1768	19	0,4660	1,1513	7,4099	5,9597	121,2511	8,12
10,00292	-84,9287	21		0,5889	3,2998	2,2294	37,3946	8,17
10,00292	-84,9287	22	0,5437	1,4778	3,1928	2,5470	63,0908	8,05

Anexo 3. Promedios anuales de la concentración de clorofila a medida en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, 2015

lat	lon	N	Clorofila a (mg/m ³)
9,86314	-84,7181	1	0,236378
9,82917	-84,7496	2	0,338523
9,78764	-84,7899	3	0,03704
9,83292	-84,8798	4	0,341573
9,842	-84,883	5	0,470336
9,86541	-84,8896	6	1,106115
9,9037	-84,8279	7	0,708194
9,95249	-84,7547	8	0,266938
10,08878	-85,1884	9	0,962171
10,11732	-85,2177	10	0,709375
10,1362	-85,1837	11	0,842458
10,15381	-85,1598	12	0,423623
10,05608	-85,0598	13	0,907483
10,02666	-85,0953	14	0,914296
10,09089	-85,0227	15	0,988607
9,95929	-84,9488	17	1,373645
10,00899	-84,9052	18	1,180544
9,99457	-84,9421	21	1,701462

Anexo 4. Valores promedio, mínimos y máximos de profundidad y DS medidos en el Golfo de Nicoya,
Costa Rica, 2015

lat	lon	N	Prof (m)			DS (m)		
			prom	mín	máx	prom	mín	máx
9,86314	-84,7181	1	23,99	23,16	24,70	2,77	2,6	3,1
9,82917	-84,7496	2	33,21	32,00	34,70	3,98	2,4	7
9,78764	-84,7899	3	44,61	43,00	45,73	5,97	5,1	7,5
9,83292	-84,8798	4	10,68	4,63	15,40	2,38	1,6	3
9,842	-84,883	5	7,04	6,20	7,60	2,65	2,2	3
9,86541	-84,8896	6	13,93	13,29	15,40	2,25	1,2	3,2
9,9037	-84,8279	7	33,97	33,20	34,75	2,33	1,6	3,1
9,95249	-84,7547	8	11,41	10,33	12,32	2,38	1,9	3,1
10,08878	-85,1884	9	8,07	4,70	11,10	0,41	0,15	0,5
10,11732	-85,2177	10	2,32	1,25	4,00	0,8	0,1	1,7
10,1362	-85,1837	11	6,84	5,98	8,60	0,75	0,5	1,2
10,15381	-85,1598	12	5,44	3,90	7,30	0,85	0,6	1,4
10,05608	-85,0598	13	7,14	6,31	8,00	0,75	0,5	1
10,02666	-85,0953	14	4,99	3,44	7,00	0,5	0,2	1,1
10,09089	-85,0227	15	9,50	8,50	10,24	1,43	0,8	2,3
9,95929	-84,9488	17	9,86	8,75	11,40	1,45	0,7	1,9
10,00899	-84,9052	18	16,40	14,50	17,40	1,95	1,5	2,6
10,17068	-85,1768	19	5,61	4,57	6,98	0,93	0,5	1,7
9,99457	-84,9421	21	20,88	19,50	22,26	1,6	1,5	1,7
10,09558	-84,9973	22	4,89	4,10	5,60	1	0,7	1,5