



# UNIVERSIDAD DEL MAR

## *Campus Puerto Ángel*

### UBICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA EL CULTIVO DE CAMARÓN ASOCIADA A LA INFRAESTRUCTURA MEDIANTE UN SIG PARA EL LITORAL OAXAQUEÑO

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de

**Ingeniero en Acuicultura**

Presenta

**Erick Jiménez Hernández**

Director

**MAIA. Eduardo Juventino Ramírez Chávez**

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, Diciembre de 2017

## Resumen

En este trabajo se propone y ejecuta un marco metodológico que permite la ubicación de sitios potenciales para el cultivo de camarón en jaulas por medio de árboles de decisión, a través de factores como calidad del agua, ambiente marino, infraestructura y área disponible, en los cuales se clasifican y definen criterios a partir de una revisión bibliográfica especializada en temas de planificación de cultivos marinos mediante un SIG, para posteriormente ser jerarquizados, además de ser evaluados por expertos en la materia, generando una combinación de escenarios finitos existente para la zona costera del estado de Oaxaca. A través de esta metodología se lograron obtener 35 polígonos con potencial para el desarrollo del cultivo de camarón a lo largo de superficie marina de la zona costera de Oaxaca de los cuales 13 polígonos se consideraron con un potencial “Óptimo” con un total de 560.364 Km<sup>2</sup>. El método fue diseñado para que pudiera ser replicable en cualquier parte del territorio nacional con cualquier especie comercial e infraestructura de cultivo, siendo únicamente limitados por la disponibilidad o confiabilidad de los datos.

**Palabras clave:** Árboles de decisión, Multicriterio, Sitios Potenciales, Cultivo de camarón

**La Ciencia puede divertirnos y fascinarnos pero es la Ingeniería la que cambia el mundo (Isaac Asimov)**

**La planificación a largo plazo no es pensar en decisiones futuras, sino en el futuro de las decisiones presentes (Peter Druker)**

## Dedicatoria

A mis viejos (Virginia y Roberto) por ser el cimiento del pilar en todo lo que soy, mi educación, tanto académica como en la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

De verdad que tengo mucho por agradecer.

A mi Broty (Yadira) por ser parte importante de mi vida. A ti Diego que te has convertido en una de mis alegrías

A mi equipo de Natación y de Aguas Abiertas nadando por la vida

A ti Flaca, te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes a mi vida; mi inspiración y mi motivación.

Erick

# Agradecimientos

A la Universidad del Mar que me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, ni pensaba que fuera posible que algún día si quiera me topara con una de ellas.

A mi Director de tesis M. en C. Eduardo Ramírez Chávez por aceptarme para realizar esta tesis,

A los catedráticos por quienes he llegado a obtener los conocimientos necesarios para poder desarrollarme en mi profesión, de manera especial para las siguientes personas M. en C. Arturo Martínez Vega, M. en C. Pablo Torres Hernández, M. en C. Leticia Sánchez Estudillo, M. en C. German Anaya, M. en C. Pablo Pintos, Don Celso y Dra. Ivonne Santiago Morales.

A mi nene (Oscar Eliel Carreño Reyes) por su paciencia y ayudarme.

Mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas por su apoyo, Bebesaurio (César A.), flaca (Lilia Marcela), Jimmy (Carlos), Niche (Eunice), Julián Francisco Velasco, Zapato (Jorge Luis), Nigga (Luis Gabriel Patraca), Pantín (Francisco Javier).

La Güera (Sandra Luz Zaguilán), Peludo (Juan Carlos), Gaby Zipolite (Gabriela Jarquín).

Gordo (Virgilio Antonio Pérez) y Godoy (Hediberto Fermín Godoy) les tengo mucho que agradecer fueron como unos padres para mí, ¡gracias por enseñarme a nadar!

## CONTENIDO

Resumen.....	1
Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Índice de Figuras.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ANTECEDENTES.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. HIPÓTESIS.....	15
5. OBJETIVOS.....	16
General.....	16
5.2 Específicos.....	16
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
7. Contexto de la camaronicultura.....	18
7.1 Evaluación multicriterio y <b>multi-objetivo</b> .....	19
7.2.1 Restricciones.....	19
7.2.2 Factores.....	20
8. SELECCIÓN DE LA ESPECIE A CULTIVAR.....	20
9. CRITERIOS ESPACIALES.....	21
9.1 <b>Temperatura</b> .....	21
9.2 Oxígeno disuelto.....	21
9.3 <b>Salinidad</b> .....	21
9.4 <b>PH</b> .....	22

9.5	9.5	Zona	de	<b>Descarga</b>	
.....					22
9.6		9.6		<b>Corrientes</b>	
.....					22
9.7		9.7		<b>Batimetría</b>	
.....					22
9.8		9.8		<b>Fondo</b>	
.....					23
9.9		9.9		<b>Oleaje</b>	
.....					23
9.10		9.10		<b>Vientos</b>	
.....					23
9.11	Localidades costeras.....				23
9.12		9.12		<b>Acceso</b>	
.....					23
9.13				Electricidad	9.13
.....					24
9.14	9.14	Desembocadura		de	
<b>ríos</b> .....					24
9.15	9.15	Áreas	Naturales	Protegidas	(ANP)
.....					24
9.16	9.16	Sitios	marinos	prioritarios	para la <b>conservación</b>
.....					24
<b>10. SELECCIÓN DE JAULAS (INFRAESTRUCTURA DE CULTIVO)</b> .....					25
10.1 Jaula HÉRCULES - 6000 m3 (España) .....					25
Jaula TLC 1800 m3 REFA MEDITERRANEAN SRL (Italia) .....					25
10.3					
Jaula SEA STATION 3000 m3 OCEAN SPAR CAGE LLC. (USA) .....					26
<b>11. MÉTODO</b> .....					28
11.1 Clasificación de los criterios en Factores .....					28

11.2	Marco metodológico .....	29
11.3	Homogenización de resoluciones de los raster .....	31
11.4	Definición del grado de aptitud de los factores .....	34
11.5	11.5 Creación de árboles de decisión y Consulta de <b>expertos</b> .....	34
11.6	Mapa Base .....	35
11.7	11.7 Ejecución de los árboles de <b>decisión</b> .....	35
12	RESULTADOS .....	36
1	Mapa Base .....	36
12.2	12.2 Árboles de <b>decisión</b> .....	39
12.3	12.3 Potencial de <b>idoneidad</b> .....	39
13	DISCUSIONES .....	50
14	CONCLUSIONES .....	57
15	RECOMENDACIONES .....	58
	ANEXOS .....	61
17	BIBLIOGRAFÍA .....	64



## Índice de Figuras

Figura 1. Área de Estudio .....	17
Figura 2. Adaptación de Modelo jerárquico a partir de: Shen, 2010 y PLADEMEC 2013.....	33
Figura 3. Diagrama de flujo para la ubicación de sitios potenciales para el cultivo de camarón asociada a la infraestructura para el litoral oaxaqueño .....	37
Figura 4. Ubicación de los sitios potenciales para el cultivo de camarón en el litoral Oaxaqueño.....	38
Figura 5.- Árbol de decisión para la evaluación del factor calidad del agua.....	41
Figura 6.- Árbol de decisión para la evaluación del factor ambiente marino.....	42
Figura 7.- Árbol de decisión para la evaluación del factor infraestructura.....	43
Figura 8.- Árbol de decisión área disponible en Km <sup>2</sup> .....	44
Figura 9.- Calidad del agua: Temperatura.....	45
Figura 10.- Calidad del Agua: Oxígeno disuelto .....	46
Figura 11.- Calidad de agua: PH.....	47
Figura 12.- Factor Calidad del agua: salinidad.....	48
Figura 13.- Sitios con Potencial: “Óptimo” y “No óptimo” para el cultivo de camarón en el litoral en el Litoral del Estado de Oaxaca .....	49

## 1. INTRODUCCIÓN

Cada año la población mundial se incrementa con una tasa de crecimiento alrededor del 2 %, la FAO estima que la población mundial actual de 100 millones de personas para el 2050 excederá a 10 mil millones, esto será el doble de la población actual (Zarain-Herzberg, 2009; FAO, 2016) lo que requerirá un aumento del 60 % en la producción de alimento para cubrir esta demanda. La producción pesquera para consumo humano ha alcanzado su nivel más alto, las principales especies marinas capturadas están plenamente explotadas, el agua dulce empieza a escasear en varias partes del mundo, por lo que en la actualidad se busca nuevas fuentes y tecnologías para la producción de productos del mar (Puniwai *et al.*, 2014).

La producción de animales acuáticos en 2014 procedentes de la acuicultura ascendió a 73.8 millones de toneladas, con un valor estimado de 160, 200 millones de dólares. Mientras que la producción de la pesca en aguas marinas fue de 81.5 millones de toneladas (FAO, 2016). En México la acuicultura creció 32.2 % al pasar de 245 mil 760 toneladas en 2013 a 325 mil en 2014, entre las especies principales se encuentra el camarón, de los cuales 127, 517 Toneladas corresponden a la producción de cultivo (CONAPESCA, 2015).

Está estimado que entre 1 y 1.5 millones de hectáreas a lo largo del mundo están cubiertas por algún tipo de granja de camarón, incluso esta cifra podría resultar mayor. Esta expansión ha sido acompañada por un intenso debate relacionado con impactos al ambiente, económicos y sociales. La actividad de la industria del camarón ha causado muchos impactos como pérdida de humedales, incremento en la carga de nutrientes de aguas costeras, introducción de especies exóticas, propagación de enfermedades y sobre explotación de especies de juveniles de camarones nativo (Berlanga-Robles *et al.*, 2011). Por lo cual, el cultivo de camarón en jaulas flotantes está siendo considerado como un enfoque alternativo de producción (Zarain-Herzberg, 2010) esto permitirá que en un futuro se superará a la pesca tradicional al incrementarse la producción acuícola. El producto más importante económicamente en la industria acuícola en México es el camarón, de acuerdo con las estadísticas de pesca y acuicultura los principales estados productores en México son Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Nayarit de ahí les siguen los estados de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Oaxaca, Veracruz (Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2013).

Cultivar camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en jaulas flotantes tiene una viabilidad biológica y productiva, es una biotecnología innovadora que viene a ocupar un nuevo espacio, no propiamente a competir con el sistema tradicional (Zarain-Herzberg, 2010). El cultivo en jaulas tiene varias ventajas en comparación al cultivo en estanques, mayores recambios de agua, variaciones moderadas o bajas de los parámetros fisicoquímicos, rendimientos más altos que los obtenidos en el cultivo en estanques de forma

extensiva y semi-intensiva, los residuos sólidos no se acumulan en las jaulas, baja conversión de alimento debido a la contribución de alimento natural, lo que satisface los requerimientos nutricionales de los camarones junto con el uso de alimento comercial, además, no se necesita energía adicional para el cambio de agua o la aireación y no hay necesidad de hacer frente a los problemas derivados de la construcción de la forma y la contaminación por el uso industrial del alimento y fertilizantes. La principal desventaja del cultivo de jaulas es la necesidad de utilizar áreas con una adecuada profundidad, el estrés mecánico por vientos fuertes, corrientes y tormentas. (Zarain-Herzberg, 2010).

Se ha proyectado una buena rentabilidad económica para el cultivo en jaulas flotantes, con base en la evaluación biológica y productiva del cultivo de *Litopenaeus vannamei* en jaulas flotantes, se propone como una actividad productiva positiva para las condiciones que prevalecen en México (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000; Zarain-Herzberg *et al.*, 2010).

Esta actividad ha adquirido importancia en las últimas décadas, lo que la ha convertido en una de las industrias de producción de alimentos de crecimiento rápido. Su desarrollo, en los últimos 50 años ha sido facilitada en gran parte por la aplicación de la ciencia y la introducción de nuevas tecnologías (Nath *et al.*, 2000; Sivakumar *et al.*, 2012; Maeden & Aguilar-Manjarrez, 2013).

Ante un incremento de unidades acuícolas que pudieran surgir en un futuro cercano es relevante llevar un ordenamiento y planificación en la designación de sitios para el establecimiento de granjas de camarón, de esta manera el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se vuelve una herramienta fundamental para llevar el control, monitoreo y planeación (Longdill *et al.*, 2008). A partir de 1980, se presentó un incremento en el uso del SIG para la selección de sitios y estudios de idoneidad para el desarrollo de la acuicultura (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000).

En la actualidad el uso de SIG y percepción remota, se ha vuelto una herramienta y un procedimiento metodológico que se ha venido aplicando en la toma de decisiones para la selección de los lugares y evaluación del potencial acuícola, ofreciendo un respaldo tecnológico de análisis e integración de la información para acelerar y aumentar la eficiencia de los procesos de aprovechamiento óptimo de terreno o superficie marina, además de las posibilidades y objetividad que brinda como herramienta eficiente y efectiva para el análisis de datos espaciales con fines de desarrollo, evaluación y gestión de recursos (Longdill *et al.*, 2008).

Por lo tanto, la planificación de sitios para el cultivo de una especie comercial en aguas abiertas integrada con un SIG desempeña un papel importante en el desarrollo sostenible de la actividad ya que se puede integrar información de calidad del agua, productividad, influencia de mareas, corrientes e infraestructura costera. Por lo que esta herramienta puede ayudar al desarrollo para la expansión del

cultivo de camarón en la zona costera del estado de Oaxaca a través de la selección del sitio adecuado teniendo en cuenta el impacto de desarrollo de otras actividades como Áreas Naturales Protegidas Federales, sitios marinos prioritarios para la conservación, desembocadura de ríos y la profundidad, que son parte del ecosistema.

## 2. ANTECEDENTES

El uso de los SIG en el campo de la acuicultura se inicia casi a finales de los años ochenta, el primer estudio que se realizó en Latinoamérica fue en el Golfo de Nicoya, en la Costa del Pacífico de Costa Rica. El objetivo fue evaluar la capacidad de los SIG y la teledetección satelital en cuanto a su ventaja y limitaciones como una herramienta de planificación. Obtuvieron tres oportunidades de desarrollo de la acuicultura, en términos de ubicación óptima, áreas de superficie terrestre y agua disponible; (1) Cultivo de moluscos en las zonas intermareales y submareales, así como cultivo suspendido de moluscos y cultivo de peces en jaulas, (2) cultivo de camarones y peces en estanques rústicos existentes, (3) Cultivo semi-intensivo de camarón a lo largo de la costa del Golfo fuera de los manglares. Consideraron como criterios de evaluación, la salinidad, la infraestructura, calidad del agua batimetría, vientos y olas, la seguridad para los cultivos intermareales, submareales y en suspensión; ubicación de los estanques y la disponibilidad de post-larvas para el cultivo extensivo de camarón; la idoneidad del suelo, distancia de agua dulce y salada, uso de la tierra para el cultivo semi-intensivo de camarón (Kapetsky *et al.*, 1987).

En Indonesia y Vietnam, a pesar de tener las condiciones favorables para el cultivo de camarón se enfrentaron con problemas críticos debido a que los sitios de cultivo fueron mal seleccionados o sobre explotados, lo que provocó una disminución en la producción debido a la dificultad en la predicción de la capacidad de producción de los sitios. Se buscó una solución mediante la planeación espacial usando Técnicas de Multicriterio y SIG, con lo que se pretendió evitar estos problemas críticos que afectaron la actividad después de un rápido periodo de desarrollo (aumento en superficie y producción) de los sitios (Fuchs *et al.*, 1998). A partir de los casos documentados, se han realizado diversos estudios para una variedad de cultivos y especies, en distintos lugares y a diferentes escalas geográficas, estos estudios han sido enfocados a la evaluación y localización de los recursos terrestres y acuáticos para la selección del emplazamiento acuícola con relación a una serie de variables socioeconómicas (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000).

En la India, la selección de emplazamientos de acuicultura utilizando SIG, inició en 1995, el estudio fue encaminado a la identificación y cuantificación de cambios en el bosque del mangle usando percepción remota y SIG, concluyeron que 2.96 Ha de manglar fueron destruidos

en el año, solo por el cultivo de camarón debido a la alta rentabilidad. En el suroeste de Bangladesh (India) se estudió el desarrollo del cultivo de camarón mediante percepción remota y SIG, por lo que se utiliza cada vez más para describir y monitorear una variedad de sistemas en una escala global o local (Rajitha *et al.*, 2007).

Encaminado a la planificación de la acuicultura, en el Noreste de la Región de Bangladesh (Sureste de Asia) se realizó un estudio a través de teledetección y SIG para detectar los cambios de uso de suelo y como resultado obtuvieron que 66 km<sup>2</sup> tienen el potencial para cultivar algunas especies de peces (tilapia, bagre y carpas) hasta la talla comercial en un periodo corto de cultivo durante todo el año, sin ningún gasto en la instalación del agua, de esta manera se estaría aprovechando el agua correctamente sin ninguna interrupción (Hashem *et al.*, 2014).

En Andalucía, España, se realizó un estudio encaminado a la identificación y gestión de zonas de interés para cultivos marinos para desarrollar la acuicultura. Mediante el uso de SIG y datos recopilados en diferentes demarcaciones, como resultado obtuvieron que el uso de SIG es una herramienta útil de planificación, no solo para la administración pública, también para el sector privado, que busca nuevos espacios para el cultivo, contribuyendo de esta forma al desarrollo de acuicultura marina en Andalucía (Macías *et al.*, 2005).

En Chile se aplicó el uso de Sistemas de Información Geográfica y Análisis de Multicriterio y Multiobjetivo, para determinar sitios de aptitud para el desarrollo del cultivo de salmónidos y moluscos bivalvos, mediante el análisis cartográfico digital y de análisis matricial de base de datos, en donde se planteó el diseño de un modelo que integra los criterios ambientales con los requerimientos específicos del recurso, para la construcción de sitios a través del procesamiento de imágenes, cálculo de capacidad de carga y la evaluación de la toma de decisiones, dando como resultado imágenes digitales y base de datos de los distritos de aptitud, lo que facilitó la determinación de sitios aptos para cultivo, es decir con la probabilidad de éxito y potencial de cultivo (Silva *et al.*, 1999).

Un ejemplo más de planificación de la acuicultura, está en el estado de Hawái (E. U. A.), donde existe un creciente interés local, estatal y federal en el desarrollo de la industria para el sector de ornato dulceacuícola, peces marinos, cultivo de almejas, ostras, algas y abulón. A través del desarrollo de una herramienta de SIG para el emplazamiento de la acuicultura,

obtuvieron que este estado tiene un potencial de 266 millas de línea de costa para el desarrollo de la actividad tanto fuera o cerca de la línea costera (Puniwai *et al.*, 2014).

En México las aplicaciones de este tipo se inician en estados como Yucatán, Tabasco (Sánchez-Campos *et al.*, 2003) y Sinaloa (Alonso-Pérez *et al.*, 2003) enfocado hacia cultivos en estanques costeros y de tierra adentro (dulceacuícolas), de especies como tilapia, carpa y camarón (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000). Se llevó a cabo un estudio sobre los cambios en la cubierta natural en el uso de suelo dentro del Sistema de lagunas Costeras Ceuta (Sinaloa) utilizando análisis multi-temporal de imágenes Landsat, en el cual se examinaron las tendencias globales del cambio y efecto de la acuicultura industrial de camarón en la cubierta natural y obtuvieron que el cultivo de camarón fue agregando presión al paisaje de la laguna Ceuta a través del enriquecimiento de las aguas del estuario, sobre todo con los cambios en los usos de suelo dirigido a los sistemas de marismas, alteraciones en los patrones hidrológicos y conectividad entre los sistemas acuáticos y terrestres (Alonso-Pérez *et al.*, 2003).

En el estado de Veracruz, a través de un proyecto de investigación promovido y financiado por el Gobierno, CONAPESCA, a través del Programa Alianza para el Campo, se realizó el diagnóstico y determinación de sitios potenciales para el desarrollo de la piscicultura marina, para el aprovechamiento de las extensiones costeras que no están siendo aprovechadas (DGPA & SEDARPA, 2007).

En el mismo sentido, para identificar el potencial de las tierras en el entorno de la laguna del Mar Muerto, Oaxaca, se utilizaron técnicas de análisis Multicriterio con un SIG, en función del factor costo de producción, las oportunidades y la superficie potencial disponible para el emplazamiento y desarrollo de actividades de acuicultura, considerando 6 factores; proximidad al agua salobre, vías de comunicación, fuente de insumos, nivel de bienestar, uso de suelo/vegetación y energía eléctrica, se consideró 47000 Ha que corresponden al Istmo de Tehuantepec, de los cuales 0.9 % del área son apropiadas para proyectos acuícolas, 62.8 % presentó potencial medio y 36.3 % potencial bajo (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000).

En los casos anteriores se documenta el uso de la percepción remota y de SIG para especies como peces, moluscos y crustáceos; en específico de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), en el cual se utilizó esta herramienta tecnológica para la ubicación de zonas idóneas para el

cultivo de especies acuáticas. El litoral oaxaqueño podría ser el caso del desarrollo del cultivo de camarón asociado a la infraestructura y vinculado a un SIG.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La inclusión de los SIG en el sector acuícola se considera importante como apoyo al desarrollo y crecimiento (expansión) del cultivo de camarón (*L. vannamei*) (Silva *et al.*, 1999) Aunque la utilización de superficies de agua para el cultivo es frecuente en otras partes del mundo, en México no es así, por lo consiguiente menos frecuente a nivel estatal donde no se realizan estudios encaminados a la evaluación del potencial de cultivos en la zona costera, por lo que los trabajos de investigación con el uso de SIG en este campo, son menores. Por lo que si requiere tener éxito en el desarrollo del sector, se debe de realizar la correcta planificación, en caso contrario, como menciona OEIDRUS (2008) una planificación errónea conduce al fracaso económico, degradación de los ecosistemas, estrés en el ecosistema, estrés de la especie cultivada, decremento en la producción, aumento de los costos de construcción y operación, pérdidas económicas, además de provocar conflictos con otras actividades productivas y usuarios. Así como contaminación de cuerpos y corrientes de aguas, interacciones adversas con el uso de suelos y conflictos sociales (Shaharior *et al.*, 2014).

A pesar de que un lugar cuente con las condiciones favorables para actividades de acuicultura y las instituciones contribuyan positivamente en su desarrollo, este aún no podría desarrollar su potencial para realizarla de forma sostenida, por la falta de aplicación de tecnologías eficientes, innovadoras, modernas y mediante la intervención de los diversos actores relacionados con este sector para consolidar y fortalecer la actividad (Shaharior *et al.*, 2014). El cultivo de camarón ha adoptado a la planificación como prioridad para su desarrollo en otras partes del mundo y aquí en México no debe ser la excepción.

Dentro de esta planificación, la tecnología de la percepción remota y los SIG se han utilizado cada vez más para la ubicación, planificación y seguimiento de sitios en proyectos acuícolas, notando que los tiempos en búsqueda de lugares aptos para acuicultura disminuyen de meses a semanas (Rajitha *et al.*, 2007).

Seleccionar un sitio para la planificación para el desarrollo del cultivo de camarón es una tarea que involucra la identificación y ubicación de zonas donde el crecimiento de la especie



(*Litopenaeus vannamei*) se maximice y el costo de operación sea el menor, donde los impactos sean mínimos y donde los conflictos entre los distintos usos de la costa se eviten o se minimicen (Shaharior *et al.*, 2014).

Existen estudios de producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en jaulas flotantes, realizados en Sinaloa, que ratifican su viabilidad biológica y productiva, constituyéndola como una tecnología innovadora que viene a ocupar un nuevo espacio, no propiamente a competir con el sistema tradicional (Zarain-Herzberg, 2010).

En el presente estudio se pretende la inclusión de un SIG para el desarrollo y seguimiento del cultivo de camarón asociado a un tipo de infraestructura. Por tanto, se requiere de esta metodología que incorpora atributos ambientales para su evaluación en conjunto, ya que permitirá la planeación en la región para elaborar una propuesta técnica que permita ubicar sitios potenciales para el desarrollo del cultivo de camarón en función de la infraestructura y de los atributos ambientales de la región de la costa de Oaxaca. También constituye una herramienta importante para el seguimiento de la evolución de la actividad desde una etapa de preselección de sitios hacia un futuro de probable alta actividad.

#### **4. HIPÓTESIS**

Es posible jerarquizar en “Óptimo” y “No óptimo” las aptitudes ambientales, económicas y de infraestructura en la zona costera de Oaxaca para encontrar, al menos un sitio potencial para el desarrollo del cultivo de camarón en jaulas flotantes.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Ubicar sitios potencialmente idóneos para el desarrollo del cultivo de camarón (*Litopenaeus vannamei*) asociados a la infraestructura, mediante la utilización de un análisis con base en las técnicas multicriterio, vinculado a un Sistema de Información Geográfica.

### **5.2 Específicos**

- Clasificar y definir criterios de selección de sitios de acuerdo con la literatura encontrada.
- Desarrollar un modelo teórico de idoneidad de la porción marina para el cultivo de camarón blanco en jaulas.
- Clasificar la superficie marina de la zona costera del estado de Oaxaca en polígonos “óptimos” y “no óptimos” para el establecimiento de unidades de producción de camarón.
- Representar cartográficamente la información generada y analizada.

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se delimitó siguiendo los criterios de Políticas Nacionales de Mares y Costas de México (SEMARNAT, 2006). Los que mencionan que la zona costera del estado de Oaxaca, está integrada por los 20 municipios costeros con frente a la playa y cinco municipios adyacentes con influencia marina, así como una proporción marina definida por la isobata de 0-200m. Por lo tanto, el área de estudio comprende a la porción marina de la zona costera del Estado de Oaxaca (Figura 1).

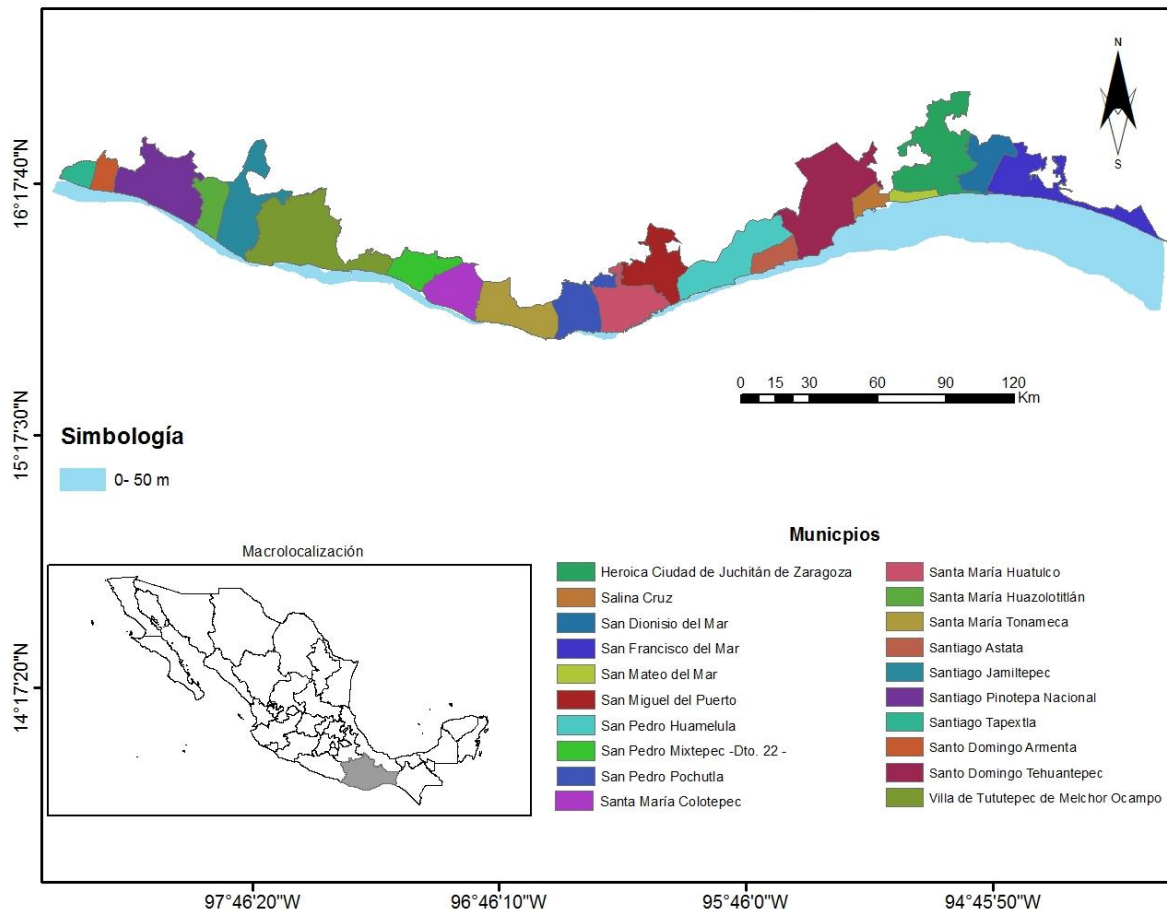


Figura 1. Área de Estudio

## **7. Contexto de la camaronicultura en jaulas.**

El origen del cultivo en jaulas, inició con las trampas para peces utilizadas por pescadores, con el aumento del número de organismos y tiempo de permanencia de las especies capturadas, con el fin de obtener una ganancia en peso, en estructuras fabricadas a partir de bambú, telas finas. En la Actualidad se han ido perfeccionando las estructuras y siguiente la misma meta: mantener a los peces u otros organismos en su interior hasta que posean el tamaño adecuado. Por lo que en la actualidad el cultivo en jaulas es una línea de evolución de la actividad pesquera (Sánchez-Lamadrid & Muñoz-Pérez, 2001).

La producción mundial de camarón cultivado tuvo un incremento de 50, 000 toneladas en 1980 a 70, 000 toneladas para 1990 (Fuchs *et al.*, 1998), manteniendo la tendencia de crecimiento positivo hasta el 2015 con 2 millones de toneladas (FAO, 2016) y con un estimado de 4.82 millones de toneladas para el 2018 (Anderson *et al.*, 2016). Lo que indica un dinamismo y evolución favorable para satisfacer la demanda y el pronóstico de producción mundial de camarón cultivado.

A partir de esta línea de evolución, se redirige el cultivo en jaulas hacía otras especies, como el camarón que es altamente explotada en cultivo, con un valor alto en el mercado mundial y en México. En respuesta ante esta situación, es la alternativa de producción, ya que la actividad acuícola para cultivo de camarón está creciendo en México, por lo tanto hace necesaria la investigación de ubicación de áreas propicias para expandir los cultivo, a través de la aplicación de la tecnología y el uso de metodologías sencillas, claras y realizables, para la instalación de unidades de cultivo.

El cultivo de camarón en jaulas se define como una actividad económica de la maricultura. La FAO define a la maricultura como el cultivo del producto final en agua de mar, aun cuando las primeras etas del ciclo de vida de los organismos acuáticos sean en agua dulce o salobre (Kapetsky & Aguilar-Manjarrez, 2009).

Una de las técnica para la selección de sitios para el desarrollo y expansión del cultivo de camarón en el estado de Oaxaca, como es la técnica multicriterio combinado con un SIG.

## **7.1 Evaluación multicriterio y multi-objetivo**

Es una herramienta de apoyo a las decisiones para la evaluación de criterios múltiples (Multi-Criteria Evaluation). Una decisión es una elección entre alternativas. La base de una decisión se conoce como criterio. Una evaluación multicriterio combina un conjunto de criterios para lograr una base compuesta y única para la decisión de acuerdo con un objetivo específico. A través de una evaluación multicriterio, se puede representar la idoneidad de las imágenes del criterio hasta obtener un mapa con el cual se tomará la decisión final. (Kapetsky & Aguilar-Manjarrez, 2009). Este proceso involucra la toma de decisiones con base en valores de juicio aportadas por diferentes actores en el tema que se esté evaluando (Sánchez-Campos, 2002). Se basa en la combinación de una serie de criterios en función de un objetivo en específico, pensando en la elección entre varias alternativas, en este caso, para el cultivo de camarón en jaulas.

Este análisis se ha convertido en una técnica valiosa para lidiar con condiciones complejas en un amplio intervalo de toma de decisiones para el manejo de recursos. En la actualidad se está experimentando con varias metodologías de análisis con SIG para diversas aplicaciones en maricultura y con diferentes especies.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como un sistema que captura, almacena, analiza y maneja datos que están asociados con atributos que están referenciados espacialmente a la tierra. Proporciona un acceso alternativo a datos donde el SIG utiliza un sistema de coordenadas referenciadas para que los datos con respecto a una posición específica, así como su atributo no espacial se puede comparar con otras posiciones, en otras palabras, los datos espaciales georreferenciados tienen dos claves, lo que permite el acceso a los registros por ubicaciones o atributos.

Para la evaluación multicriterio se requieren criterios que puedan clasificarse y definirse en Factores y Restricciones para su posterior evaluación. Radiarta *et al.*, (2008) e IDRISI (2012) los definen de la siguiente manera:

### **7.2.1 Restricciones**

Son criterios que sirven para limitar las áreas disponibles para el desarrollo de una actividad, en este caso sería para el del cultivo de camarón.

### 7.2.2 Factores

Son criterios que definen cierto grado de idoneidad para el desarrollo de una actividad, es una medida de la idoneidad relativa.

## 8. SELECCIÓN DE LA ESPECIE A CULTIVAR

En la industria acuícola existen grandes grupos de organismos (Peces, Moluscos y Crustáceos) que se cultivan con fines comerciales y otras especies con potencial de cultivo. Para este estudio se seleccionó al camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) ya que cuenta con una avanzada biotecnología de cultivo. Además cuenta con un gran valor en el mercado y su cultivo en jaulas es una realidad.

A continuación se muestran los valores óptimos de los parámetros principales (Tabla 1) para el cultivo de camarón blanco, en el cual coinciden valores para temperatura, oxígeno y pH, excepto un valor en la salinidad, por realizar cultivos de camarón en agua dulce.

Tabla 1. Requerimientos ambientales para el cultivo de camarón *L. vannamei*.

<b>Parámetro</b>	<b>Valores recomendados (1)</b>	<b>Valores recomendados (2)</b>	<b>Valores recomendados (3)</b>
Temperatura (°C)	28 – 32	29 – 33	28 – 35
Oxígeno disuelto (mg·L <sup>-1</sup> )	3-10	4-10	4-10
Salinidad	4-30	5 – 35	5 -35
pH	7.0-8.3	7.0 – 8.5	7 - 9

(1) Tomado de Miranda *et al.* 2010; (2) Boyd & Haws, 2001; (3) Carta Nacional Acuícola 2012.

## **9. CRITERIOS ESPACIALES**

Se realizó una revisión bibliográfica, para identificar criterios para la selección de los sitios potenciales para el maricultivo de camarón en jaulas flotantes, los cuales pudieran sustentar la estimación cualitativa del nivel de potencialidad para el desarrollo del cultivo de camarón en jaulas en mar abierto de la zona costera de Oaxaca.

A continuación se enlistan los criterios obtenidos a partir de la investigación bibliográfica.

### **9.1 Temperatura**

Es el factor más importante que influye en el crecimiento de los organismos en cultivo, ya que los procesos vitales son controlados por esta variable y el oxígeno. La relación temperatura – oxígeno ocurre de la siguiente manera: Un incremento en la temperatura reduce la solubilidad del oxígeno y puede ocasionar un efecto indirecto de la calidad del agua mediante el aumento de la tasa metabólica. Por otra parte, debajo del intervalo óptimo se reduce el crecimiento e incrementa la susceptibilidad a enfermedades. Temperaturas extremas pueden alterar las funciones cardiovasculares, nerviosas, así como la acción de proteínas y enzimas (Tucker, 1998).

### **9.2 Oxígeno disuelto**

Es el elemento vital en las especies, esencial para el desarrollo de diversas funciones como la digestión, asimilación del alimento y crecimiento entre otros (Tucker, 1998; Vázquez-Olivares, 2009). La concentración no adecuada de oxígeno, afecta la alimentación, el factor de conversión alimentación y el crecimiento. En general, para las especies de agua cálida se recomiendan lugares con concentración de oxígeno disuelto mínimo de 4 mg/L para mantener un buen desarrollo durante el cultivo (Vázquez-Olivares, 2009).

### **9.3 Salinidad**

En los intervalos óptimos, es importante para mantener un balance de sal en los fluidos corporales, lo que facilita el intercambio de gases y mantener un equilibrio químico de líquidos (Tucker, 1998).

#### **9.4 PH**

Es un índice de acidez. Los cambios de pH afectan a los organismos mediante la alteración química del agua, aumentando o disminuyendo la toxicidad de sustancias disueltas y afectando el intercambio de gases entre los organismos y el agua. Valores extremos de pH pueden causar desbalance fisiológico y electrolítico, deterioro del intercambio gaseoso, daño en branquias y mortalidad. Tanto un pH bajo como alto puede causar retención de amonio (Tucker, 1998).

#### **9.5 Zona de Descarga**

Las unidades de producción deberán estar colocadas por lo menos a 2000 m de las zonas de descarga. Es importante colocar las unidades en zonas que no sean afectadas por descargas contaminadas y donde la dirección de la corriente favorezca su dispersión, debido a que las zonas con descargas, afectan la supervivencia de los organismos acuáticos (DGPA & SEDARPA, 2007; PLADEMEC, 2013).

#### **9.6 Corrientes**

En el tema de corrientes marinas, desde el punto de vista de la acuicultura, son corrientes costeras cuyo conocimiento y variaciones estacionales son muy locales. Sin embargo, en acuicultura no solo es necesario saber la dirección de la corrientes sino también su intensidad y velocidad para lo que se deberán estudiar las condiciones locales (Coll-Morales, 1991). Los sitios para instalar Jaulas deben presentar flujos o corrientes suficientes que permitan realizar un adecuado intercambio de agua con el fin de oxigenar el cultivo y alejar los posibles desechos del sistema. Es decir, en el sitio se necesita un régimen de corrientes; un sitio sin flujo de agua no es adecuado (Vázquez-Olivares, 2009). Velocidades de Corriente mayores a  $0.5 \text{ m} \cdot \text{seg}^{-1}$  son consideradas suficientes para permitir un buen intercambio de agua entre las jaulas y el océano. Lo que garantiza el aporte de oxígeno disuelto al interior de la jaula, eliminación de metabolitos, heces y alimento no consumido (DGPA & SEDARPA, 2007).

#### **9.7 Batimetría**

Deben evitarse los lugares donde la profundidad por debajo de las jaulas sea menor que dos veces la profundidad que alcance la jaula. Nunca debería situarse en zonas con menos de 15 m de profundidad (Borja, 2002). De acuerdo con las características técnicas que las jaulas el



criterio que se consideró para su instalación es de 30 y 40 m, esta profundidad no puede descartarse en el futuro inmediato (10 años) dado el constante avance tecnológico.

### **9.8 Fondo**

El tipo de fondo arenoso es característico de zonas con suficiente corriente de agua, lo que ayuda al saludable desarrollo de los organismos y se evita la acumulación de sedimentos en la jaula. El fondo limoso, limo-fangoso, fangoso es indicativo de áreas con alta eutroficación, por lo que no son áreas aptas para la instalación de las jaulas flotantes (DGPA & SEDARPA, 2007).

### **9.9 Oleaje**

Se encuentra en relación con la resistencia de las jaulas y con el estrés al que se ven sometidos los organismos, por tanto, con la viabilidad del negocio. Se debe asegurar que la frecuencia y alturas de la ola no sobrepasen los estándares de resistencia fijados para el modelo de jaula (Borja, 2002)

### **9.10 Vientos**

Debe ser tomado en cuenta como generador de oleaje. Para ello es preciso disponer de datos del lugar más cercano posible (Borja, 2002).

### **9.11 Localidades Costeras**

Las unidades de producción deberán estar a 10000 m de las localidades costeras, lo cual es clave para el manejo de los recursos acuícolas, ya que es la conexión con los centros de comercialización, distribuidores y compradores. Si está a más de 10000 m dificulta la conexión con centros de comercialización, distribuidores y compradores (DGPA & SEDARPA, 2007).

### **9.12 Acceso**

En la etapa pre-operativa, las vías de comunicación terrestre son importantes para el transporte de las partes que conforman cada estructura de cultivo. En la etapa de operación, para transporte de personal, insumos y producto hacia y desde la zona costera cercana al sitio de cultivo. Una distancia práctica para transportar vía marítima bienes y personal hacia y desde las unidades de cultivo es 10 km. Para implementar el criterio se consideraron los siguientes caminos: Pavimentada, terracería y brecha (DGPA & SEDARPA, 2007; PLADEMEC, 2013).

### **9.13 Electricidad**

Las localidades costeras deben tener una cobertura eléctrica en general y adecuada, para las instalaciones civiles y centro de operaciones requeridas para las granjas de camarón (DGPA & SEDARPA, 2007).

### **9.14 Desembocadura de ríos**

Los ríos descargan contaminantes a la zona costera que los rodea, de tal forma que las sustancias y materiales suspendidos o disueltos en el agua entran al mar y pueden avanzar sin diluirse. Estos contaminantes pueden llegar a las unidades de cultivo y producir enfermedades, estrés e incluso la muerte de los organismos en cultivo. Por lo tanto son lugares donde se puede presentar problemas de contaminación (Tucker, 1998). El área de exclusión alrededor de los ríos caudalosos abarca un radio de 20 km, para los ríos no caudalosos abarca un radio de 12 km. Se considera que estas distancias permiten que el agua que llegue a las estructuras de cultivo proveniente de los ríos está suficientemente diluida para evitar afectar a los organismos de cultivo.

### **9.15 Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

En el área de estudio se encuentran dos: El Parque Nacional Huatulco y Parque Nacional Lagunas de Chacahua, el primero posee superficie marina de 5, 516.00 Ha, y el segundo no posee superficie marina. Por lo tanto el polígono de la Superficie marina del Parque Nacional Huatulco es un área de exclusión (CONANP).

### **9.16 Sitios marinos prioritarios para la conservación**

Son áreas que tiene características ecológicas relevantes, las cuales se le da una preferencia sobre otras zonas para ser conservadas (Koleff *et al.*, 2009; Carreño-Reyes, 2017). Estas áreas se integran para una mejor caracterización y discriminación de la porción marina. Por lo cual esta es una zona excluida o con restricciones para la colocación de jaulas flotantes para el cultivo de camarón.

## ***10. SELECCIÓN DE JAULAS (INFRAESTRUCTURA DE CULTIVO)***

Para la selección de los diferentes modelos de instalaciones flotantes se utilizaron los siguientes criterios:

- Posibilidad de transferencia de la tecnología.
- Uso de distintos tipos de jaulas, tecnología y resistencia en condiciones climatológicas adversas.
- Que hubiesen sido probados en el ámbito mundial con resultados satisfactorios.

Siguiendo estos criterios se decidió por 3 tipos de jaulas: Hércules de 6, 000 m<sup>3</sup>, TLC de 1, 800 m<sup>3</sup> y Sea Station de 3, 000 m<sup>3</sup>, las imágenes de cada jaula se presentan en la sección de Anexos A, B y C respectivamente. A continuación se mencionan las características y especificaciones de las Jaulas, descritas por: Sánchez-Lamadrid & Muñoz-Pérez (2001), Pardo-Sempere & Rodríguez-Alcaide (2005) y Muñoz-Muñoz (2008).

### **10.1 Jaula HÉRCULES - 6000 m<sup>3</sup> (España)**

Este tipo de jaula se clasifica como una jaula de gravedad, son las más utilizadas, son circulares de 25 m de diámetro. Posee 8 puntos de anclaje flexibles, 4 de ellos reforzados con muertos de 5 toneladas. Está formada por dos coronas concéntricas y una corona superior que sirve de baranda de operación, resisten olas de hasta 7 m y vientos de 120 km/h, se presentan formando un rectángulo (Figura A; Anexos).

- Gran difusión de este tipo de jaula en el sector
- Bajo costo por metro cúbico
- Facilidad de cosecha
- Alta resistencia

### **10.2 Jaula TLC 1800 m<sup>3</sup> REFA MEDITERRANEAN SRL (Italia)**

Es una estructura sumergible de polietileno fondeada en la vertical y cuyo principio de acción se basa en la capacidad de sumergirse cuando la corriente supera los 0.3 m/seg. Debido al

reducido volumen de la parte emergida, la red mantiene su posición mediante boyas de profundidad. El sistema de anclaje vertical está compuesto por 6 muertos de hormigón de 3.5 Tm (Figura B; Anexos).

- Bajo costo tanto por unidad como por metro cúbico
- Superficie de fondeo reducida
- Mecanismo de auto reacción a las condiciones adversas

### **10.3 Jaula SEA STATION 3000 m<sup>3</sup> OCEAN SPAR CAGE LLC. (USA)**

Se trata de una jaula de flotabilidad controlable construida en acero galvanizado, con un eje cilíndrico vertical en cuyos extremos se fija la red. Mantiene el volumen de la estructura gracias a la acción de un anillo circular también de acero. La instalación se fondea mediante cuatro puntos de anclaje. Cada una de las líneas de anclaje posee una boya estabilizadora, que tiene la función de mantener la tensión de las líneas cuando se varía la posición de la jaula en la columna de agua. Tanto el volumen como la forma se ven mínimamente afectados por la corriente, soportando olas continuas de más de 7 m, al poder ser sumergida y elevada a la superficie cada quince minutos. La jaula esta provista de entradas hechas con cierres para facilitar el acceso de los buzos al interior para hacer maniobras de recolección de organismos muertos. Ejemplo: Sea Station de 3, 000 m<sup>3</sup> de capacidad, 24 m diámetro y 15 m de profundidad. El eje cilíndrico vertical es de 15 m de longitud, y el anillo circular de 25 m de diámetro (Figura C; Anexos).

- Alto costo de adquisición.
- La estructura es sumergible con facilidad en menos de 5 minutos.
- Posee una alta fiabilidad de resistencia frente a temporales cuando se encuentra sumergida.
- Alta calidad y resistencia de los materiales utilizados en la red, cabos, etc.
- Se ha instalado con éxito en zonas expuestas como las Islas de Hawái, Golfo de México y las costas de Nueva York.
- Posibilidad de mantener la jaula sumergida durante los temporales.

A continuación se muestra un resumen de las características técnicas con las cuales cuentan las jaulas seleccionadas para este estudio (Tabla 2).

Tabla 2: Características técnicas de las jaulas definidas para este estudio

<b>Modelo/Jaula</b>	<b>Empresa</b>	<b>Capacidad (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Instalación</b>
Hércules (Flexible flotante)	CORELSA, S. A (España)	6,000	Olas: hasta 7 m Vientos: 120 km/h	Laboriosa
TLC Sumergible	REFA MEDITERRANEAN SRL. (Italia)	1,800	Corrientes mayores a 0.3 m/seg	Sencilla
Sea Station Sumergible	OCEAN SPAR CAGE, Llc. (Estados Unidos)	3,000	Olas: continuas de más de 7 m Vientos: 12 grados (+ 118 km · h <sup>-1</sup> ) Corriente: ≤1.5/1.7 m/seg.	Laboriosa

## 11. MÉTODO

### 11.1 Clasificación de los criterios en Factores

Se clasificaron los criterios a partir de la selección y adaptación de un modelo jerárquico (Figura 2) considerando los factores espaciales de calidad de agua, ambiente marino, infraestructura y superficie, de acuerdo a la información disponible y definiciones establecidas en la técnica multicriterio (MCE) que se encuentra descrita en el marco teórico. En la Tabla 3 se pueden observar los criterios correspondientes a cada factor, los cuales permitieron evaluar de una forma sencilla cada una de ellos.

Tabla 3. Clasificación de criterios en factores espaciales. Adaptación realizada a partir de: Shen, 2010 y PLADEMEC 2013.

<b>Criterios</b>	<b>Factor</b>
Temperatura Oxígeno disuelto pH Salinidad	<b>Calidad del Agua</b>
Profundidad Corrientes Vientos Oleaje Tipo de Fondo	<b>Ambiente Marino</b>
Localidades Costeras Acceso Electricidad Población Económicamente Activa	<b>Infraestructura</b>
Superficie Disponible	<b>Área</b>

Una vez definidos los factores con sus respectivos criterios, el siguiente paso consistió en definirles un intervalo de valor (Tabla 4) de acuerdo a la literatura encontrada y con base a los requerimientos de la especie (Tabla 1), así como las características de ingeniería de la infraestructura de cultivo que se propone para este estudio (Tabla 2), debido a que esta infraestructura está disponible en el mercado y estar probadas en condiciones adversas (Sempere y Rodríguez-Alcaide, 2005; Muñoz, 2008; Sánchez-Lamadrid & Muñoz-Pérez, 2001).

## 11.2 Marco metodológico

Como primer paso se realizó un diagrama de flujo en el cual se resume el proceso para la ubicación de sitios potenciales para el cultivo de camarón asociada a la infraestructura para el litoral Oaxaqueño (Figura 2). Que sirve como una guía gráfica para la aplicación del método utilizado. Se trabajó en las plataformas ArcMap® y TreeDSS® (Bello-Pineda *et al.*, 2010). Se descargaron las capas disponibles en formato raster. Es muy importante dejar en claro que no se encontraron capas de todos los criterios, por lo que se realizó una aproximación espacial. En la Tabla 5, se pueden observar las capas iniciales de trabajo con las que se evaluó cada criterio y el Geoproceso que se le dió a cada una de ellas mediante un SIG.

Tabla 4.- Valores definidos para los criterios y los factores con base a la literatura encontrada y la opinión de expertos en materia de cultivo de camarón.

Factor	Criterio	Valores	
		Óptimo	No óptimo
<b>Calidad del Agua</b>	Temperatura (°C)	28 – 32	33 - 40
	Oxígeno Disuelto (mg · L <sup>-1</sup> )	4 – 5	2 - 3
	pH	7.5 – 8.5	8.6 – 10
	Salinidad	30 – 35	36 – 42
<b>Ambiente Marino</b>	Profundidad (m)	30 – 40	41 – 50
	Corriente (m · s <sup>-1</sup> )	0.4 – 1.7	0.01-0.3
	Vientos (Km · h <sup>-1</sup> )	10 – 120	13 – 180
	Oleaje	0.1 – 7	8 – 10
	Tipo de fondo	Arenoso	Limoso/Fangoso
<b>Infraestructura</b>	Localidades Costeras (Km)	2 - 10	> 10
	Electricidad	Si	No
	Acceso	Pavimentada	Brecha
	PEA	40 – 100	5 – 39
<b>Restricciones</b>	Desembocadura de Ríos	Las unidades deben estar a un mínimo de 2000 m de la desembocadura del rio	
	Área Naturales Protegidas	La superficie marina no se considera por la restricción administrativa	
	Sitios Marinos Prioritarios para la conservación	La superficie marina no se considera por la restricción administrativa	

\*PEA: Población Económicamente Activa

Tabla 5. Resumen de los geoprocursos aplicados en las capas de los criterios de cada factor.

<b>Criterio</b>	<b>Capa Inicial</b>	<b>Geoprocuro</b>
<b>Temperatura superficial del Mar (° C)</b>	Bio-Oracle Ocean Raster for Analysis of Climate and Environment	ArcMap 10.2.1 Georreferenciación, Recorte Extraction Interpolación Kriging Homogenización tamaño
<b>Oxígeno (mg · L<sup>-1</sup>)</b>	Bio-Oracle Ocean Raster for Analysis of Climate and Environment	ArcMap 10.2.1 Georreferenciación, Recorte Extraction Interpolación Kriging Homogenización tamaño
<b>pH</b>	Bio-Oracle Ocean Raster for Analysis of Climate and Environment	ArcMap 10.2.1 Georreferenciación, Recorte Extraction Interpolación Kriging Homogenización tamaño
<b>Salinidad</b>	Bio-Oracle Ocean Raster for Analysis of Climate and Environment	ArcMap 10.2.1 Georreferenciación, Recorte Extraction Interpolación Kriging Homogenización tamaño
<b>Corrientes (m · s<sup>-1</sup>)</b>	Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies HYCOM + NCODA	Aproximación espacial validado por un experto en Oceanología
<b>Vientos (m · s<sup>-1</sup>)</b>	Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies + NCODA	Aproximación espacial validado por un experto en Oceanología
<b>Oleaje (m)</b>	Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies + NCODA	Aproximación espacial validado por un experto en Oceanología
<b>Fondo</b>		Validado por experto en Oceanología
<b>Localidades costeras</b>	Localidades México INEGI	ArcMap Tabla de atributos
<b>Acceso</b>	Recopilación de datos georreferenciados de INEGI	ArcMap Selección de Tabla de Atributos
<b>Electricidad</b>	Recopilación de datos georreferenciados de INEGI	ArcMap Tabla de atributos
<b>Población Económicamente Activa</b>	Recopilación de datos georreferenciados de INEGI	ArcMap Selección de Tabla de Atributos



La clasificación de los criterios se llevó a cabo para poder discriminar algunos criterios que presentaron alguna restricción – limitación, ya sea de carácter administrativo o de ingeniería. Por lo tanto estos criterios se clasificaron en restricciones (Tabla 6). Por las características de ingeniería que presentan los modelos de las jaulas se propone una profundidad de 30 m para evitar el riesgo de azolverse o arrastrarse la jaula, por lo cual, se decidió definir la profundidad de instalación en el intervalo de 30 a 40 m. No se puede descartar la posibilidad en un futuro inmediato (10 años) la instalación de jaulas a esas profundidades, dado el constante avance tecnológico.

### 11.3 Homogenización de resoluciones de los raster

Uno de los geoprocursos con los cuales se trataron las capas de interés fue la homogenización de acuerdo al mapa base para hacer el análisis una con otra: Mismo pixel, número de pixeles y sistema de coordenadas de proyección, ya que los raster que se descargaron estaban a una escala mundial. Este procedimiento se realizó para los raster destinados al análisis de calidad de agua. Anteriormente, se mencionó que no se encontraron todas las capas, como lo fue para los criterios de corrientes, vientos y oleaje, debido a que la escala que se disponía era demasiado grande, por lo tanto se realizó una aproximación espacial de estos criterios y se colocaron en una tabla de atributos. Para los criterios de infraestructura se realizó una tabla de atributos con datos recopilados de INEGI.

Tabla 6. Clasificación de criterios discriminados en Restricciones

<b>Restricciones</b>	<b>Capa Inicial</b>	<b>Geoproceso</b>
Áreas Naturales Protegidas Federales	ANP Federales CONABIO	ArcMap Erase
Desembocadura de Ríos	Ríos CONABIO	ArcMap Erase
Sitios Marinos Prioritarios para la Conservación	Sitios Prioritarios Marinos para la Conservación CONABIO	ArcMap Erase
Profundidad (m)	Batimetría ETOPO 11Arc Global Relief Model	ArcMap Reclass Interpolation

A continuación se muestra el resumen de la clasificación de todos los criterios en factores y restricciones (Tabla 7).

Tabla 7. Resumen de las restricciones y factores utilizados para el análisis multicriterio

<b>Restricciones</b>	<b>Factores</b>
Áreas Naturales Protegidas Federales	Calidad del Agua
Desembocadura de Ríos	Ambiente Marino
Profundidad	Infraestructura
Sitios marinos prioritarios para la conservación	Área disponible

A partir de los valores que se le asignó a cada uno de los criterios se construyeron los árboles de decisión en el software TreeDSS<sup>®</sup> y el mapa base con los valores de las restricciones (Tabla 4). En el árbol de decisiones se combina cada uno de los criterios de cada factor, dependiendo del número de criterios será el número de combinaciones posibles.

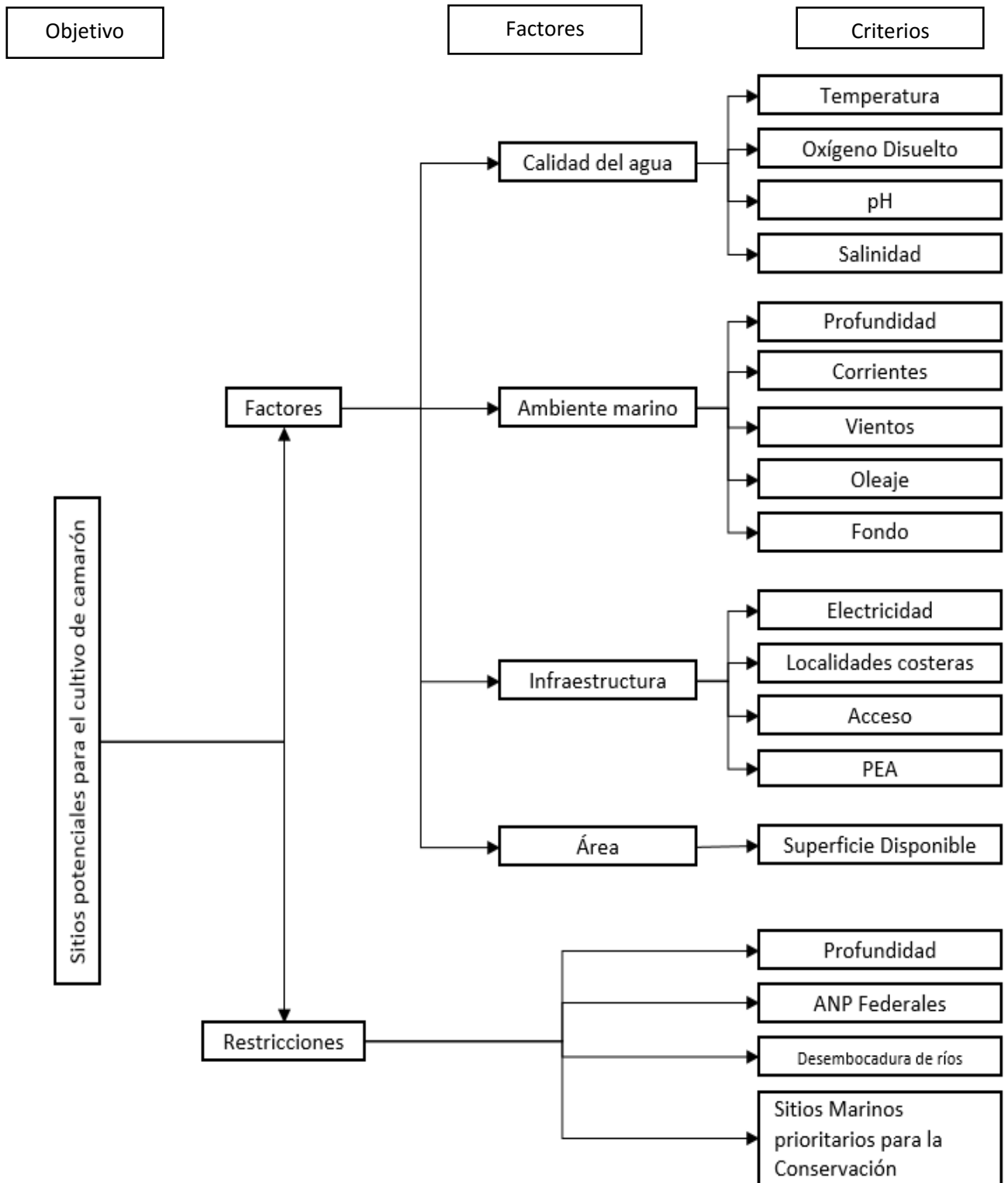


Figura 2. Adaptación de Modelo jerárquico a partir de: Shen (2010) y PLADEMEC (2013) Áreas Naturales Protegidas (ANP); Población Económicamente Activa (PEA)

#### 11.4 Definición del grado de aptitud de los factores

Por la manera en como el programa (TreeDSS) arroja los resultados, fue necesario definir una calificación al grado de potencial. En la Tabla 8 se observan los valores del potencial que se establecieron, siendo una zona “no óptima” un valor de 1 y siendo para una zona “óptima” un valor de 2.

Tabla 8. Definición del grado de potencial de las variables

Factores	Escala de Idoneidad	
	Denominación	
	Óptimo	No óptimo
Calidad del Agua	2	1
Ambiente Marino	2	1
Infraestructura	2	1
Área	2	1

#### 11.5 Creación de árboles de decisión y Consulta de expertos

Una vez clasificados los criterios y definidos los valores de idoneidad, se crearon árboles de decisión para los factores calidad de agua, ambiente marino e infraestructura, posteriormente se realizó una consulta con expertos en materia de cultivo de camarón, obteniendo la valoración para cada una de las combinaciones posibles de los árboles de decisión. Los Expertos fueron:

- M. en C. José Arturo Martínez Vega Profesor-Investigador en la Universidad del Mar *Campus* Puerto Ángel.
- M. en C. Pablo Torres Hernández Profesor-Investigador en la Universidad del Mar *Campus* Puerto Ángel.
- Oceanólogo. Pablo Antonio Pintos Terán, Profesor-Investigador en la Universidad del Mar *Campus* Puerto Ángel.
- Dr. Austreberto Cristóbal Reyes Hernández Profesor-Investigador de la Universidad del Mar *Campus* Puerto Ángel.

Cada árbol de decisión fue calificado según la combinación de sus escenarios en: Óptimo y no óptimo.

## **11.6 Mapa Base**

Después de realizar la identificación de zonas con restricciones para su aprovechamiento se obtuvieron polígonos, los cuales forman el mapa base (Figura 4), sobre el cual se realizó la evaluación del potencial de calidad del agua, ambiente marino e infraestructura, para la selección de los sitios potenciales para el cultivo de camarón. A estos polígonos resultantes se les realizó la evaluación del potencial para cada una de los factores que se presentan en este estudio. Por lo tanto se define como la cantidad de territorio que posee el potencial para el desarrollo de esta actividad.

## **11.7 Ejecución de los árboles de decisión**

Con la calificación de los expertos se realizó la ejecución de los árboles de decisión por medio del software TreeDSS, para cada uno de los factores, se ejecutaron 3 árboles de decisión, el primero contiene la evaluación de la calidad del agua (Figura 5), el segundo del ambiente marino (Figura 5) y el tercero de infraestructura (Figura 6).

Por último se creó un árbol en el que interactuaban los valores cualitativos de calidad de agua, ambiente marino, infraestructura y área disponible, para valorar la disponibilidad de los polígonos de superficie marina para su aprovechamiento (Figura 12), calificando sus combinaciones en potencial “óptimo” y “no óptimo”.

## **12 RESULTADOS**

A continuación se reportan los resultados obtenidos después de la ejecución de los ejercicios realizados anteriormente. Se ordenan cronológicamente.

El diagrama fue obtenido por medio de la revisión bibliográfica de literatura especializada en temas de cultivo de camarón en estanques, así como en jaulas flotantes, además del manejo de los SIG para su desarrollo. De esta manera se obtuvo un método de aplicación para la zona costera del estado de Oaxaca. Lo cual puede ser replicable para cualquier parte del territorio nacional, con alguna otra especie de interés, tipo de infraestructura, limitado únicamente por la disponibilidad de datos espaciales (Figura 3).

### **12. 1 Mapa Base**

Se obtuvo a partir de los criterios clasificados en las restricciones, en el que se obtuvieron 35 polígonos de superficie marina de la zona costera del estado de Oaxaca, estos representan 893.56 Km<sup>2</sup> (Figura 4). En cuanto al área correspondiente de manera individual para cada polígono, los valores van desde 0.0074 a 391 Km<sup>2</sup>.

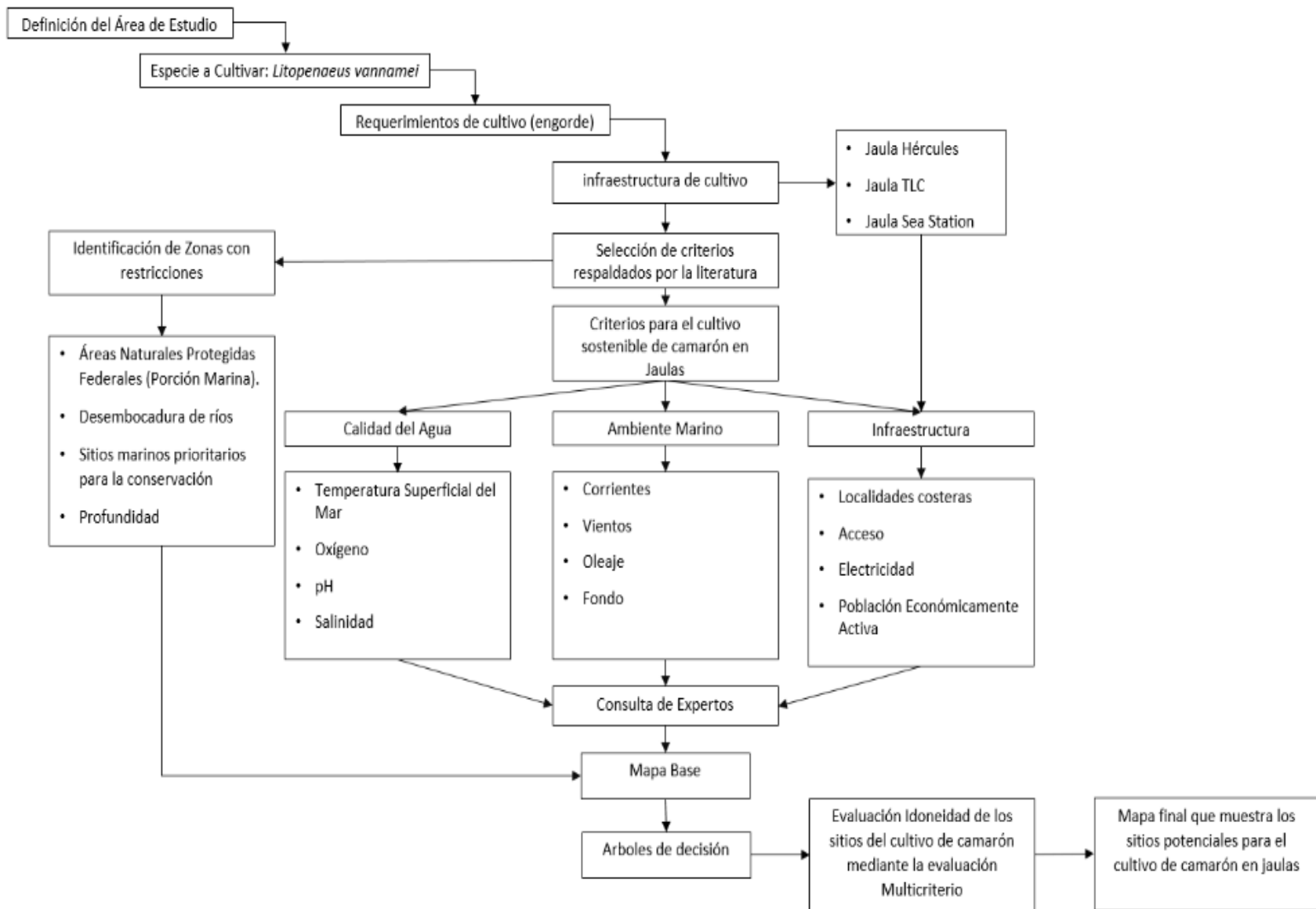


Figura 3. Diagrama de Flujo para la ubicación de sitios potenciales para el cultivo de camarón asociada a la infraestructura para el Litoral Oaxaqueño.

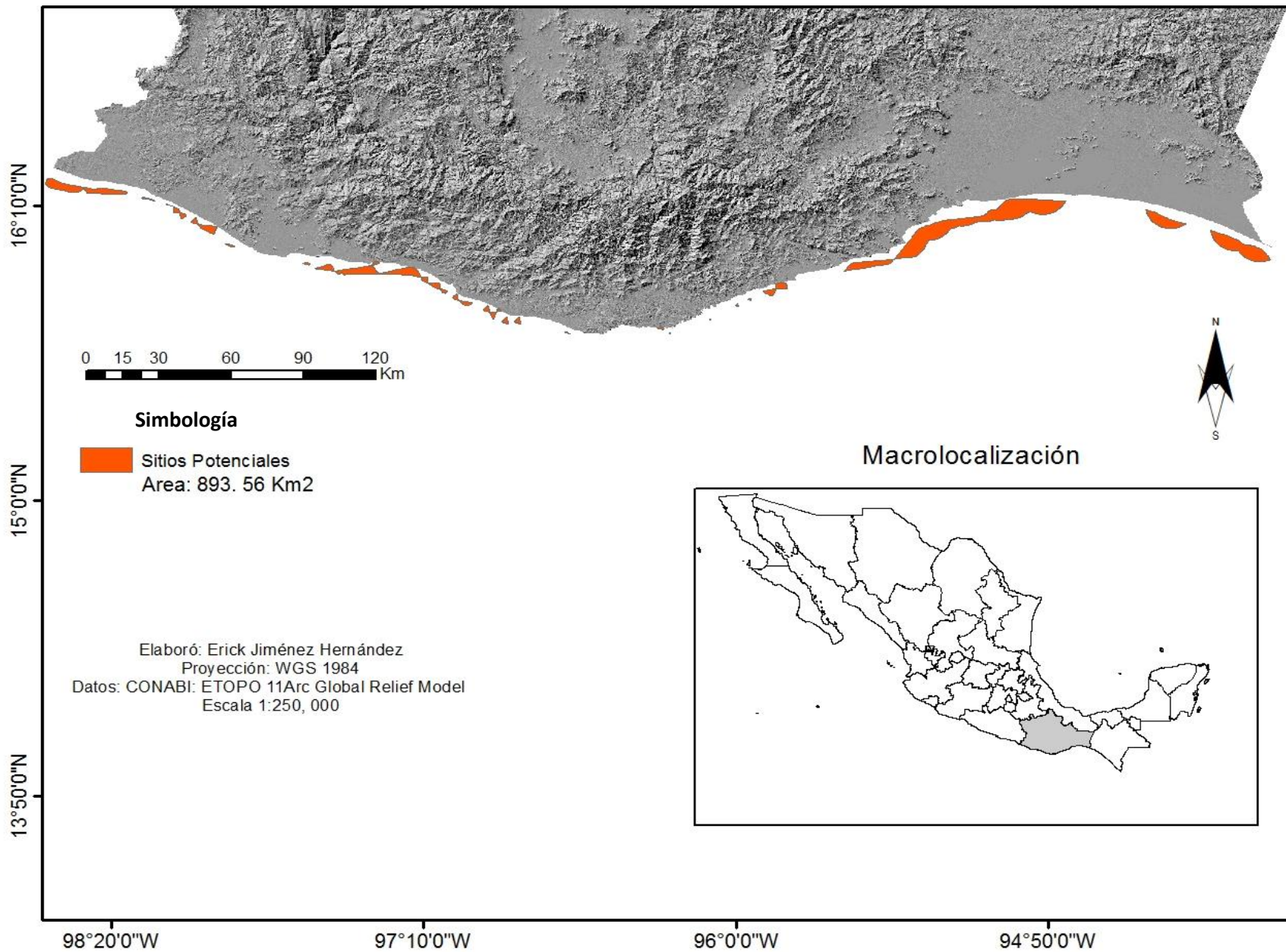


Figura 4. Ubicación de los sitios potenciales para el cultivo de camarón en el litoral oaxaqueño



## 12.2 Árboles de decisión

El resultado de los árboles de decisión para el factor calidad del agua el número de criterios fue 4, lo que nos da un total de 16 escenarios posibles, tomando en cuenta todas las posibles combinaciones (Figura 5). Para el factor ambiente marino el número de criterios fue 5 los que nos da un total de 25 escenarios posibles (Figura 6). En el factor infraestructura el número de criterios fue de 4 los que nos da un total de 16 escenarios posibles (Figura 7).

Para el último árbol donde se combinaron todos los valores cualitativos de todos los factores se obtuvo un total de 16 escenarios posibles (Figura 8).

## 12.3 Potencial de idoneidad

En la evaluación de la calidad del agua se obtuvo que toda el área a evaluar (Figura 4) resultó ser óptima para el cultivo de camarón, como se muestra en las Figuras 9, 10, 11 y 12, en las cuales se muestran los valores de Temperatura: 28.470 – 30.86 ° C, Oxígeno Disuelto: 4.57 – 4.86 mg · L<sup>-1</sup>, pH: 8.20 – 8.22, Salinidad 34.18 – 34.28 respectivamente.

De los 32 polígonos con potencial para el desarrollo del cultivo de camarón, 13 polígonos se consideraron con un potencial “Óptimo” con una superficie marina de 560.364 Km<sup>2</sup> y 332.82 Km<sup>2</sup> se consideraron con un potencial “No óptimo”, lo que corresponde a un 63 % y 37 % respectivamente, del total de la superficie marina con potencial (Figura 13). Esto facilita la ubicación de un sitio apto para el cultivo, es decir, la probabilidad de éxito y potencial de cultivo, ya que el análisis y manipulación de base de datos se obtiene una imagen fina (Ubicación de sitios con potencial “óptimo” y “no óptimo”).

Los resultados obtenidos muestran sitios con potencial óptimo para una oportunidad de desarrollo de la acuicultura en mar abierto (off-shore) en la zona costera del estado, además, se presenta la localización de sitios con una localización de sitios óptimos para la implementación de unidades de producción acuícola (granjas de carácter intensivo). Además de un inventario de superficie marina disponible (560.364 Km<sup>2</sup>) con potencial óptimo.

Como se observa en la Figura 13, existe un potencial “óptimo” para el desarrollo del cultivo de camarón en jaulas solo en algunas zonas del área de estudio. En la parte central Oeste, en la costa de los municipios de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, San Pedro Mixtepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca; así como en la zona, Centro Este, frente a los municipios de Santiago Astata, Santo Domingo Tehuantepec, Salina Cruz, San Mateo del Mar, Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza y San Dionisio del Mar siendo los polígonos de mayor tamaño y se puede

afirmar, que de acuerdo con los criterios aplicados en este estudio, estos son los sitios que conjuntan las mejores condiciones en cuanto a planificación para el desarrollo del cultivo de camarón en jaulas en mar abierto.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una herramienta útil a la hora de tomar decisiones sobre donde ubicar instalaciones de acuicultura en mar abierto. Así mismo, ha proporcionado información inicial para la expansión, aprovechamiento y desarrollo sobre áreas de la zona costera de Oaxaca desde el punto de vista de espacial que permite la selección de 13 polígonos de superficie marina para su aprovechamiento y desarrollo.

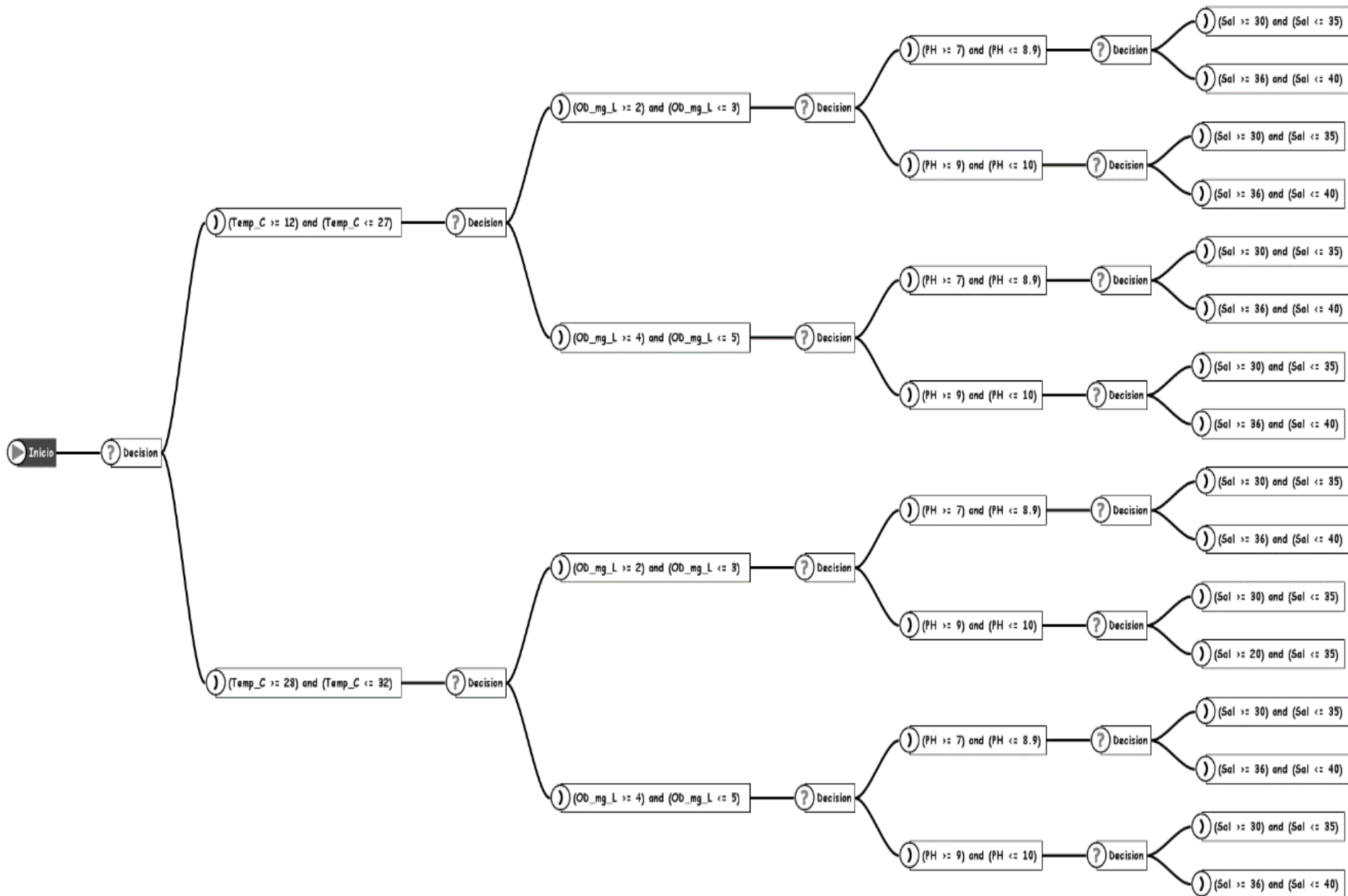


Figura 5.- Árbol de decisión para la evaluación del factor calidad del agua

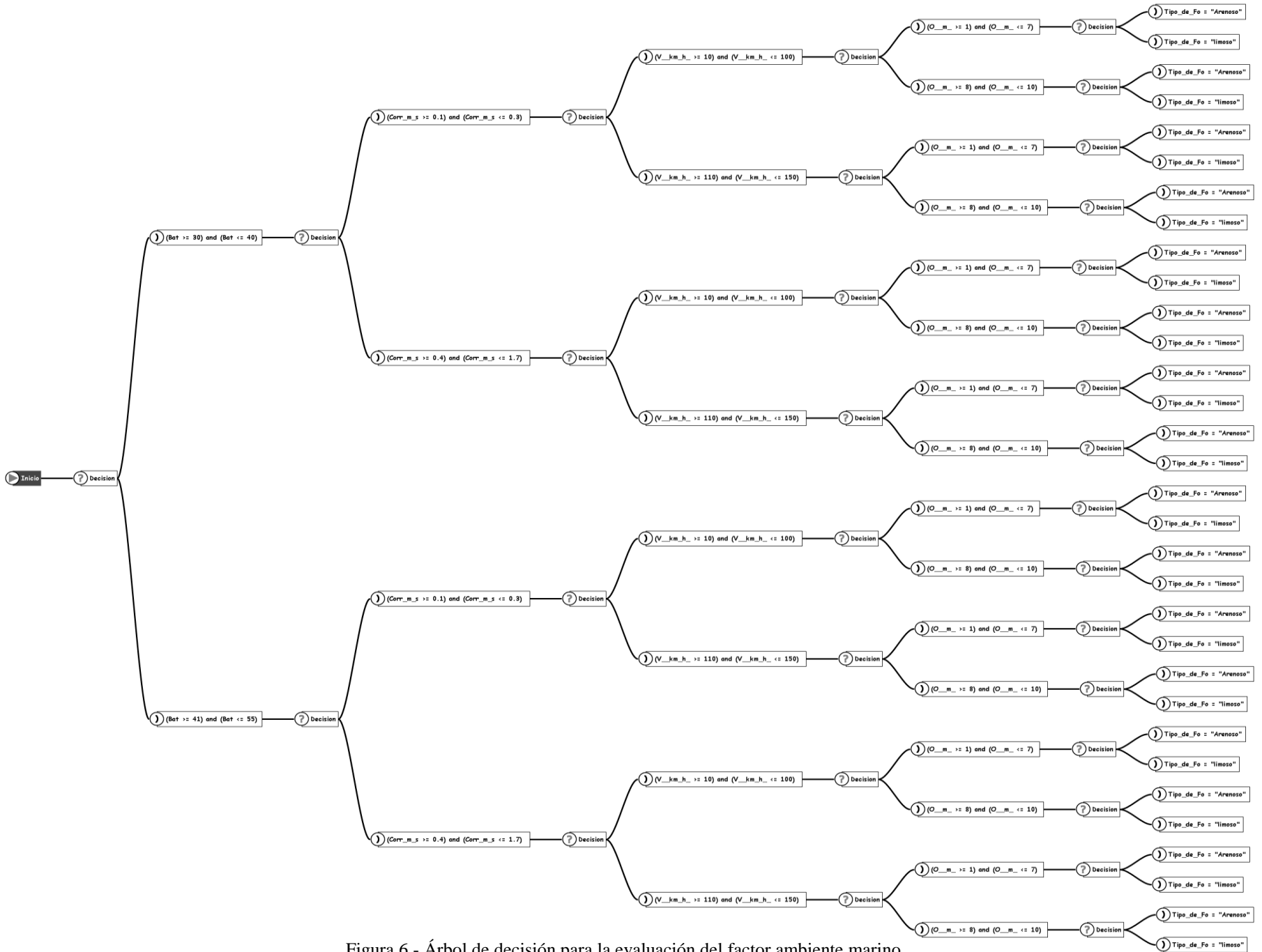


Figura 6.- Árbol de decisión para la evaluación del factor ambiente marino

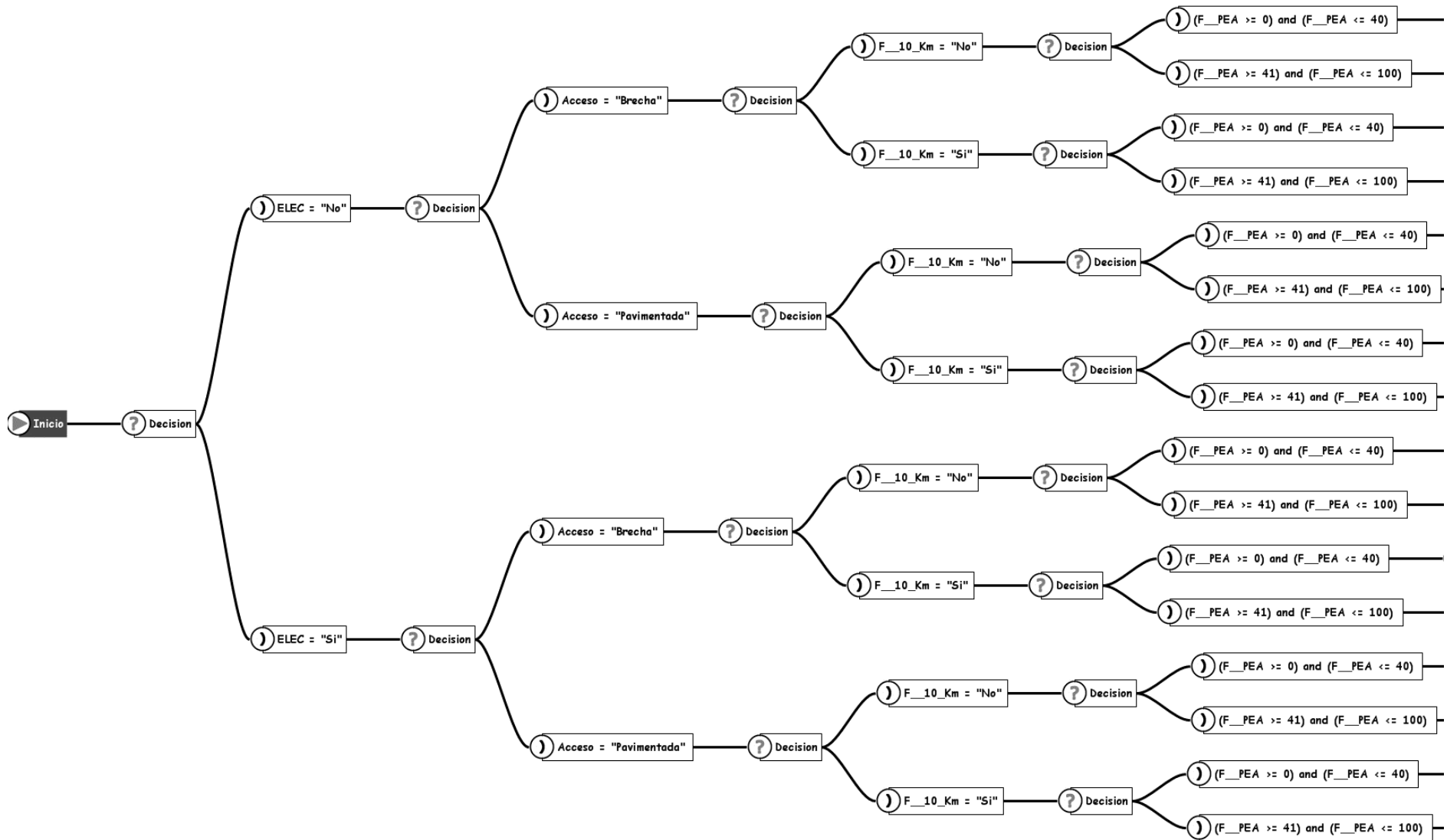


Figura 7.- Árbol de decisión para la evaluación del factor infraestructura

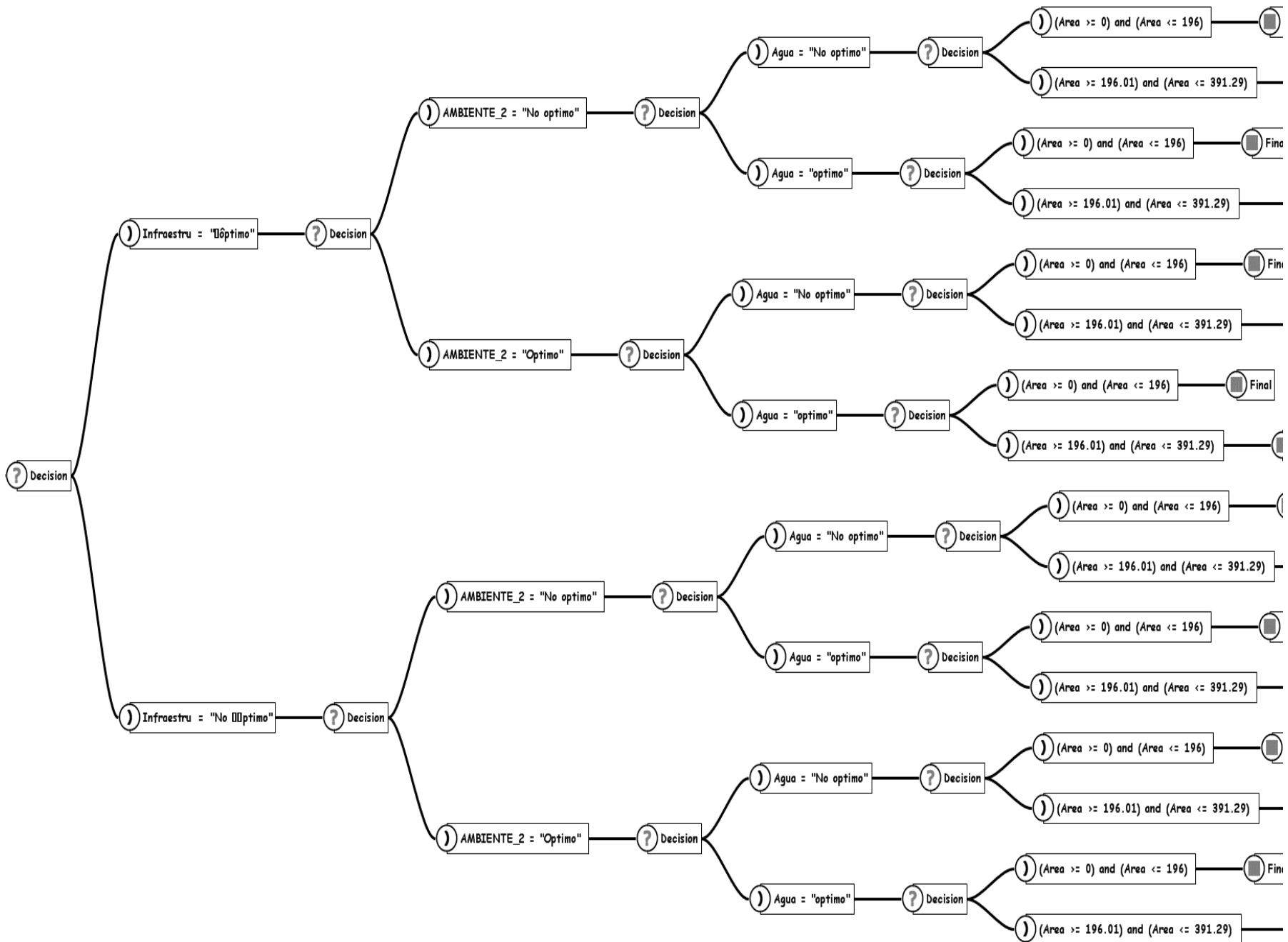


Figura 8.- Árbol de decisión área disponible en Km<sup>2</sup>

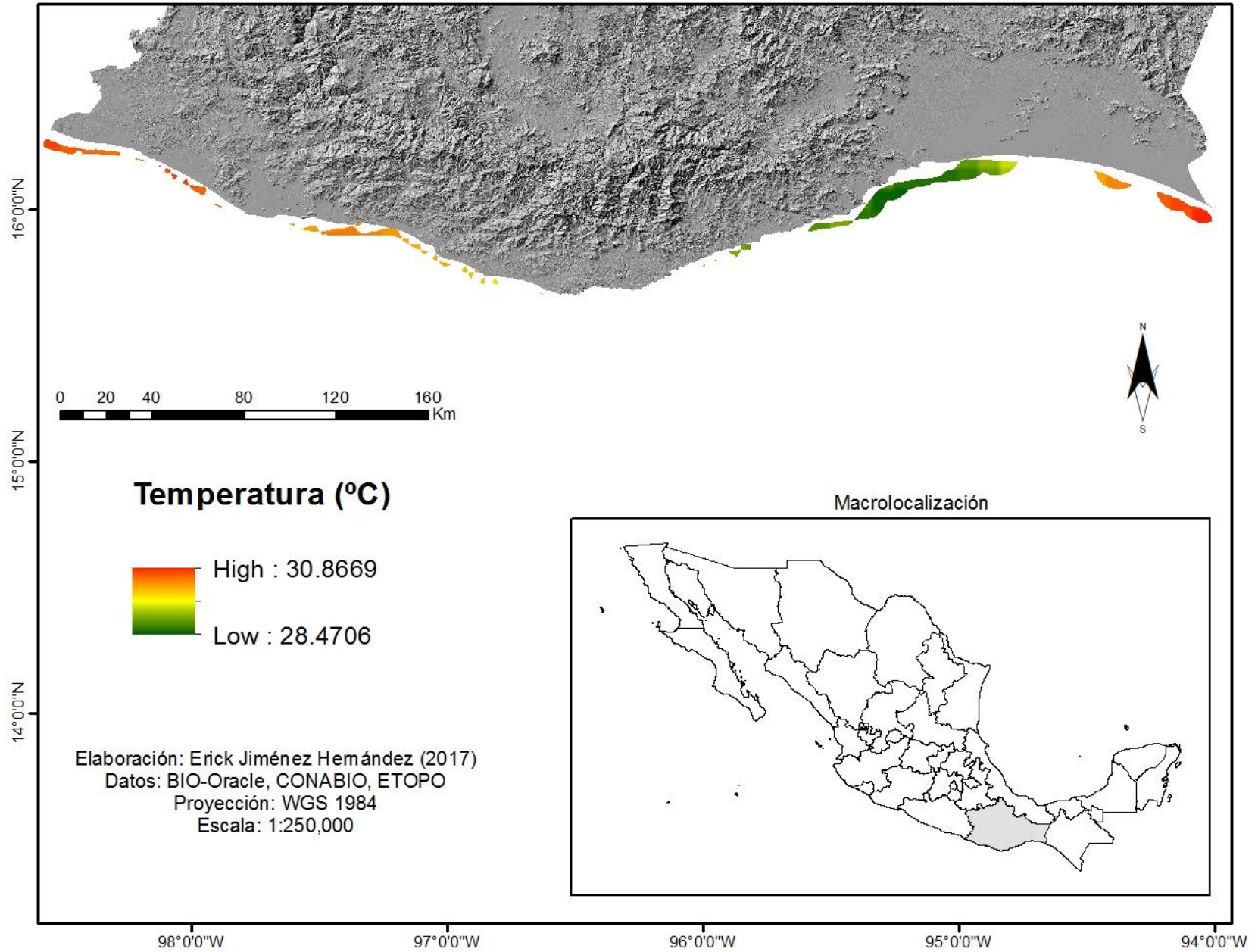


Figura 10.-Factor calidad del agua: Temperatura

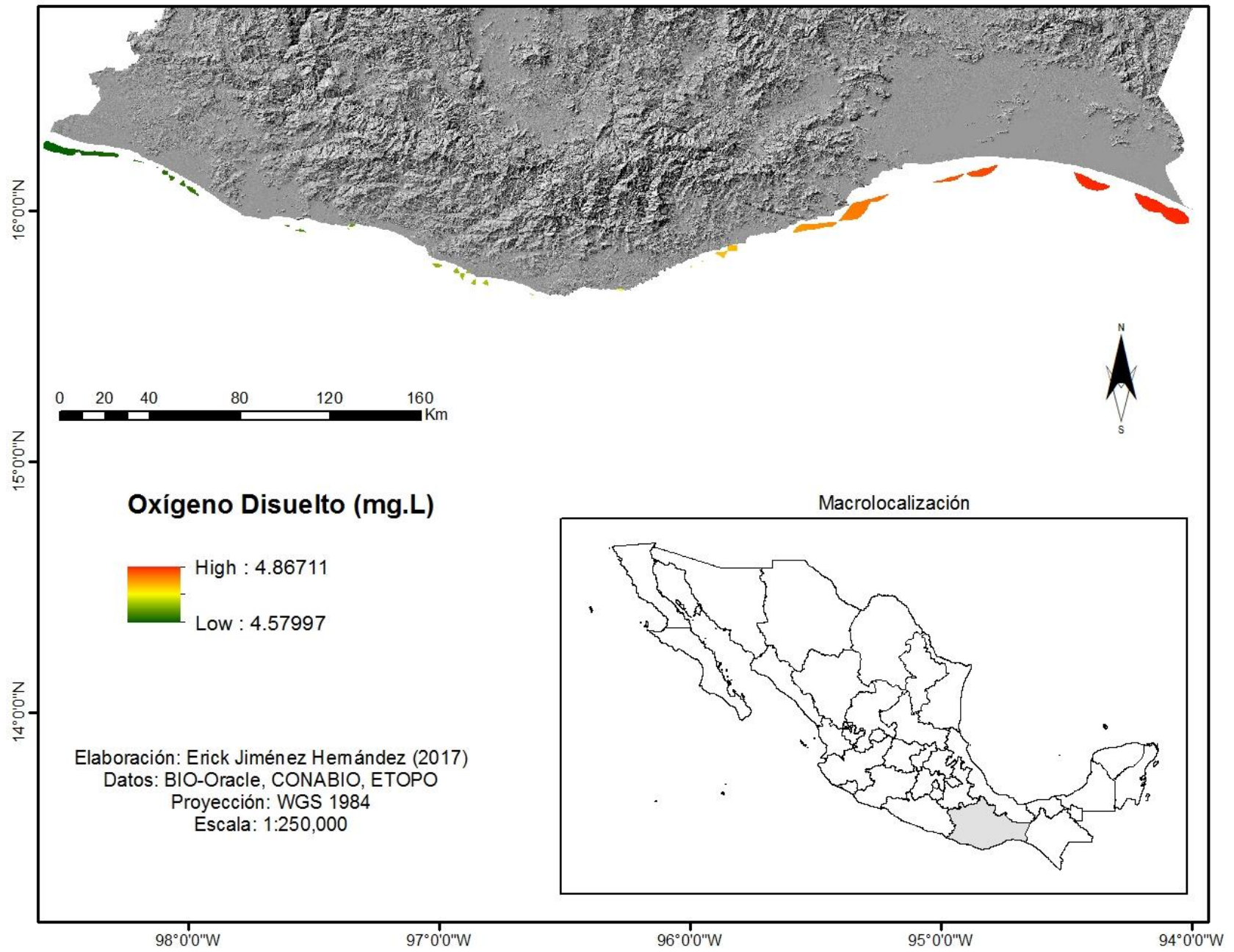


Figura 10.-Factor calidad del agua: Oxígeno disuelto



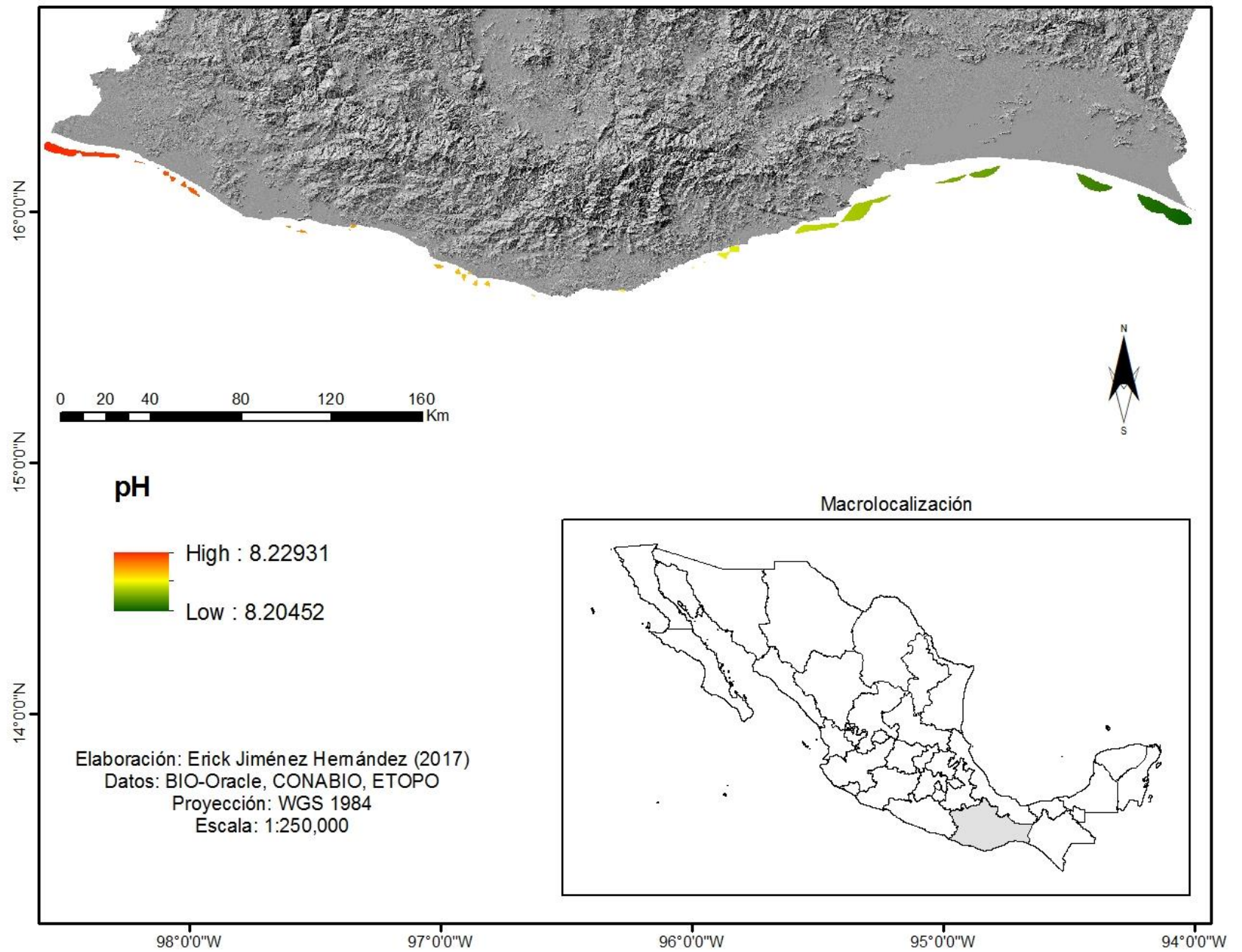


Figura 11.- Calidad de agua: PH

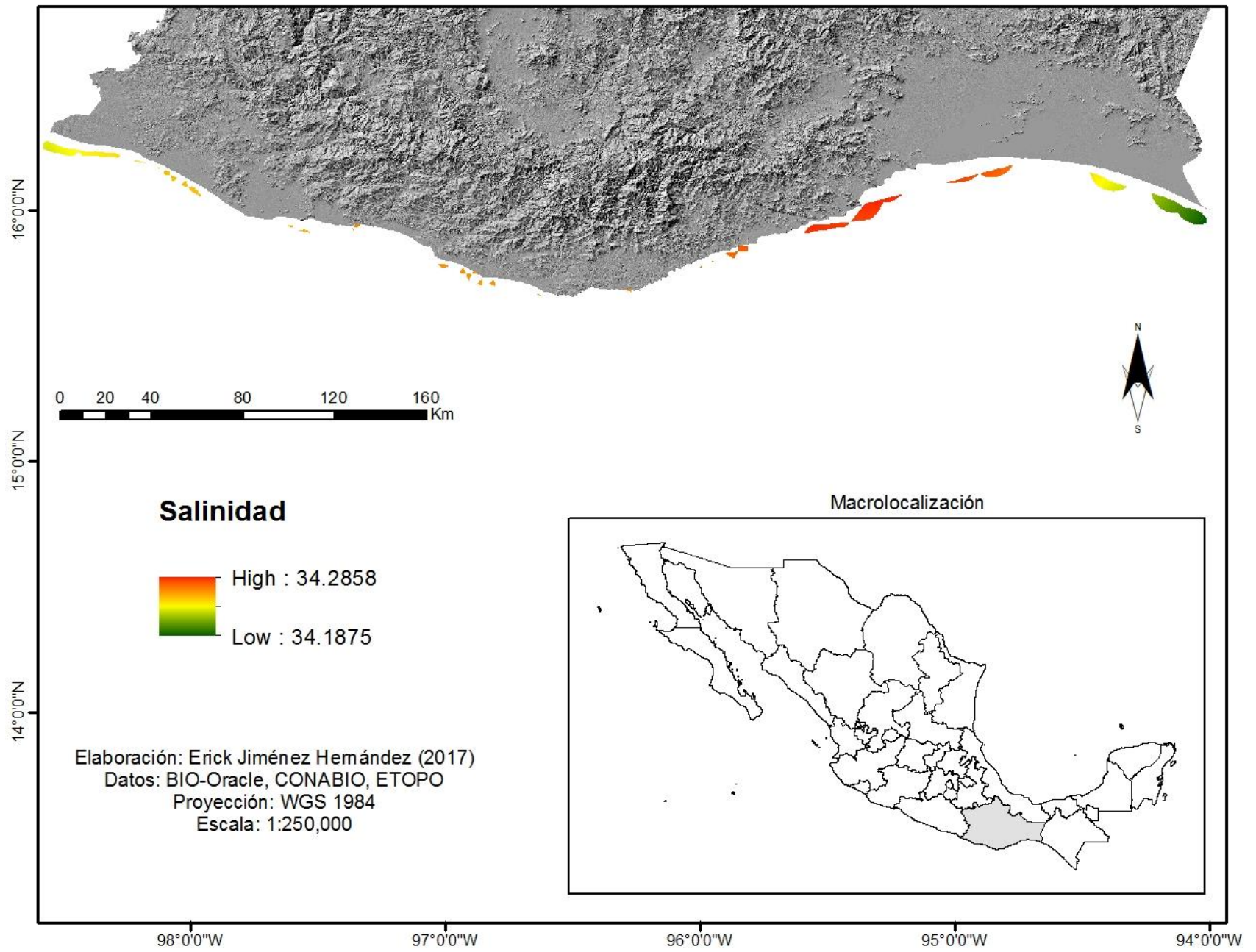


Figura 12.- Factor Calidad del agua: salinidad

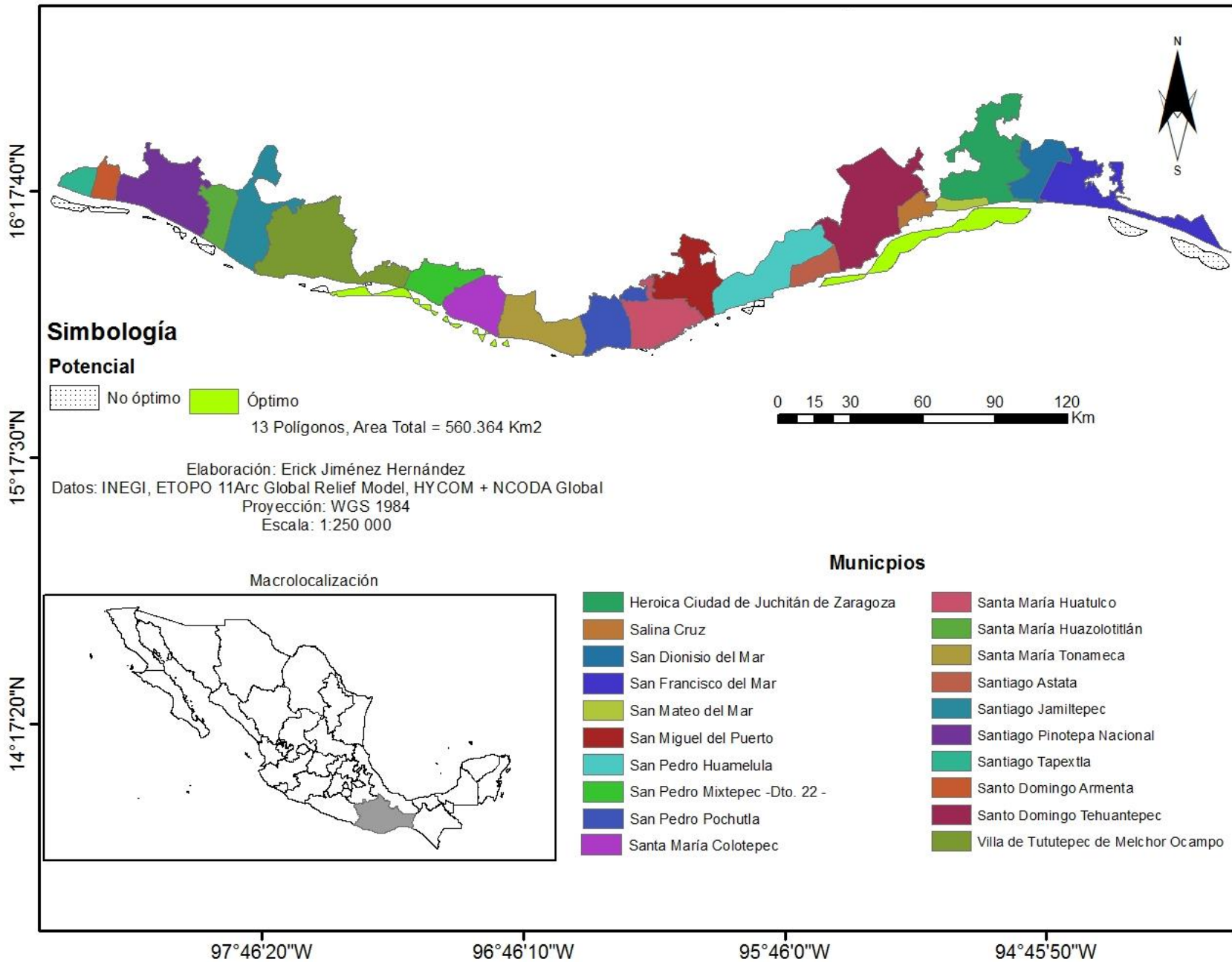


Figura 13.- Sitios con Potencial: “Óptimo” y “No óptimo” para el cultivo de camarón en el litoral en el Litoral del Estado de Oaxaca

### 13 DISCUSIONES

El camarón es el producto más importante económicamente hablando en la industria acuícola, ha sido demostrado que su cultivo en jaulas flotantes en mar abierto tiene una alta viabilidad biológica y tecnológica, (Zarain-Herzberg, 2010; Zarain-Herzberg, *et al.*, 2010). No obstante, actualmente se buscan nuevas tecnologías para la producción de este producto, por lo cual el cultivo de camarón en jaulas flotantes en mar abierto puede ser considerado como una buena alternativa de producción.

El cultivo de camarón en jaulas es una tecnología innovadora que viene a ocupar un nuevo espacio, por presentar ventajas en comparación al cultivo de manera tradicional, estas ventajas son: mayores recambios de agua, variaciones moderadas o bajas de los parámetros fisicoquímicos y rendimientos más altos, mínima acumulación de residuos en las jaulas, alta conversión alimenticia debido al aporte que tiene el alimento natural con la complementación nutricional del alimento comercial (Zarain-Herzberg, 2010), Por lo cual podría optarse como una alternativa de producción de camarón, sin embargo, el cultivo en jaulas en mar abierto tiene una desventaja principal, el estrés mecánico que tiene que soportar, esto es compensado con el constante avance tecnológico para este tipo de infraestructura, las jaulas que se propusieron en este estudio han sido probadas en condiciones adversas en las costas de Hawái, Golfo de México y Mediterráneo, con buenos resultados, por lo que podría realizar la adaptación de la tecnología en los sitios “óptimos” ubicados en este estudio (DGPA & SEDARPA, 2007; Shen, 2010; PLADEMEC 2013; Puniwai *et al.*, 2014).

Los estudios enfocados a la evaluación de recursos acuáticos para el emplazamiento acuícola están basados en una relación de variables tanto sociales, económicas y ambientales (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000), mediante la planeación espacial usando técnicas multicriterio y SIG (Fuchs *et al.*, 1998), para una variedad de cultivos y especies, en distintos lugares (Indonesia, Vietnam, España, Chile, México) y a diferentes escalas. En este estudio la evaluación del potencial fue para la calidad del agua, ambiente marino, infraestructura y el área disponible para el desarrollo de la actividad.

El uso SIG resulta una herramienta útil de planificación, para buscar nuevos espacios para el desarrollo de cultivos en mar abierto, ya que es un ahorro de tiempo, esfuerzo, pudiendo

caracterizar escala mayores o menores dependiendo de la magnitud del estudio, además de que es una herramienta y metodología replicable en cualquier parte del país y con diferentes especies, y no solo en zonas marinas también en la zona continental (Silva *et al.*, 1999).

De acuerdo con Kapetsky & Aguilar-Manjarrez (2009) los mapas son el resultado de un SIG y son una herramienta perfecta para la comunicación espacial. De esta manera, se incluyen ejemplos de mapeos para la acuicultura, en este caso en particular, el cultivo de camarón en jaulas flotantes en mar abierto, para diferentes especies e infraestructuras de cultivo en mar abierto.

Pensar en primera instancia en las condiciones medioambientales (calidad del agua) como un criterio que restrinja la selección de un sitio no siempre será la mejor opción, se ha visto que en la práctica, el emplazamiento de las granjas va a depender siempre de la compatibilidad de usos, disponibilidad de espacios y acceso (Díaz-Salgado & López-Blanco, 2000; Macías *et al.*, 2005; Kapetsky & Aguilar-Manjarrez, 2009), mencionan que desde una perspectiva geográfica, son esenciales tres tipos de información para planear y gestionar los cultivos en mar abierto: (1) Entorno ideal para la especie a cultivar, (2) ambiente idóneo para la estructura de cultivo y (3) acceso, los que juntos definen el potencial de la acuicultura marina. Esta última para localizar las instalaciones de apoyo en la costa. También se podría examinar el costo de sitios de cultivo y la geografía de los mercados de los productos cultivados. Los resultados que proporcionen los estudios basados en SIG podrían dar resultados más útiles cuando se diseñen con la colaboración de los economistas y con datos que puedan ser interpretados en términos económicos. Esto podría ayudar al desarrollo y gestión de la acuicultura marina en el estado de Oaxaca desde una perspectiva espacial.

Los polígonos con potencial para cultivo (Figura 4), para el factor la calidad del agua resultó estar dentro de los intervalos óptimos para el cultivo de camarón, los cuales se muestran los valores de Temperatura: 28.470 – 30.86 ° C (Figura 9), Oxígeno Disuelto: 4.57 – 4.86 mg · L<sup>-1</sup> (Figura 10), pH: 8.20 – 8.22 (Figura 11), Salinidad 34.18 – 34.28 (Figura 12). No existe una variación marcada en los valores de los criterios en el análisis espacial para el factor calidad del agua, por lo tanto indica que estos polígonos cumplen con la calidad del agua para el cultivo de camarón.



La temperatura tiene un efecto sobre los procesos químicos y biológicos, en general cuando sube la temperatura por encima del óptimo provoca una elevación de los procesos químicos y biológicos, así el camarón va a consumir más oxígeno a temperaturas por encima del óptimo. En este estudio los valores se encuentran dentro del intervalo óptimo (28 a 32 °C) para la especie. La necesidad en oxígeno del camarón es mucho más crítica en agua caliente, por encima de los 35 ° C, por lo que podría afectar al estado de salud del camarón.

La salinidad del agua de mar es de 35, el camarón tolera un amplio intervalo de salinidad y puede sobrevivir en este intervalo: 0 – 50, pero no puede soportar un cambio brusco de salinidad. En este estudio la salinidad se encuentra dentro del intervalo óptimo de crecimiento (30 – 35). Cuando la salinidad aumenta, la solubilidad del oxígeno baja.

El oxígeno disuelto es la variable más crítica en el cultivo de camarón, muchas veces, la mortalidad de los camarones en estanques está relacionada con una falta de oxígeno. La solubilidad del oxígeno en agua depende de la temperatura, presión atmosférica y de la salinidad, cuando la temperatura aumenta la solubilidad del oxígeno baja, cuando la salinidad sube, la solubilidad del oxígeno baja. Se encuentra dentro del intervalo óptimo (4 – 5 mg·L<sup>-1</sup>).

El agua con un pH de 6.5 hasta 9 es considerada como buena para el cultivo de camarones. En este caso los valores óptimos están de 7. 5 a 8.5 y los valores de pH que se encontraron en este estudio están en el intervalo de 8.20 a 8. 22. Si el pH es inferior a 5 generalmente el agua contiene ácido sulfúrico de la oxidación del sedimento.

Los criterios de temperatura, salinidad y pH presentan una ligera variación, incluso podría ser despreciable para el cultivo de camarón. Sin embargo, para el criterio de oxígeno disuelto existe una variación más marcada, aproximadamente 0.5 mg ·L<sup>-1</sup>, esto podría deberse a los vientos intermitentes del noreste llamados “Tehuano” (Velocidad superior a 10 m ·s<sup>-1</sup>) que pueden generar una nube de agua fría que puede extenderse a más de 400 Km mar a dentro y tener más de 200 Km de ancho (Chapa-Balcorta *et al.*, 2015) y eso puede generar olas o movimientos de agua en los cuales se le esté inyectando aire al agua (Reyes Hernández, UMAR, com. pers., 2017).

La combinación cualitativa de los factores calidad del agua, ambiente marino, infraestructura y área disponible, da como resultado un mapa con la ubicación de sitios

“Óptimos” y “No óptimos”, en donde el algoritmo selecciona los sitios que cuenten con los valores cualitativos de los 4 factores, estos son los sitios “Óptimos”, Por otra parte los sitios que reúnan 3 de 4 factores son considerados “No óptimos”, esto se debe a que no reúnen alguno de los valores cualitativos de los criterios clasificados en los factores que se evaluaron en el análisis espacial.

De acuerdo con Puniwai *et al.* (2014) la falta de disponibilidad de datos a diferentes escalas (Globales, Nacionales y Locales) es una limitante para los estudios de planificación mediante SIG, ya que la meta es proveer representaciones cartográficas más fiables y adecuadas, así poder realizar análisis espaciales más complejos de los datos marinos representando el comportamiento del mundo real en una base de datos geográfica a la escala que va de acuerdo al objetivo de estudio.

Coincidiendo con Kapetsky & Aguilar-Manjarrez (2009) una de las consideraciones más importantes para la implementación de SIG son los datos de resolución temporal y espacial adecuada, así como la cobertura geográfica para el uso en acuicultura marina. Su principal dificultad radica en encontrar o generar datos apropiados para la tarea. Hasta cierto punto este problema continúa y se manifiesta en la falta de algunos tipos de datos compilados, entre los que sobresalen las corrientes a la escala requerida en este estudio. Ese hueco espacial en los datos, se confrontó mediante una aproximación espacial, que consiste en interpolar datos para obtener datos en donde no existían, esta aproximación se basa en la primera ley de la geografía o primera ley de Tobler la cual menciona que lo más cercano al objeto de estudio es más semejante que lo que se encuentra más alejado (Tobler, 1970), por lo tanto hay que considerar esto en nuestros mapas, sin embargo también este efecto se ve disminuido debido a que las especificaciones técnicas para cualquier modelo de jaula soporta la velocidad de la corriente máxima para esta zona.

De la multitud de datos disponibles de SIG a diferentes escalas, existen datos que por la magnitud de los mismos no se aproximaron a la escala que se trabajó en este estudio, y por tal motivo se decidió realizar una aproximación de sección, esto podría ser una limitante para este estudio. El caso fue para los datos de corrientes ya que no estaban disponibles a una escala local (más costera). Por lo que se requiere estar en continua actualización de los datos raster de

variables ambientales en las bases de datos de acceso libre que continuamente están subiendo información.

Cicin-Sain *et al.* (2001) enfatizan que el desarrollo y operación de una granja en mar abierto requiere una inversión de millones de dólares y hacen notar que las decisiones de selección de sitios con base en información insuficiente o errónea podrían crear costosos retrasos, conflictos, producción reducida, problemas de concesión o el fracaso del proyecto.

El análisis multicriterio se ha convertido en una técnica valiosa para lidiar con condiciones multivariadas complejas, en un amplio rango de toma de decisión para el manejo de recursos. En la actualidad se están experimentando con varias metodologías de análisis con SIG para diversas aplicaciones en maricultura y con diferentes especies. A pesar de que las técnicas de análisis multicriterio utilizando SIG pueden ser desarrolladas de manera mecánica y rutinaria, el proceso completo involucra toma de decisiones basadas en valores de juicio, información que debe ser aportada por diferentes actores (expertos) en el tema que se esté evaluando (Sánchez-Campos, 2002). La discrepancia en los valores de juicio de los expertos que se presentó se afrontó mediante la evaluación de cada árbol de decisión entregado a los expertos para su evaluación.

Los árboles de decisión, para el análisis espacial, permiten analizar y facilitar la toma de decisiones por medio de algoritmos, ya que presenta la combinación de escenarios formados a través de criterios definidos, para un posterior valoración por expertos (Carmona-Islas, 2013). Ya que en la evaluación se presentan los valores de juicio de cada experto es inevitable la disparidad entre cada uno, por lo que este problema se afrontó mediante la selección de la opinión de la mayoría. La implementación de esta técnica en este modelo teórico podría ser una opción para el desarrollo, expansión, gestión y manejo de cultivos marinos, con diferentes especies e infraestructura de cultivo, porque se crean combinaciones finitas de condiciones complejas que engloban todas las posibles combinaciones, así como un resultado para cada combinación. El alcance de este método es en estrecha relación con las variables que se tenga, en otras palabras, el método por sí mismo no tendrá mayores alcances que las variables con que se alimente, por lo que está exenta de la evaluación y sujeta estrechamente a la selección y conocimiento del experto.



Desde un punto de vista espacial y de acuerdo a los resultados obtenidos, existe un potencial para desarrollar y expandir el cultivo de camarón en jaulas a mar abierto hacia el lado Este de Oaxaca (Santiago Astata, Santo Domingo Tehuantepec, Salina Cruz, San Mateo del Mar, Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza y San Dionisio del Mar). Por el lado Oeste se encuentran frente a los municipios de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, San Pedro Mixtepec, Santa María Colotepec y Santa María Tonameca. Esta metodología puede implementarse para mejorar la sustentabilidad de la maricultura, especialmente en la preselección de sitios.

De tal manera se coincide con Díaz-Salgado & López-Blanco (2000) que la aplicación de técnicas multicriterio podría resultar en una herramienta muy útil como metodología para la toma de decisiones basada en un solo objetivo y con criterios múltiples de selección. La integración de este método a un SIG junto con los árboles de decisión, se convierte en una herramienta altamente eficaz para efectuar de forma más rápida y eficiente, complejas interacciones proporcionando al investigador o tomador de decisiones resultados más racionales y objetivos.

De acuerdo con Kapetsky & Aguilar-Manjarrez (2009) la planeación y gestión para el desarrollo para la acuicultura marina puede resultar difícil si no se cuenta con apoyos para la toma de decisiones tales como el Multicriterio. Sin embargo, su uso en la acuicultura marina es limitado. Mucho de los temas de desarrollo y gestión de la acuicultura marina tiene contextos geográficos o espaciales, por lo que hay un potencial considerable para utilizar SIG para la toma de decisiones para la asignación de recursos de quienes toman decisiones.

La precisión de la evaluación de los arboles multicriterio está relacionada con el grado de conocimiento del experto, debido a que es quien avala las variables usadas así como la combinación que se den entre ellas.

Pérez *et al.* (2002) describe que la acuicultura como cualquier otra actividad económica necesita del uso y transformación de recursos (espacio, agua, alimento, especie) mediante servicios (capacidad de acogida del entorno) para generar un producto final (peces, moluscos, crustáceos, etc.) y durante este proceso se generan productos de desecho (material orgánico, nutrientes, etc.) que pueden producir diversos impactos en el medio. Por lo tanto es necesario una planificación clara para el sector de la acuicultura en este caso en particular, la maricultura,

para que se desarrolle de una manera sostenible, y como primer paso es la ubicación de zonas más óptimas. Por lo cual este análisis resulta ser una herramienta adecuada para este propósito.

De tal manera se concuerda con Pérez *et al.* (2002) que no existe una metodología totalmente establecida debido al gran diversidad de especies, sistemas de cultivo y escalas a las cuales se ha trabajado, pero con la inclusión de este modelo teórico se podría adaptar a esta diversidad.

## 14 CONCLUSIONES

- A partir del análisis espacial y técnicas multicriterio se obtuvo la ubicación de 13 polígonos, con una extensión total de 560.364 Km<sup>2</sup> para el cultivo de camarón en jaulas flotantes.
- La revisión de literatura especializada, así como la evaluación de expertos en el área permitió la selección y clasificación de los criterios.
- Mediante este modelo teórico es posible clasificar la superficie marina en sitios “óptimos” y “no óptimos” para el cultivo de camarón.
- Los sitios “Óptimos” para cultivo se encuentran frente a los municipios de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, San Pedro Mixtepec, Santa María Colotepec, Santa María Tonameca, Santiago Astata, Santo Domingo Tehuantepec, Salina Cruz, San Mateo del Mar, Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza y San Dionisio del Mar.
- Para la localización de zonas con potencial para el desarrollo de la acuicultura marina en la zona costera en el estado de Oaxaca el análisis espacial combinado con la técnica multicriterio, árboles de decisión y el uso de un SIG constituye un paso previo imprescindible para la planificación y desarrollo de la acuicultura marina.
- El desarrollo del modelo teórico para el cultivo de camarón aquí presentado evita un exceso de criterios y una innecesaria complejidad de evaluación.
- El uso y creación de mapas de sitios potenciales para el desarrollo de la acuicultura marina puede ayudar a la planificación y expansión de nuevos sitios para cultivo siempre y cuando se cuente con las escalas geográficas a la que se empleen, datos de la especie a cultivar y preferentemente que la especie cumpla con los criterios biológicos básicos (especies no introducidas) y tenga una biotecnología avanzada, requerimientos de la infraestructura de cultivo.
- Con este tipo de estudios se pudo obtener una preselección de sitios con potencial óptimo para cultivo de camarón de una forma más rápida y eficiente.
- Con la aplicación de esta metodología y los resultados obtenidos, se confirma y acepta la hipótesis para la presente tesis.

## 15 RECOMENDACIONES

- El potencial que tienen las herramientas para el análisis espacial puede lograrse mediante esfuerzos cooperativos y multi-disciplinarios creando equipos de trabajo con experiencia en temas relacionados.
- Este tipo de metodología sirve como herramienta para realizar el seguimiento de la evolución de la actividad de maricultura en toda la costa.
- Se pueden actualizar el crecimiento que vaya teniendo la infraestructura y el proceso de los asentamientos alrededor de los proyectos.
- La aplicación de la metodología ayuda al éxito de una empresa productiva compleja como lo es la acuicultura marina en la selección del lugar para su desarrollo, optimizando recursos humanos, financieros y técnicos. Dando pie a realizar estudios faltantes que enriquezcan el presente trabajo.
- Da pie a realizar la caracterización en campo de los sitios preseleccionados, para la instalación de la infraestructura.
- Esta metodología debería o podría ser implementado de manera constante para realizar el seguimiento de la maricultura en toda la costa.
- Se pueden incorporar datos que vayan surgiendo como amonio y bacterias en sedimentos alrededor de los sitios de cultivo, lo que a largo plazo redituará en una actividad acuícola más controlada, mejor planeada y con mayor posibilidad de expansión y éxito en la costa Oaxaqueña y de los estados donde se implemente esta metodología.

Tabla 1. Tabla de atributos de las variables evaluadas de los sitios potenciales para el cultivo de camarón en el software TreeDSS

ID	Vientos_Ge	Curr_m_S	Marea	Oleaje_m	Fondo	Ambiente Marino	Potencial Ambiente Marino	Calidad del Agua	Potencial Infraestructura	área	Shape_Leng	Shape_Area	Resultado	Resultado1	Potencial
1	12.000	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	78.66225783010	71360.1527676	78662257.8301	1	1	No Hptimo
2	15.000	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	2.45186432699	11075.1667823	2451864.32699	2	1	No Hptimo
3	10.000	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	0.58605071793	5241.34544573	586050.717929	3	1	No Hptimo
4	10.000	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	4.65745932291	8266.87466225	4657459.32291	4	1	No Hptimo
5	10.000	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	4.39388564835	8646.87062764	4393885.64835	5	1	No Hptimo
6	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	4.39481282667	8647.8798679	4394812.82667	6	1	No Hptimo
7	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	17.51813730440	18796.4556920	17518137.3044	7	1	No Hptimo
8	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	1.88075714997	8535.80844182	1880757.14997	8	1	No Hptimo
9	0.170	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	1.66455395079	6192.61415133	1664553.95079	9	1	No Hptimo
10	0.170	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	hoptimo	3.02148704530	7866.00911470	3021487.0453	10	1	No Hptimo
11	0.170	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	12.85343109970	17752.8995283	12853431.0997	11	1	No Hptimo
12	0.280	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	43.99182551840	41814.282569	43991825.5184	12	2	hoptimo
13	0.200	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	79.69145803550	74581.0416504	79691458.0350	13	2	hoptimo
14	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	0.00747198501	409.014181868	7471.98501359	14	2	hoptimo
15	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	5.05213252034	8600.79395312	5052132.52034	15	2	hoptimo
16	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	8.55050020005	12309.4735428	8550500.20005	16	2	hoptimo
17	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	10.72597596870	13071.5943746	10725975.9687	17	1	No Hptimo
18	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	3.02674803758	7286.38658423	3026748.03758	18	2	hoptimo
19	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	8.74408789963	12915.5078068	8744087.89963	19	1	No Hptimo
20	0.270	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	4.06294586922	8213.54013248	4062945.86922	20	2	hoptimo
21	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	0.66797351451	3460.83428792	667973.51450	21	1	No Hptimo
22	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	5.91545983728	11846.5480373	5915459.83728	22	2	hoptimo
23	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	hoptimo	0.71352978105	3490.81421457	713529.781052	23	1	No Hptimo
24	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	4.40916037617	8661.79912080	4409160.37617	24	2	hoptimo
25	0.270	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	1.79559542450	5578.33391769	1795595.42450	25	2	hoptimo
26	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	4.12162683358	8586.27433372	4121626.83358	26	2	hoptimo

27	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	hoptimo	0.07251762146	1207.9382472	72517.6214632	27	1	No Hptimo
28	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	4.41250499404	8663.76368546	4412504.99404	28	2	hoptimo
29	0.250	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	4.41250682288	8663.76350678	4412506.82288	29	2	hoptimo
30	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	1.96089351433	6440.91420875	1960893.51433	30	1	No Hptimo
31	0.180	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	hoptimo	0.66511791408	4786.34734997	665117.914084	31	1	No Hptimo
32	0.100	0.40	0.40	1.20	Arenoso	1	No optimo	optimo	No Hptimo	0.08615845943	1253.52160869	86158.4594287	32	1	No Hptimo
33	0.300	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	hoptimo	391.293929813	157911.162947	391293929.813	33	2	hoptimo
34	0.300	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	120.531362003	58159.6286852	120531362.003	34	1	No Hptimo
35	0.300	0.40	0.40	1.20	Arenoso	2	Optimo	optimo	No Hptimo	56.569260905	37626.304574	56569260.905	35	1	No Hptimo

## 16 ANEXOS

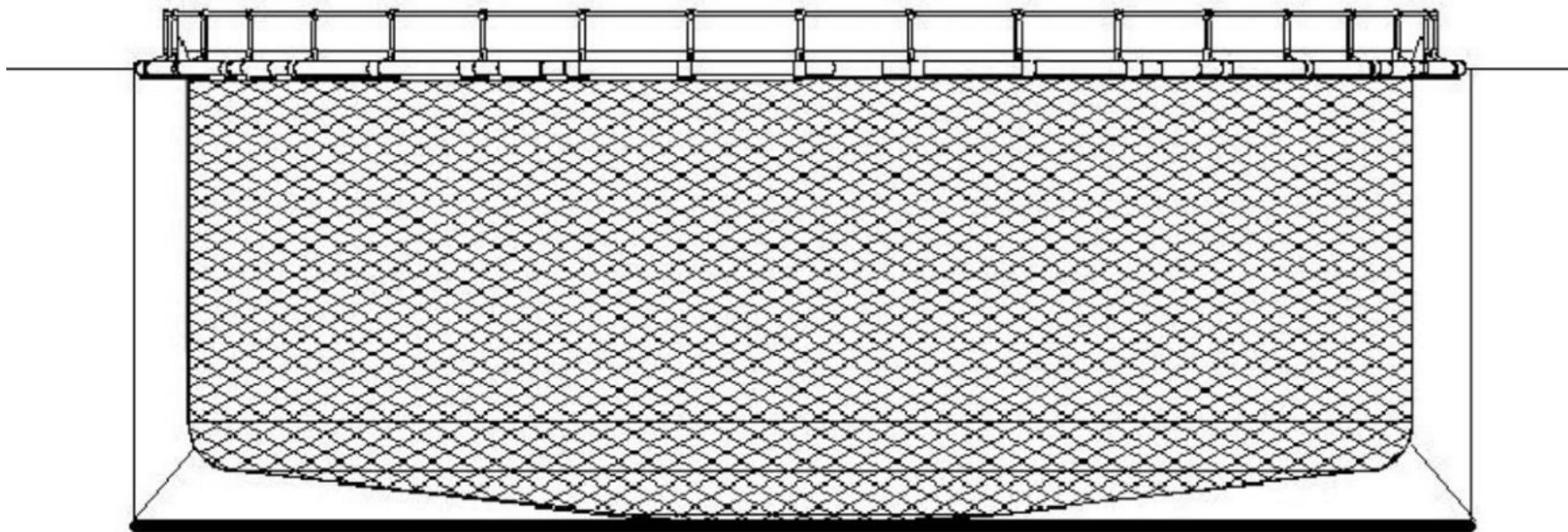


Figura A. Jaula Modelo Hércules, Capacidad de 6000 m<sup>3</sup>. Sánchez-Lamadrid & Muñoz-Pérez, 2001; Muñoz-Pérez, 2008.

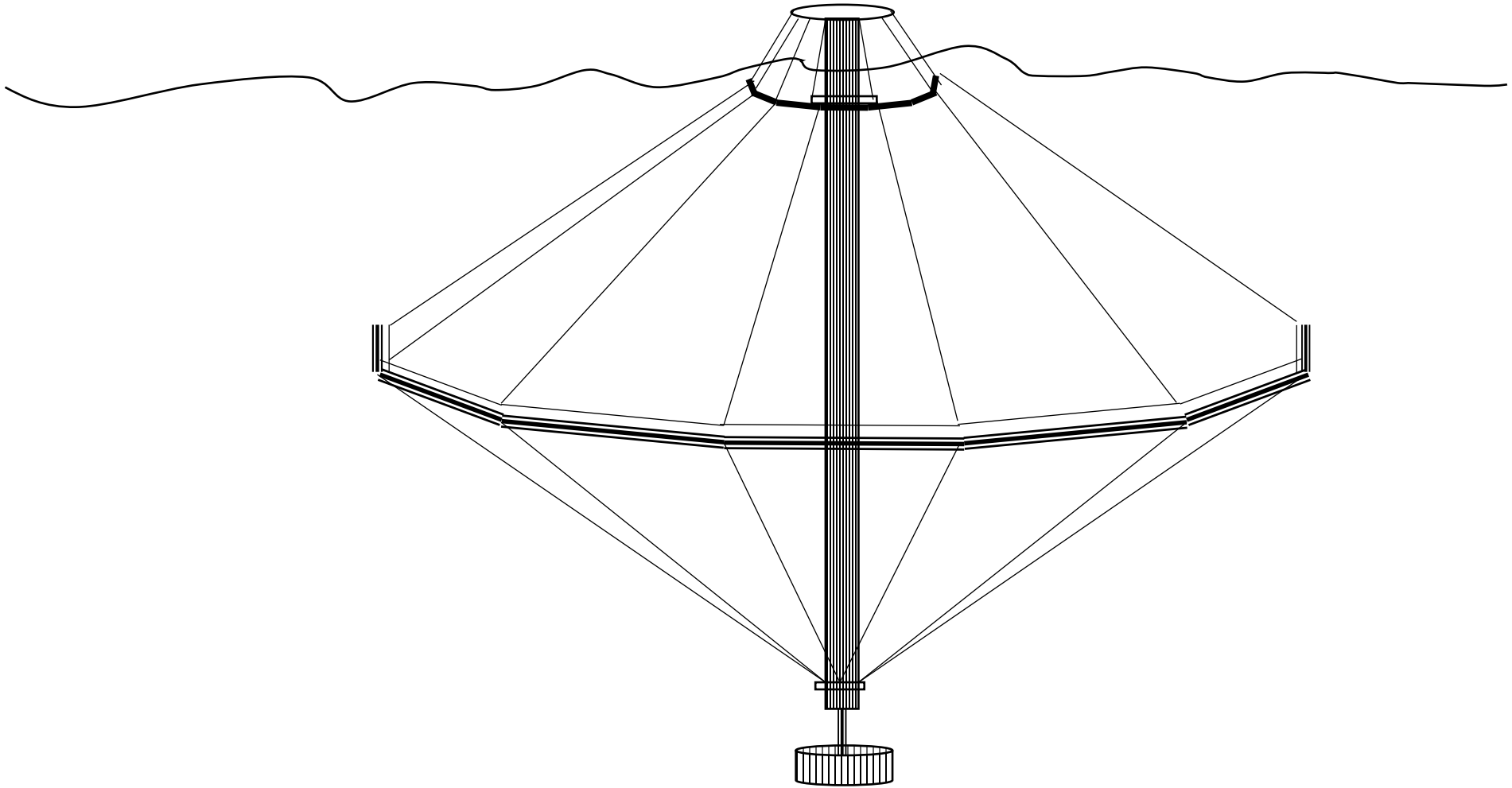


Figura B. Jaula Sea Station, Capacidad de 3000 m<sup>3</sup>, réplica elaborada por Erick Jiménez Hernández, Sánchez-Lamadrid & Muñoz-Pérez, 2001; Muñoz-Pérez, 2008.



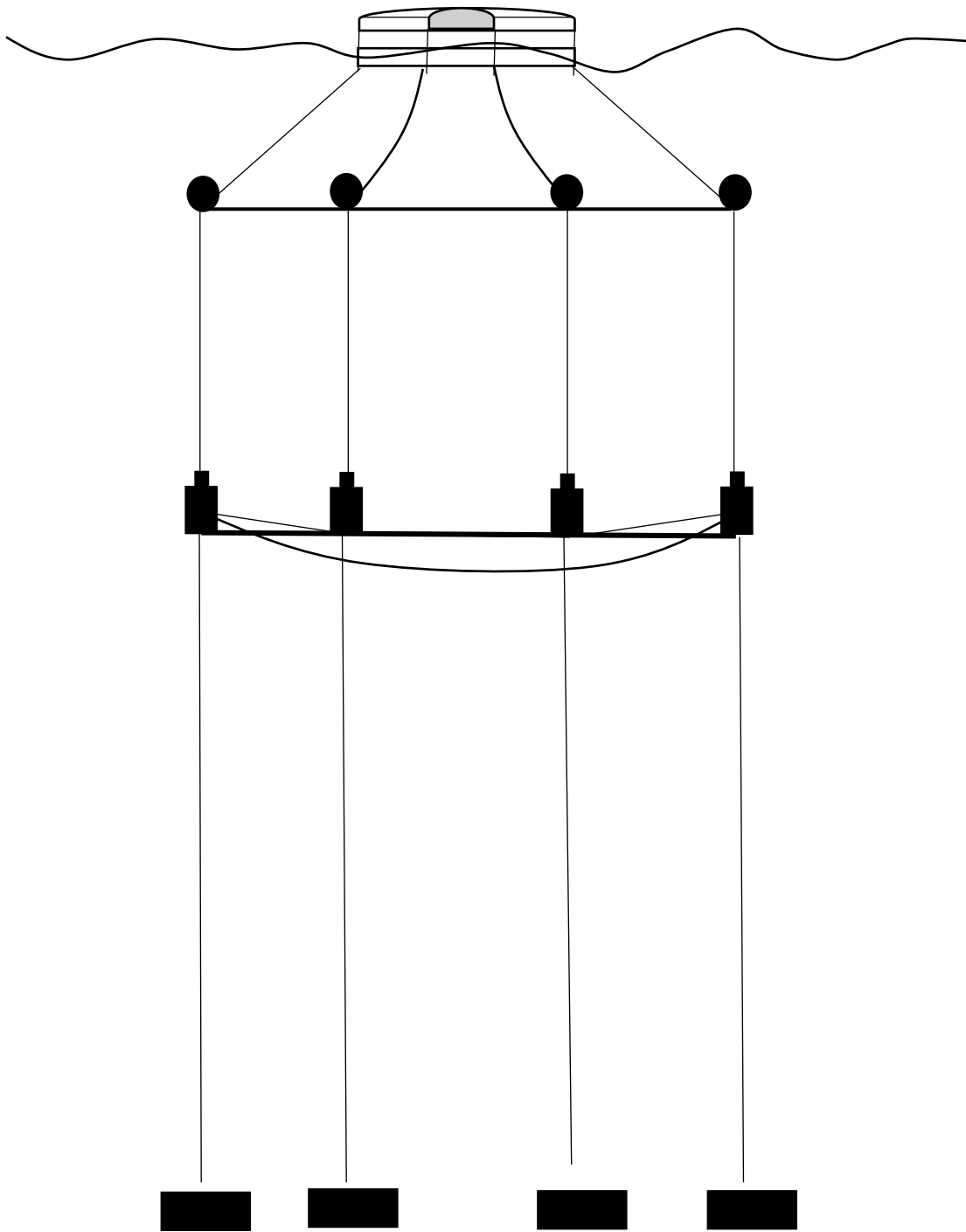


Figura C. Jaula Refa TLC, Capacidad de 1800 m<sup>3</sup>, réplica elaborada por Erick Jiménez Hernández, Tomado de: Sánchez-Lamadrid Rey & Muñoz-Pérez, 2001; Muñoz-Pérez, 2008.

## 17 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Pérez, F., Ruiz-Luna, A., Turner, J., Berlanga-Robles, C. A. & Mitchelson-Jacob, G. 2003. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon systems, Sinaloa México, *Ocean & Coastal Management* 46 583-600.
- Amante, C. & B. W. Eakins, 2009. Etopo 1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. DOI: 10.7289/V5C8276M [accesdate].
- Anderson J. L., Valderrama D. & Jory D. E. 2016. Revisión y Pronóstico de la producción mundial de camarón. En GOAL: Global Aquaculture Alliance.
- Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013 de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Bello-Pineda, J., Obregón V. & Grageola J. 2010. Tree DSS “Tree Decision Support System” Sistema de soporte a la toma de decisiones espaciales basado en árboles de decisión. Pronatura Noroeste A. C.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Bocco G. & Vekerdy Z. 2011. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management* 54:535-543.
- Borja, A. 2002. Los impactos ambientales de la acuicultura y sostenibilidad de esta actividad, *Boletín Instituto Español de Oceanografía* 18 (1-4): 41 – 49.
- Boyd, C. E., & Haws M. 2001. Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica. Imprenta UCA, 30.
- Carmona-Islas, M. C. 2013. Modelos espaciales para la determinación de hábitats críticos para aves playeras migratorias en Humedales del Noroeste de México.
- Carreño-Reyes, O. E. 2017. Sitios potenciales para la conservación en la zona costera del estado de Oaxaca. Tesis de Licenciatura de Biología Marina, Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México 94 pp.
- Carta Nacional Acuícola. 2012. Diario Oficial de la Federación, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Center for Ocean Atmospheric Prediction Studies. (COAPS) Florida State University 2000
- Chapa-Balcorta, C., Hernández-Ayon, J. M., Durazo, R., Beier E., Alin, S. R. & López-Pérez, A. 2015. Influence of post-Tehuano oceanographic processes in the dynamics of the CO<sub>2</sub> system in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. Doi: 10.1002/2015JC011249
- Cicin-Sain, B., Knecht, R. W., Rehault, R., Bunsick, S. M., DeVoe, R., Eichenberg, T. Ewart J. & Halvorson, H. 2001. Development of a Policy Framework for Offshore Marine

- Aquaculture in the 3-200 Mile U. S. Ocean Zone. Center for Marine Policy, University of Delaware. 167 pp.
- Coll-Morales, J. 1991. *Acuicultura Marina Animal*, Mundi-Prensa 670 p.
- CONABIO. 2012. Sistema nacional de información sobre biodiversidad. Consultado 26 de octubre del 2015: [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx).
- CONANP. 2012. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONAPESCA. 2015. Aumentó Producción Acuícola 32.2 por ciento en 2014. México D.F. Publicado el 27 mayo del 2015.
- DGPA & SEDARPA. 2007. Dirección General de Pesca y Acuicultura (DGPA), Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA), Gobierno del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Diagnóstico y determinación de sitios para el desarrollo de la maricultura en el litoral veracruzano.
- Díaz-Salgado, J. & López-Blanco, J. 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*, número 41.
- Eastman, J. R., IDRISI Selva, Clark University, 2012
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, consultado el 11/08/2017, en <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>.
- Fuchs, J., Martin, J. & Populus L. M. 1998. Assessment of tropical shrimp aquaculture impact on the environment in tropical countries, using hydrobiology, ecology and remote sensing as helping tools for diagnosis. Rapport final du contrat Européen TS3-CT 94-00284. Rapport Interne de la Direction des Ressources Vivantes de L'IFREMER, DRV/RA/RST/98-05, 1998
- García-García, J., Rouco-Yañez, A. & García-García, B. 2001. Evolución del peso económico de la acuicultura marina. *An. Vet. (Murcia)* 17: 41-50
- Hashem, S., Akter, T., Salam, M. A. & Hasan, M. T. 2014. Aquaculture planning through Remote Sensing Image analysis and GIS tools in Northeast region, Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 1 (15): 134- 143.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Fecha de consulta: 04 de Septiembre 2017
- Kapetsky, M J., McGregor, L. & Nanne, E. H. 1987. A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: a FAO-UNEP/GRID cooperative study in Costa Rica. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado el 26/10/2015, disponible en: <https://archive.org/details/geographicalinfo034640mbp>

- Kapetsky, M. J. & J. Aguilar Manjarrez. 2009. Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina. Servicio de Gestión y Conservación de la Acuicultura, Departamento de Pesca y Acuicultura FAO, Organización para Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas, Roma.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira- Noriega, V. Aguilar, J. Alarcón, J. Bezaury-Creel, S. Blanco, G. Ceballos, A. Challenger, J. Colín, E. Enkerlin, O. Flores-Villela, G. García-Rubio, D. Hernández, M. Kolb, P. Díaz-Maeda, E. Martínez-Meyer, E. Moreno, N. Moreno, M. Munguía, A. G. Navarro-Sigüenza, D. Ocaña, L. Ochoa-Ochoa, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. F. Torres, R. Ulloa, T. Urquiza-Haas. 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. *In* Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, CONABIO, México. pp 651 – 718.
- Longdill, P. C., Healy, T. R. & Black, K. P. 2008. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection, *Ocean & Coastal Management* 51: 612-624.
- Macías, J. C., Del Castillo, F., Villarías, R. M., & Gaiteiro, J. M. 2005. Zonas de interés para cultivos marinos: Identificación y gestión para el desarrollo ordenado de la acuicultura en Andalucía, *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, 21 (1-4): 47-55.
- Maeden, G. J. & Aguilar-Manjarrez, J. 2013. Advances in geographic information systems and remote sensing for fisheries and aquaculture. CD- Rom Version. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 552. Rome, FAO. 425 pp.
- Miranda, I., Valles, J. L., Sánchez, R. & Álvarez, Z. 2010. Cultivo de camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boonne, 1931) en agua dulce, *Revista Científica*, 20(4): 339-346.
- Muñoz-Pérez, J. L. 2008. Tecnología de acuicultura en mar abierto. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA), Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía.
- Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross, L. G. & Aguilar-Manjarrez, J. 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture, *Aquacultural Engineering* 23: 233–278.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- OEIDRUS. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable de Oaxaca. 2008. Acuicultura en Oaxaca, Datos Básico. 1er. Inventario de Unidades Acuícolas en el Estado de Oaxaca. SAGARPA.
- Pardo-Sempere, L. & Rodríguez-Alcaide, J. J. 2005. El valor de la flexibilidad en la valoración de inversiones acuícolas, *Economía Agraria y Recursos Naturales*. ISSN 1578-0732. VOL. 5, 10: 107 – 126.
- Pérez, O. M., Télfer J. C. & Ross L. G. 2002. Optimización de la acuicultura marina de jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias, mediante el uso de modelos basados en Sistemas

- de Información Geográfica (SIG), Revista científica internacional de Acuicultura en Español- Revista Oficina de la Sociedad Española de Acuicultura, Núm. 17.
- PLADEMEC.2013. Plan de Desarrollo de la Maricultura en el Estado de Colima, consultado el 05/06/2017.
- PNOA. 2007. Programa Nacional de Ordenamiento Acuícola. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA).
- Puniwai, N., Canale, L., Haws, M., Potemra, J., Lepczyk, C. & Gray, S. 2014. Development of a GIS-Based Tool for Aquaculture Siting, ISPRS International Journal of Geo-Information 3: 800-816; doi: 10.3390/ijgi3020800.
- Radiarta IN., Saitoh SI. Miyazono A. 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.
- Radulovich, R. 2008. Maricultura a mar abierto en Costa Rica, Acuicultura por la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible, Revista mensual sobre la actualidad ambiental ISSN 1409-214X No. 179.
- Rajitha, K, Mukherjee, C. K. & Vinu Chandran, R. 2007. Applications of remote sensing and GIS for sustainable management of shrimp culture in India, Aquaculture Engineering 36:1 – 17.
- Sánchez, P. E., Muir, J. F. & Ross, L. G. 2003. GIS Based aquaculture development modeling for Tabasco coastal zone, México. Ocean Cost. Manage 46: 681-700.
- Sánchez-Campos, K. 2002. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo de los recursos hídricos en la Cuenca del Río Sarapiquí, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación, Turrialba, Costa Rica.
- Sánchez-Lamadrid Rey, A. & Muñoz-Pérez, J. L. 2001. Proyecto para el desarrollo de artefactos flotantes de la Bahía de Cádiz, Empresa Pública de Desarrollo Agrario y Pesquero, Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- Scott, D. C. B. & Muir, J. F. 2000. Offshore cage systems: a practical overview. In: Muir J. (ed.), Basurco B. (Ed), Mediterranean offshore mariculture. Zaragoza: CHIEM 2000: 79-89 (options Méditerranéennes: Serie B. Etudes et Recherches; n. 30)
- SEMARNAT. 2006. Políticas nacionales de mares y costas de México; gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional. SEMARNAT-CIMARES.
- Serrano, D. 2012. La zona del mínimo oxígeno en el Pacífico mexicano. Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano 105-119.
- Shaharior H., Taslima A., Salam M. A. & Tawheed Hasan Md. 2014. Aquaculture planning through Remote Sensing Image analysis and GIS tools in Northeast region, Bangladesh. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 1 (15): 134 – 143.

- Shen, L. 2010. GIS-Based Multi-criteria Analysis for Aquaculture Site Selection, University of Gävle, Faculty of Engineering and Sustainable Development, Department of Industrial Development, IT and Land Management.
- Silva, G. C., Olivari, M. R. & Yany, G. G. 1999. Determinación de distritos de aptitud acuícola mediante la aplicación de sistemas de información geográfica, Investigaciones Marinas, Vol. 27.
- Sivakumar, R., Kiruthika, Mrs. A. M. & Suresh Babu, Dr. S. 2012. Remote sensing and GIS application in brackish aquaculture in northern part of Andhra Pradesh from Srikakulam to west Godavari. International Journal of P2P Network Trends and Technology- Volume 2 Issue 2.
- Téllez-Castañeda, M. 2017. El Cultivo de camarón en México, en vías de Crecimiento (I). El Economista. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/opinion/El-cultivo-de-camaron-en-Mexico-en-vias-de-crecimiento-I-20171120-0094.html>.
- Tobler, W. R. 1970. A computer Model Simulation of Urban Growth in the Detroit Region, Economic Geography 46 (2).
- Troncoso-Paredes, C. E. 2006. Análisis de jaula circular de HDPE mediante el método de elementos finitos, Tesis para optar al título de Ingeniero Naval, Mención Arquitectura Naval. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Tucker, W. J., 1998. Marine Fish Culture, Kluwer Academic Publishers, 750 pp.
- Tyberghein L., Verbruggen H., Pauly K., Troupin C. Mineur F. & De Clerck. Bio-ORACLE: an environmental dataset for marine species distribution modeling. Global Ecology and Biogeography (DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x).
- Vázquez-Hurtado, M. Sánchez Brito, I. & Ortega Rubio, A. 2010. Maricultura en la Bahía de la Paz, B. C. S., México: impacto socioeconómico de los cultivos de atún y camarón, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Estudios Sociales, Vol. 19, núm.37: 176-193.
- Vázquez-Olivares, A. E. 2009. Diseño de un sistema de jaulas para cultivos dulceacuícolas y marinos, Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Mazatlán, Sinaloa.
- Zarain-Herzberg, M. 2009. Development of new sustainable techniques for shrimp culture in Mexico using floating seawater cage. Aquaculture Research Progress. Editor, Takumi Nakumara.
- Zarain-Herzberg, M. 2010. Cultivo de camarón en jaulas flotantes: alternativa productiva para México. El Sudcaliforniano Año 3, número 68, PCTI
- Zarain-Herzberg, M., Campa-Córdova, A. I. & Cavalli, R. O. 2006. Biological viability of producing White shrimp *Litopenaeus vannamei* in seawater floating cages, Aquaculture 259 (1); 283-289.

Zarain-Herzberg, M., Fraga, L., & Hernández-Llamas, A. 2010. Advances in intensifying the cultivation of the shrimp *Litopenaeus vannamei* in floating cages, *Aquaculture*, 300 (1): 87 – 92.