

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN PLANIFICACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA



**Zonificación de áreas geográficas con potencial para la
acuicultura continental en Tumbes, Perú**

TESIS
**para optar el grado académico de Doctor en Planificación Pública
y Privada**

Autor: Mg. David Edilberto Saldarriaga Yacila

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN PLANIFICACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA



**Zonificación de áreas geográficas con potencial para la
acuicultura continental en Tumbes, Perú**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué
ORCID N° 0000-0002-5008-8085

Presidente

Dr. Jesús Merino Velásquez
ORCID N° 0000-0003-3301-4487

Secretario

Dr. Gilmer Rubén Murga Fernández
ORCID N° 0000-0003-3937-2613

Vocal

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully
ORCID N° 0000-0003-1979-9572

Vocal

Dr. Martín Amaya Ayala
ORCID N° 0000-0001-8870-2020

**Vocal y
Asesor**

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN PLANIFICACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA



**Zonificación de áreas geográficas con potencial para la
acuicultura continental en Tumbes, Perú**

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido
y forma:**

David Edilberto Saldarriaga Yacila
ORCID N° 0000-0002-4919-8607

Autor

Dr. Martín Amaya Ayala
ORCID N° 0000-0001-8870-2020

Asesor

Tumbes, 2026

Copia del Acta de sustentación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

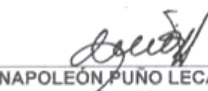
En Tumbes, a los quince días de febrero del dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas y quince minutos, se reunieron mediante la modalidad presencial en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Económicas Álvaro Camacho Sánchez, los miembros del jurado calificador constituido con la Resolución N° 0052-2025/UNTUMBES-EPG-D (29 de enero de 2025), presidido por el Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué e integrado por el Dr. Jesús Merino Velásquez (secretario), el Dr. Gilmer Rubén Murga Fernández (vocal), el Dr. Miguel Antonio Puéscas Chully (vocal), además, el Dr. Martín Amaya Ayala (vocal y asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: **Zonificación de áreas geográficas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes, Perú**, presentada por el egresado **David Edilberto Saldarriaga Yacila** del Programa de Doctorado en Planificación Pública y Privada para optar el grado académico de **DOCTOR EN PLANIFICACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA**.

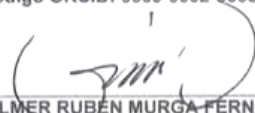
Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la correspondiente, deliberación el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al sustentante aprobado, con el calificativo de **MUY BUENA**

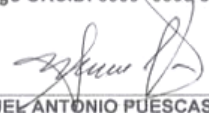
Por lo anterior, el sustentante está expedito para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de Doctor en Planificación Pública y Privada, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Texto Único Ordenado del Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Títulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las diecinueve horas y cuarenta minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.


Dr. NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUÉ
Presidente
DNI: 00225904
Código ORCID: 0000-0002-5008-8085


Dr. JESÚS MERINO VELÁSQUEZ
Secretario
DNI: 00240035
Código ORCID: 0000-0003-3301-4487


Dr. GILMER RUBÉN MURGA FERNÁNDEZ
Vocal
DNI: 07700664
Código ORCID: 0000-0003-3937-2613


Dr. MIGUEL ANTONIO PUÉSCAS CHULLY
Vocal
DNI: 02660522
Código ORCID: 0000-0003-1979-9572



Dr. MARTÍN AMAYA AYALA
Vocal y Asesor
DNI: 00320810
Código ORCID: 0000-0001-8870-2020

C.c.
Jurado de tesis (05), Asesor, Interesado, Unidad de Investigación, Archivo (director EPG)

INFORME DE ORIGINALIDAD

David Edilberto Saldarriaga Yacila

Zonificación de áreas geográficas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes, Perú

 Zonificación de áreas

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:579504668

Fecha de entrega
16 abr 2026, 17:22 GMT-5

Fecha de descarga
16 abr 2026, 17:28 GMT-5


Nombre del archivo
Tesis_Final.docx


Tamaño del archivo
2.7 MB

50 páginas


8777 palabras

48.620 caracteres


Dr. Martin Amaya Ayala
Asesor
ORCID N° 0000-0001-8870-2020

 Página 1 de 56 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:579504668




 Página 2 de 56 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:579504668

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales


- 7%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.


Dr. Martin Amaya Ayala
Asesor
ORCID N° 0000-0001-8870-2020

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	idoc.pub	<1%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	www.coursehero.com	<1%
4	Publicación	Jorge E. Rublano M., Simon Cook, Maya Rajasekharan, Boru Douthwaite. "A Bayes...	<1%
5	Publicación	GEOLAB S.R.LTDA. "EIA del Proyecto de Levantamiento Sísmico 3D Lote Z-1-IGA00...	<1%
6	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2023-09-10	<1%
8	Internet	www.fundaciongarciasineriz.es	<1%
9	Internet	pdacrsp.oregonstate.edu	<1%
10	Internet	worldwidescience.org	<1%
11	Internet	repositorio.oefa.gob.pe	<1%


Dr. Martín Amaya Ayala
Asesor

ORCID N° 0000-0001-8870-2020

12	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
13	Publicación	ECOLOGIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A.C. "ITS para la Modificación del Progra...	<1%
14	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2019-12-09	<1%
15	Publicación	Teves Ponce, Luz Marina. "Comportamiento espacio temporal de índice de calida...	<1%
16	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
17	Internet	repositorio.ulima.edu.pe	<1%
18	Publicación	SAVIA PERU S.A.. "ITS para la Modificación del Programa de Monitoreo del PMA p...	<1%
19	Internet	repositorio.uct.edu.pe	<1%
20	Internet	www.google.com.my	<1%
21	Publicación	Jairo Velázquez-Manzanares, Efraín Acuña-Espinal. "Análisis de amenazas a deslitz...	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad del Istmo de Panamá on 2026-03-06	<1%
23	Internet	hidrobiologica.izt.uam.mx	<1%
24	Internet	ar.scribd.com	<1%
25	Internet	repositories.lib.utexas.edu	<1%


Dr. Martín Amaya Ayala
Asesor

ORCID N° 0000-0001-8870-2020

26	Internet	www.elescarlata.info	<1%
27	Publicación	María Cecília de Sousa CUNHA, Ana Cristina Vieira COSTA, Márcia Araújo Vander ...	<1%
28	Internet	aldia.sld.cu	<1%
29	Internet	www.aldisar.org	<1%
30	Internet	www.itu.int	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2025-11-04	<1%
32	Internet	produccioncientificaluz.org	<1%
33	Internet	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1%
34	Internet	revistas.inia.es	<1%
35	Internet	riunet.upv.es	<1%
36	Internet	www.renewableenergymagazine.com	<1%
37	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Católica del Perú on 2010-11-05	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2023-12-27	<1%
39	Internet	diariocorreo.pe	<1%

Dr. Martín Amaya Ayala
Asesor

ORCID N° 0000-0001-8870-2020

40	Internet	docplayer.com.br	<1%
41	Internet	ugeltumbes.edu.pe	<1%
42	Internet	www.researchgate.net	<1%
43	Internet	www.semanticscholar.org	<1%
44	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2007-06-26	<1%
45	Internet	es.unionpeda.org	<1%
46	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-07-08	<1%
47	Internet	www.aquahoy.com	<1%
48	Publicación	Ligia García, Jaris Veneros, Segundo Chavez, Manuel Oliva, Nilton B. Rojas Briceño...	<1%
49	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-09-09	<1%


Dr. Martin Amaya Ayala
Asesor

ORCID N° 0000-0001-8870-2020

DEDICATORIA

Con amor a:

Petronila Yacila Montoya, mi madre...

Fortunato Darío Saldarriaga Merino, mi padre...

Madeley Betzabec Castillo Espinoza, mi esposa...

Darío Daniel, David Alejandro, Claudia Adriana, mis hijos...

Darío Sebastián, mi nieto...

Claudio Edmundo, Mery María, Carlos Enrique, Néxar Aarón, Marco
Saúl, mis hermanos...

A la memoria de José Mario y Hassán Darío, mis hermanos...

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios...

Mi familia...

Mi Alma Máter Superior, la Universidad Nacional de Tumbes...

Los docentes de la Escuela de Posgrado que me formaron en este doctorado...

Docentes, estudiantes y amigos de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar...

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	19
I. INTRODUCCIÓN	20
II. REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS.....	23
2.1.1. Zonificación de áreas geográficas.....	23
2.1.2. Potencial del cultivo de peces en Tumbes.....	24
2.1.3. Impacto de la acuicultura sobre los ecosistemas naturales	26
2.1.4. Estándares de Calidad de Agua (ECA)	27
2.1.5. El clima de Tumbes	27
2.1.6. Descripción de las series de suelos	27
2.2. ANTECEDENTES	28
2.2.1. Zonificación de áreas geográficas para acuicultura	28
2.2.2. Experiencias de cultivo de peces en Tumbes.....	28
2.2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG) en estudios para acuicultura	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. LUGAR Y PERIODO DEL ESTUDIO	31
3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
3.2.1. Tipo de investigación.....	32
3.2.2. Diseño de investigación	32
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	32
3.4. ESTUDIO DE LOS FACTORES AMBIENTALES	32
3.4.1. Fuentes de suministro de agua.....	33
3.4.2. Calidad de agua de las fuentes y suelo.....	33
3.5. DEFINICIÓN DE ÁREAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA.....	34
3.5.1. Áreas geográficas de exclusión.....	34
3.5.2. Preparación de capas temáticas	34
3.5.3. Adición del campo GID_CODE	35
3.5.4. Conversión a formato Ráster (TIF).....	35
3.5.5. Fórmula de álgebra de mapas	35
3.5.6. Generación del mapa final.....	35
3.6. DEFINICIÓN DE ZONAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA.....	36
3.7.1. Recolección de datos.....	36

3.7.2. Procesamiento y análisis de datos	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. ÁREAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA	37
4.2. ESTUDIO DE LOS FACTORES AMBIENTALES	55
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIÓN	65
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del Estándar de Calidad de Agua 2017	277
Tabla 2. Provincias y distritos del departamento de Tumbes	31
Tabla 3. Métodos para análisis de la calidad de agua de la fuente y suelo.....	33
Tabla 4. Parámetros de calidad de agua de las principales fuentes potenciales para acuicultura continental en Tumbes.....	61
Tabla 5. Rangos de los parámetros de calidad de suelo en las zonas potenciales para acuicultura continental en Tumbes.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas hidrográficas de Tumbes (GEO PERÚ, 2021).....	37
Figura 2. Áreas geográficas de exclusión: Áreas Naturales Protegidas (GEO PERÚ, 2021)	38
Figura 3. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental	39
Figura 4. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes.....	40
Figura 5. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla.....	41
Figura 6. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes.....	42
Figura 7. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Contralmirante Villar	43
Figura 8. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental por provincias	44
Figura 9. Modelo para el diseño de un sistema de cultivo de peces con recirculación de agua (RAS).....	45
Figura 10. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla	46
Figura 11. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla	47
Figura 12. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes	48
Figura 13. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes	49
Figura 14. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Contralmirante Villar.....	50
Figura 15. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Contralmirante Villar.....	51
Figura 16. Zonas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes.....	52
Figura 17. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes.....	53

Figura 18. Variación de la temperatura en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	56
Figura 19. Variación de sólidos suspendidos totales (SST) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	56
Figura 20. Variación del oxígeno disuelto en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	57
Figura 21. Variación del pH en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	57
Figura 22. Variación del nitrógeno amoniacal total (TAN) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	58
Figura 23. Variación del fósforo en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	58
Figura 24. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	59
Figura 25. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Zonificación de áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes, Perú	71
Anexo 2. CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD	72

RESUMEN

Tumbes, Perú, tiene grandes extensiones de terreno eriazos y cuencas hidrográficas cuyo recurso agua se pierde en el mar, ambientalmente presenta condiciones para la diversificación de la producción acuícola con peces y camarones de agua dulce, industria que contribuye a la economía local y nacional. Sin embargo, su implementación exige una planificación espacial de las áreas potenciales que minimicen los impactos negativos en los ecosistemas. En este sentido, se desarrolló la investigación para zonificar áreas geográficas con potencial para la acuicultura continental. La prospección de las áreas en estudio se realizó mediante el análisis espacial de mapas digitales por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) con el software ArcGis 10.0, de toda la extensión de Tumbes, utilizando información en las páginas web correspondientes del estado peruano y con monitoreos de campo. Las zonas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes quedaron definidas y denominadas por provincias: Zarumilla con 19 214,66 ha (15, 81%), Tumbes, 29 725,67 ha (24,46%) y Contralmirante Villar con 72 582,33 ha (59,73%). Debido a la escala de trabajo y por ser una primera aproximación a la cualificación y cuantificación de la extensión potencial para realizar actividades de acuicultura continental en Tumbes, esta zonificación alcanza un nivel exploratorio.

Palabras clave: acuicultura, zonificación espacial, planificación del territorio, SIG

ABSTRACT

Tumbes, Peru, has large expanses of wasteland and hydrographic basins whose water resources are lost to the sea. Environmentally, it presents conditions for the diversification of aquaculture production with freshwater fish and shrimp, an industry that contributes to the local and national economy. However, its implementation requires spatial planning of potential areas that minimize negative impacts on ecosystems. In this sense, research was developed to zone geographic areas with potential for continental aquaculture. The survey of the study areas was carried out through the spatial analysis of digital maps through the Geographic Information System (GIS) with the ArcGis 10.0 software, of the entire extension of Tumbes, using information on the corresponding web pages of the Peruvian state and with field monitoring. The selected geographical areas with potential for continental aquaculture in Tumbes were defined and named by provinces: Zarumilla with 19,214.66 ha (15.81%), Tumbes, 29,725.67 ha (24.46%) and Contralmirante Villar with 72,582.33 ha (59.73%). Due to the scale of work and because it is a first approach to the qualification and quantification of the potential extension to carry out continental aquaculture activities in Tumbes, this zoning reaches an exploratory level.

Keywords: aquaculture, spatial zoning, territorial planning, GIS

I. INTRODUCCIÓN

El aumento exponencial de la población mundial demanda la producción de alimentos, pues los que provienen de la agricultura y la industria no satisfacen la demanda, esto ha dado lugar a que los alimentos provenientes del mar, ríos, lagunas, etc., sean cada vez más sobreexplotados, por lo que la acuicultura se convierte en una alternativa de gran potencial para cubrir esas demandas, con la producción sostenible de recursos hidrobiológicos ricos en nutrientes para la humanidad.

En el mundo, la acuicultura como actividad comercial produce biomasa de peces, crustáceos y moluscos. En Perú, se cultivan peces como: *Paralichthys adspersus* (lenguado), *Oncorhynchus mykiss* (trucha), *Cyprinus carpio* (carpa), *Oreochromis sp.* (tilapia), *Colossoma macropomum* (gamitana) *Prochilodus nigricans* (boquichico), *Piaractus brachypomus* (paco), *Arapaima gigas* (paiche), *Pseudoplatystoma fasciatum* (doncella), etc.; crustáceos, es en torno a *Litopenaeus vannamei* (langostino) y *Macrobrachium rosenbergi* (camarón de Malasia) y *Cryphiops caementarius* (camarón de río); en moluscos, el cultivo está dedicada a *Argopecten purpuratus* (concha de abanico), *Crassostrea gigas* (ostra del Pacífico) y *Concholepas concholepas* (chanque o abalón) (Saldarriaga, 2013 y PRODUCE, 2015).

La fuerte presión de pesca en el mar de Tumbes, ha traído como consecuencia una disminución drástica de los *stocks* de peces, por tanto, el desabastecimiento de pescado a nivel local y nacional. Es conocido que la mayoría del producto de la pesca que se expende en Tumbes proviene de los *stocks* del sur de Ecuador, que son transportados a través de la frontera marítima y desembarcados en las principales caletas de Tumbes.

Sin embargo, Tumbes tiene un gran potencial de terrenos eriazos en las márgenes del río Tumbes, río Zarumilla, Quebrada Bocapán, Quebrada Seca y Quebrada Fernández que ofrecen una gran oportunidad para la acuicultura de peces y

camarones, permitiendo cubrir la demanda del mercado. Esto convierte a la región en un polo atractivo para la inversión pública y privada, lo que mejoraría significativamente la economía local y la calidad de vida de sus habitantes.

La experiencia del cultivo de *Litopenaeus vannamei* (langostino), ha demostrado que, el crecimiento espacial de las granjas de producción no se hizo planificadamente, cada empresario construyó en algún terreno colindante con los ecosistemas de manglares o cercanos a terrenos agrícolas, impactando negativamente con la deforestación, destrucción y desplazamiento la fauna nativa, salinización de tierras, por lo que, esta inadecuada ubicación espacial de las zonas de producción hoy se han convertido en restricciones para el desarrollo sostenible y crecimiento de la industria acuícola.

Cuando se requiera ampliar la frontera acuícola en terrenos continentales, mediante la diversificación de la producción con especies nativas o exóticas será necesario planificar su desarrollo para no cometer los errores del crecimiento desordenado de la construcción de centros de producción de *L. vannamei*, que generaron impactos ambientales negativos sobre el ecosistema de manglares y en algunas playas a lo largo del litoral de Tumbes. Aguilar-Manjarrez et al. (2018), advierten que, las actividades comerciales de la acuicultura no planificadas adecuadamente han tenido efectos de impactos negativos ambientales y sociales, los que comparativamente pueden ser mayores a la obtención de beneficios, especialmente cuando se intensifican los sistemas de cultivo de peces u otros recursos hidrobiológicos.

Rieren que, en algunos países donde se desarrollan actividades de acuicultura que contribuyen a la economía nacional, han adoptado una planificación espacial del territorio, teniendo como base la integración y equilibrio de no sobrepasar la capacidad de carga ambiental, evitar los riesgos sociales, frente a la generación de oportunidades de inversiones económicas que minimicen los impactos negativos.

En este sentido, se realizó la presente investigación, como uno de los puntos de partida cuando se requiera ampliar la frontera acuícola, paso fundamental en la planificación del territorio y en la zonificación ecológica económica, con el objetivo de; Zonificar áreas geográficas con potencial para la acuicultura continental en

Tumbes, Perú. Estudio servirá como una guía técnica y de consulta para planificadores territoriales e inversores, buscando impulsar el crecimiento estructurado y sostenible de la acuicultura continental en Tumbes, Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.1.1. Zonificación de áreas geográficas

La zonificación de áreas geográficas es una parte de la planificación espacial para actividades marino costeras, Ehler y Douvere (2013), al respecto refieren que, es un proceso público que permite estudiar la distribución del espacio físico en el tiempo de las actividades antrópicas en áreas marinas de manera abierta y planificada con el fin de organizar racionalmente la utilización del espacio marino y sus interacciones con otros usos, estableciendo un equilibrio entre los requerimientos de desarrollo pero a su vez, para proteger los ecosistemas naturales y de esta manera lograr los objetivos de sostenibilidad de los recursos naturales.

Con la zonificación espacial se identifican áreas potenciales de crecimiento para la acuicultura ya sea como actividad económica nueva o para contribuir con la regulación de su desarrollo donde ya está establecida. Entre otros aspectos, puede utilizarse para: prevenir y controlar el deterioro ambiental, estimar la capacidad de carga ambiental, aumentar la producción y el desarrollo social, delimitar áreas de trabajo donde los planificadores y autoridades establecen y monitorean los objetivos de desarrollo comunal (Aguilar-Manjarrez et al., 2018).

Ibáñez et al. (2013), refieren que el propósito de la fase de zonificación es el diseño de propuestas para el mejor uso de los recursos agua y territorio de las cuencas a fin de cumplir con los objetivos e intereses de los pobladores. Consiste en la identificación de las funciones de diferentes áreas geográficas interiores específicos, estableciendo los criterios para su uso bajo información técnica georreferenciada que permita la elaboración de cartas por cada criterio para luego integrarlas en un solo mapa de zonificación de las cuencas de interés regional.

La zonificación del ambiente es una herramienta para la planificación del uso del territorio con criterios biofísicos, socioeconómicos y gobernanza bajo un análisis

integral de las funciones que desempeñan los componentes de los ecosistemas (López et al., 2012).

Aguilar-Manjarrez et al. (2018), recomiendan los siguientes pasos para llevar a cabo el proceso de zonificación: Identificación de áreas aptas; definición de problemas y riesgos; estimación de la capacidad de carga ambiental; diseño de estrategias de bioseguridad; y consignación legal de las áreas.

2.1.2. Potencial del cultivo de peces en Tumbes

En Tumbes, la fuerte presión de pesca en el mar de Tumbes ha traído como consecuencia una disminución drástica de los *stocks* de peces, por tanto, el desabastecimiento de pescado en el mercado local y nacional, sin embargo, tiene un gran potencial de terrenos eriazos en las márgenes del río Tumbes, río Zarumilla, Quebrada Bocapán, Quebrada Seca y Quebrada Fernández, que pueden utilizarse para el cultivo y producción comercial de peces y camarones en agua dulce (Saldarriaga, 2013).

Por otro lado, Tumbes tiene un gran potencial de terrenos eriazos en las márgenes de las fuentes de agua antes indicadas, que pueden utilizarse para el cultivo y producción comercial de peces en agua dulce a fin de suplir el desabastecimiento de estos recursos y consecuentemente, mejorar la economía de los pobladores de Tumbes y nacionales, similar a la actividad acuícola de *Penaeus vannamei* (langostino blanco).

En cuanto a la calidad de suelo donde se desarrolló la investigación, Puño (2010), indica que son planos o casi planos, bien drenados con buena capacidad para retener la humedad, de textura media a fina: Franco Arenosos, Franco o Franco Limosos, con pendiente de 1 a 5 %, el costo de desarrollo de estas tierras es bajo, por sus características físico-morfológicas estas tierras son aptas para una gran variedad de cultivos tanto transitorios como semipermanentes.

En Tumbes, no se desarrolla el cultivo de peces, sin embargo, esta actividad productiva, en la sierra y en la selva, tiene éxito con la producción de biomasa de alta calidad para los mercados nacionales y extranjeros.

El sector de la acuicultura ha desarrollado favorablemente con la aplicación de tecnologías avanzadas, fortalecimiento de las capacidades de sus actores: empresarios, profesionales, trabajadores de mando medio y comerciantes del entorno. Actualmente, los productos hidrobiológicos tienen mercados nacionales e internacionales con un gran prestigio gracias a la alta calidad de su producción y estándares de procesamiento en las plantas de transformación. Esto, sumado a la promoción del gobierno con políticas que fomentan la inversión y exportación, permiten satisfacer las demandas global, nacional y local, en complementación a la producción de la pesca tradicional.

Para instalar sistemas de cultivo en las áreas continentales de Tumbes, el centro de producción se ubicará en un lugar donde el abastecimiento y buena calidad de agua esté asegurada. Lejos de zonas donde haya asentamientos humanos, que puedan contaminar el agua con residuos orgánicos. También es necesario evitar cualquier posibilidad de contaminación por la agricultura, industrias o residuos tóxicos derivados de la aplicación de pesticidas o plaguicidas que pudieran llegar al punto origen del suministro principal de agua. Los químicos usados en el control de plagas en las actividades agropecuarias pueden contaminar el agua debido a la escorrentía y causar toxicidad a las especies en cultivo. Además de la provisión de agua, se debe garantizar que el drenaje se efectúe en afluentes preferiblemente distintos al de la fuente de agua (Saldarriaga, 2008).

Según este autor, la selección de sitios para instalar centros de producción acuícola incluye tres ámbitos:

1. Aspectos generales: Aspectos legales, Ubicación geográfica, Extensión, Accesibilidad, Disponibilidad de mano de obra, equipos y suministros, Asistencia técnica,
2. Calidad de agua: Los factores físicos, químicos y biológicos, deben estar en los rangos requeridos por las especies a cultivar.
3. Calidad de suelo: Los factores físicos como la textura; químicos y fertilidad son importantes para la impermeabilidad de las unidades de producción como para productividad acuática.

Saldarriaga (2013), incluye un ámbito más de importancia: El aspecto ambiental y socioeconómico.

2.1.3. Impacto de la acuicultura sobre los ecosistemas naturales

La acuicultura, al igual que otras industrias productivas, genera impactos ambientales significativos, tales como la contaminación del agua por nutrientes y desechos, la eutrofización, la alteración de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y la introducción de especies exóticas o enfermedades. Su sostenibilidad requiere gestionar estos residuos para limitar el daño al medio marino y costero, entre los que se encuentran las descargas de los efluentes a los cuerpos de agua receptores cuyo contenido más significativo es la materia orgánica en condiciones de reducción química (Bardach, 1997). Los sedimentos orgánicos y particulados están constituidos por metabolitos, microorganismos, heces, animales muertos, abonos, fertilizantes y nutrientes producto de la lixiviación del alimento balanceado no consumido (Martínez 2009).

Cuando el agua pasa por los estanques de cultivo, la mayoría de sus variables presentan cambios que en su conjunto alteran su calidad. Al medir los niveles presentes en el agua influente y en el efluente, es posible estimar cuantitativamente el cambio específico o grado de deterioro para cada variable, esta información permite reglamentar las descargas de los efluentes de las granjas. En el futuro, las granjas, más allá de mantener sus efluentes por debajo de los límites permitidos, establezcan estrategias que minimicen las tasas de cambio de algunas variables (Martínez, 2009).

Los efluentes acuícolas tienen características particulares que tienen los efluentes en cada lugar, de acuerdo al nivel de intensificación de sistema de cultivo, lo cual aumenta la carga de materia orgánica en el efluente, y sí el fondo del estanque es de tierra, la carga de materia orgánica en el sedimento disminuiría porque una parte se quedaría en los intersticios del suelo (Boyd, 1990) o sí el estanque se encuentra revestido con geomembrana de alta densidad, como el efluente obtenido para la presente investigación, el material orgánico no quedaría en el suelo del estanque y son expulsados hacia los canales de drenaje que pueden ser canales de marea, río o directamente al mar durante la cosecha (Saldarriaga, 2013).

2.1.4. Estándares de Calidad de Agua (ECA)

Según la calidad del agua de las cuencas hidrográficas de Tumbes corresponde clasificarlos en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, Subcategoría E2: Ríos (ECA, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), según la siguiente tabla:

Tabla 1.

Características del Estándar de Calidad de Agua 2017

Característica	Nivel
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	menor a 10 mg/L
Fosfato total	menor a 0,05 mg/L
Nitrógeno Amoniacal Total (TAN)	menor a 0,354 mg/L
Oxígeno disuelto	mayor o igual a 5 mg/L
pH	6,5 a 9
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	menor a 100 mg/L
temperatura	diferencial menor a 3° C
bacterias termotolerantes	menor a 2 000 NMP/100 mL

2.1.5. El clima de Tumbes

Tumbes, tiene un clima parecido al de la Amazonía peruana, la cuenca del río Tumbes actúa como una franja de paso entre el trópico húmedo ecuatorial y la zona desértica de la costa norte del Perú. El clima es cálido y lluvioso con temperaturas de 15 a 35° C y humedad relativa de 72%. Se observa un incremento de las precipitaciones al ir de la costa hacia el interior de la cuenca (Puño 2010). Particularmente, en Contralmirante Villar, se han registrado valores hasta 35° C entre enero a abril, siendo que entre julio a agosto las temperaturas descienden a 15° C (MINAM, 2009).

2.1.6. Descripción de las series de suelos

Se han identificado 17 series de suelos dentro de la margen derecha del río Tumbes, las que ocupan un total de 42 939,80 ha, de este total; la serie Algarrobo (Ag) es la que ocupa la mayor extensión, con 15 678,20 ha (36,5%), distribuidas

principalmente en el Tablazo, la serie Lomada (Lo) es la que ocupa el segundo lugar en extensión con 6 314,00 ha (14,70%), mientras que la serie Overal (Ov) ocupa el tercer lugar con 5 738,90 ha (13,36%). La serie de menor extensión es Abanico (Ab) con 61,70 ha (0,14%) (Puño, 2010).

Este autor señala que, las series Tumbes (Tu), Santa Clara (SC), Bocapán (Bo), Delicias (De) se caracterizan por presentar perfiles de suelos con textura media: Franco a Franco arenosos o Franco limosos, profundos y bien drenados. Las series Cun Cun, Overal, Garita, Brujo; presentan perfiles con textura media a fina: Francos a Franco Arenosos a Franco Arcillosos o Franco Arcillo Arenosos, profundos y con un drenaje que varía de bueno a moderado. En el resto de las series de suelos predominan texturas medias a finas o muy finas: Franco Arcilloso o Arcilloso a excepción de la serie Ribereño que tiene un perfil con un substrato Areno Gravoso. En general, predominan los suelos de textura Franco Arenoso a Franco Arcilloso, profundos, con pendientes entre 2 a 10%.

2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. Zonificación de áreas geográficas para acuicultura

Oviedo et al. (2013), utilizaron las herramientas del Sistema de Información Geográfica al definir áreas para el cultivo de *Oreochromis niloticus* (tilapia). Encontraron que 2% del área de estudio resultó apta, pero que existieron efectos negativos por los niveles altos de requerimientos básicos no cumplidos e infraestructura para el transporte deficiente. Se observaron áreas con suelos ácido sulfatados con altos niveles de hierro y pH ácido. En otros lados, determinaron alta turbidez y sólidos suspendidos en las fuentes de agua, también, la limitada capacidad de drenaje evidenció riesgos de inundación. Las partes altas evidenciaron la mejor aptitud para cultivar tilapia, pero las partes estuarinas, ambientes cercanos a los lagos y áreas aledañas a la parte baja de la cuenca baja no mostraron aptitud.

2.2.2. Experiencias de cultivo de peces en Tumbes

Entre las especies de peces comerciales cuyas tecnologías de cultivo en el continente son conocidas y que son de interés para Tumbes porque pueden

adaptarse a las condiciones ambientales, se encuentran: *Oreochromis niloticus* (tilapia azul) y *O. urolepsis hornorum* x *O. mossambicus* (tilapia roja híbrida), las especies amazónicas de rápido crecimiento entre ellas *Arapaima gigas* (paiche), *Colossoma macropomum* (gamitana) y *Piaractus brachypomus* (paco).

Arapaima gigas tiene la mayor tasa de crecimiento, pues las experiencias de cultivo en estanques de tierra (Alcántara et al., 2002 y 2005) y en jaulas flotantes realizadas en la Amazonía peruana demuestran que se puede alcanzar un crecimiento de un metro de longitud y un peso de diez kilogramos en un año, con niveles de rentabilidad de 32,20% que, indica las posibilidades de mejoras socioeconómicas de la población (Chu-Koo et al., 2007).

Saldarriaga (2012), cultivó alevines de *A. gigas* de 0,5 g de peso promedio en la langostinera Marinazul S.A. en Tumbes, utilizando la estrategia de tres fases de cultivo: En la fase de Precría durante tres meses, utilizó raceways (20 m³) sembrando a 34,1 ind./m³ obtuvo ejemplares de 1,0 kg y un factor de conversión alimenticio de 0,69. En la fase de preengorde, utilizó estanques de tierra de 0,08 ha, sembró estos individuos a 2,56 ind./m², obtuvo un peso promedio final de 5,0 kg en 4,5 meses, siendo el factor de conversión alimenticio de 0,96. En la fase de engorde, durante 16 meses, a la densidad de 0,09 ind./m², ejemplares de 5,00 kg alcanzaron el peso promedio final de 23,7 kg con la supervivencia de 99,5 % y un factor de conversión alimenticio de 1,6. Durante la experiencia, la temperatura varió entre 25 °C a 33 °C y la salinidad entre 1 ‰ a 9 ‰.

Saldarriaga (2014), realizó el cultivo semi-intensivo de *Arapaima gigas* en la etapa de pre-cría y engorde en Tumbes, Perú, en tanques de 3,2 m³ a 1,6 m³ utilizando agua de río y pozo a fin de evaluar la factibilidad técnica del cultivo, para lo cual se construyó un invernadero. Se adquirieron 500 alevines de *A. gigas* en Iquitos, Perú y fueron transportados hasta Tumbes vía aérea. Los alevines tuvieron un peso promedio de 9,95 g y una longitud promedio de 10,95 cm que fueron aclimatados a las condiciones ambientales de la zona. Se concluyó que desde el punto de vista técnico es factible realizar el cultivo semi-intensivo de esta especie en Tumbes, Perú.

A su vez, reportó que, las características físico-químicas del agua durante el cultivo fueron: Temperatura de 28,3 a 29,5° C; oxígeno disuelto varió entre 2,51 a 5,20 mg/L, el pH entre 6,86 a 8,16, amonio menor a 0,1 hasta 2,5 mg/L, nitrito de 0,01 a 0,5 mg/L, nitrato de 1,30 a 10,20 mg/L, salinidad de 1 ‰ y alcalinidad de 49,87 a 61,04 mg/L.

En un estudio sobre el cultivo de tilapia roja híbrida (*Oreochromis mossembicus* x *O urolepsis homorum*) en estanques de tierra y agua de mar (salinidad de 35,72 ppt). La Investigación se realizó en 17 semanas. En nueve estanques de 150 m² cada uno. Las densidades de siembra que se experimentaron fueron: 1 ind./m² (control) 3 ind./m² y 5 ind./m²; lo que en total utilizó una población experimental de 2 700 juveniles de 75,00 g de peso promedio. Los controles de crecimiento, supervivencia y biomasa se realizaron semanalmente. Los resultados demostraron que la densidad de siembra con que se alcanzó el mayor rendimiento fue la de 5 ind./m² (214,12 kg) que fue significativamente mayor al del control (69,47 kg), además se determinó que, el rango máximo de carga varió entre 12 934,04 Kg/ha a 14 274,57 kg/ha.

2.2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG) en estudios para acuicultura

Assefa y Abebe (2018), evaluaron los potenciales sitios para identificar y delimitar áreas adecuadas para la acuicultura en estanques de tierra basándose en indicadores biofísicos y socioeconómicos en la cuenca del lago Tana al Noroeste de Etiopía, principalmente para el cultivo de *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo). Se tomaron en cuenta 21 criterios socioeconómicos, potencial agrícola, tipo de tierra, disponibilidad de agua, calidad de suelo, mercados terrestres urbanos. Para los análisis se convirtieron mapas de idoneidad con varias capas temáticas que a su vez se agruparon para generar los mapas de aptitud universales utilizando la combinación lineal ponderada. Los pesos relativos se generaron mediante la comparación por pares para el proceso jerárquico. El análisis indicó que la situación imperante en la cuenca apoya el establecimiento y desarrollo de la acuicultura. Utilizando la evaluación SIG se prevé que, del total identificado como sitios para acuicultura, 32 678,9 ha (2,7%) son muy adecuados, mientras que 1 166 594,5 ha (97,2%) son moderadamente adecuados para un sistema de acuicultura en estanques de tierra a pequeña escala.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR Y PERIODO DEL ESTUDIO

La investigación se realizó en la zona continental de las tres provincias de Tumbes, delimitadas geográficamente por las siguientes coordenadas (Tabla 2):

Tabla 2.

Provincias y distritos del departamento de Tumbes

Provincia/Distrito	Capital	Ubicación Geográfica	Extensión (km²)	Altitud (m.s.n.m.)
Zarumilla	Zarumilla		745,13	
Zarumilla	Zarumilla	03°29'55" LS 80°16'24" LO		11
Aguas Verdes	Aguas Verdes	03°28'40" LS 80°14'51" LO		7
Matapalo	Matapalo	03°40'51" LS 80°11'51" LO		54
Papayal	Papayal	03°34'06" LS 80°14'00" LO		60
Tumbes	Tumbes		1 800,85	
Tumbes	Tumbes	03°34'00" LS 80°27'25" LO		7
San Juan de la Virgen	San Juan de la Virgen	03°37'27" LS 80°25'57" LO		40
Pampas de Hospital	Pampas de Hospital	03°41'19" LS 80 26'13" LO		31
Corrales	San Pedro de los Incas	03°36'31" LS 80°28'45" LO		12
San Jacinto	San Jacinto	03°38'15" LS 80°26'45" LO		11
La Cruz	Caleta La Cruz	03°37'59" LS 80°35'13" LO		5
Contralmirante Villar	Zorritos		2 123,22	
Zorritos	Zorritos	03°40'03" LS 80°39'21" LO		6
Casitas	Cañaverall	03°56'24" LS 80°38'57" LO		134
Canoas de Punta Sal	Cancas	03°54'00" LS 80°52'00" LO		6

Fuente: modificado de INEI (2018)

El periodo de ejecución fue de un año, de enero a diciembre de 2024.

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de investigación

De acuerdo a su fin, la investigación fue del tipo aplicada (Tresierra, 2000 y Alvitres, 2000), en la que se aplicaron conocimientos básicos sobre geografía, hidrología, ecología, acuicultura, sistemas de información geográfica, economía, sociología y ambiente, para transformar luego estos conocimientos científicos en una propuesta de zonificación de áreas geográficas con potencial acuícola continental comercial en las tres provincias de Tumbes.

De acuerdo al enfoque, fue cuantitativa, descriptiva (Tresierra, 2000 y Alvitres, 2000), porque estuvo orientada a describir la realidad y situación del potencial acuícola que presentan las áreas geográficas, con sus recursos hídricos, suelo, clima, etc. de Tumbes.

3.2.2. Diseño de investigación

La investigación se llevó a cabo bajo el diseño Descriptivo Simple (Tresierra, 2000 y Alvitres, 2000), porque se describieron las distribuciones, ubicación geográfica, excepciones y selección de áreas con potencial para la acuicultura continental en, así como la zonificación de áreas geográficas en las tres provincias de Tumbes.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

El área continental de Tumbes (población), fue de 4 669,20 km², con las provincias de Zarumilla (745,13 km²), Tumbes (1 800,85 km²) y Contralmirante Villar (2 123,22 km²) (INEI, 2018).

La prospección de las áreas en estudio se realizó mediante el análisis espacial de mapas digitales por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) con el software ArcGis 10.0, de toda la extensión de Tumbes, siguiendo la metodología descrita por Pucha-Cofrep (2017).

3.4. ESTUDIO DE LOS FACTORES AMBIENTALES

Se basaron en los requerimientos bioecológicos de las especies de peces a cultivar con el fin de obtener una producción de biomasa comercial, en los aspectos de abastecimiento de agua, calidad de agua, calidad de suelo, extensión y georreferenciación.

3.4.1. Fuentes de suministro de agua

Se verificaron las fuentes de agua superficiales principales y de mayor extensión como: el río Zarumilla, río Tumbes, Quebrada Bocapán y Quebrada Seca y Quebrada Fernández, acorde con las cuencas del mismo nombre.

3.4.2. Calidad de agua de las fuentes y suelo

Las características del agua en las posibles fuentes de suministro: río Zarumilla, río Tumbes, Quebrada Bocapán, Quebrada Fernández y suelo fueron monitoreados mensualmente de enero a diciembre de 2024.

Para determinar los niveles de las características fisicoquímicas y biológicas se siguieron los siguientes métodos (Tabla 3).

Tabla 3.

Métodos para análisis de la calidad de agua de la fuente y suelo

Parámetro	Método-Equipo
Temperatura (° C)	Lectura directa en oxigenómetro. Oxigenómetro YSI, modelo 550A-12
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Oxygen (Dissolved). Electrometric Method using membrane electrodes. Oxigenómetro YSI, modelo 550A-12
pH (Agua y Suelo)	pH. Electrometric Method. Potenciómetro PCE-PH 22.
Salinidad (g/L)	Salinity. Refractometer Method. Refractómetro B Bubblefin con ATC 0 a 100 ‰, ± 1,0 ‰.
Nitrógeno-Amonio (mg/L)	Nitrogen (Ammonia). Distillation Preliminary, Total Nitrogen, Persulfate Method. Fotómetro 9500 DELUXE KIT (YPT950)
Alcalinidad (mg/L)	Titration Method. Fotómetro 9500 DELUXE KIT (YPT950)
Dureza (mg/L)	EDTA Titrimetric Method. Fotómetro 9500 DELUXE KIT (YPT950)
Fósforo (mg/L)	Phosphorus. Colorimetric Method. Fotómetro 9500 DELUXE KIT (YPT950)
Bacterias coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual (BAM) Método Número Más Probable
Textura (Predominancia de arcilla)	Método de Bouyoucos (Bazán. 2017)
Materia Orgánica en el suelo	Método por calcinación (Bazán, 2017)

3.5.DEFINICIÓN DE ÁREAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA

3.5.1. Áreas geográficas de exclusión

Se identificaron y recopilaron las capas espaciales necesarias para el análisis, relacionadas con los criterios de exclusión, quedando aquellas con potencial para la acuicultura continental. Las áreas de exclusión fueron las siguientes:

- Predios agrícolas
- Capacidad de uso mayor
- Áreas naturales protegidas
- Zonas de amortiguamiento
- Áreas de Conservación Privadas
- Áreas de Conservación Regionales
- Áreas urbanas y rurales

3.5.2. Preparación de capas temáticas

Se obtuvieron mapas de las siguientes página web oficiales del estado peruano:

- Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú.
<https://visor.geoperu.gob.pe/>
- Plataforma Nacional de Datos Abiertos
<https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/limites-departamentales>
- Servicio Nacional de Áreas Nacionales Protegidas (SERNAMP):
<https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>

Se utilizó el método de integración y análisis espacial de mapas por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) con el software ArcGis 10.0. Para el análisis espacial, se construyó una base de datos con el software Excel para la elaboración de mapas digitales en formato vector y ráster.

Se aplicó la técnica de Campos de Idoneidad y la Calculadora de Álgebra de Mapas. En este método, se utilizaron capas temáticas a las que se les asignó un campo de viabilidad (GID_CODE) y la calculadora de álgebra de mapas para el análisis final (Pucha-Cofrep, 2017).

3.5.3. Adición del campo GID_CODE

A cada capa temática, se agregó un campo llamado GID_CODE, asignando valores por medio de una tabla de atributos de capa, según el potencial acuícola o viabilidad del área:

- Áreas no potenciales o inviables: 0
- Áreas potenciales o viables: 1

3.5.4. Conversión a formato Ráster (TIF)

Todas las capas vectoriales se convirtieron a formato ráster (GeoTIF), con los valores de potencialidad acuícola indicada, donde los valores del campo GID_CODE se mapearon a los píxeles ráster.

Con todas las capas ráster preparadas, se utilizó la calculadora de álgebra de mapas para combinar las capas y generar un mapa de idoneidad final.

3.5.5. Fórmula de álgebra de mapas

Se utilizó la expresión lógica para identificar áreas con el mayor potencial acuícola, combinando las capas con operadores de suma o intersección lógica:

$$\text{Idoneidad} = (\text{Capa}_1 * \text{Capa}_2 * \text{Capa}_3)$$

En este caso, las áreas con valores más altos en el resultado final indicaron áreas con mayor potencialidad o viabilidad, áreas con múltiples criterios cumplidos.

3.5.6. Generación del mapa final

El mapa resultante de la calculadora de álgebra de mapas se procesó para identificar áreas potenciales con el valor 1 y luego exportar el mapa final para análisis y presentación que se representó temáticamente, indicando las zonas.

Este enfoque combina la simplicidad y eficacia al aprovechar herramientas GIS y álgebra de mapas, logrando una selección clara de áreas potenciales para acuicultura basándose en criterios previamente definidos.

3.6. DEFINICIÓN DE ZONAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA

Las zonas geográficas con potencial para la acuicultura continental fueron definidas en función de las áreas que cumplieran con el requisito de tener una extensión mayor a 5,00 ha, que es un módulo apropiado para la construcción de toda la infraestructura moderna (Acuícola, Hidráulica, Sistema de Tratamiento de Efluentes y Complementaria) de un centro de producción acuícola para peces y camarones de agua dulce.

3.7. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1. Recolección de datos

Para generar la información con la cual se elaboraron los mapas necesarios, se recolectaron los datos en los formatos con las variables en estudio: ubicación geográfica, extensión y requisitos de exclusión indicados en el ítem 3.5.1.

3.7.2. Procesamiento y análisis de datos

En general, los datos recolectados fueron procesados y sistematizados a través de la hoja electrónica del Programa Excel de Microsoft Office, para obtener estadísticos descriptivos de centralización y dispersión, así como la construcción de histogramas, ploteo de datos y construcción de histogramas según la variabilidad de los resultados, para su mejor análisis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ÁREAS GEOGRÁFICAS CON POTENCIAL PARA LA ACUICULTURA

4.1.1. Cuencas hidrográficas de Tumbes

Las cuencas hidrográficas consideradas como fuentes de agua principales para seleccionar las zonas geográficas con potencial para la acuicultura fueron: río Zarumilla, río Tumbes, quebrada Bocapán y quebrada Seca (Figura 3).

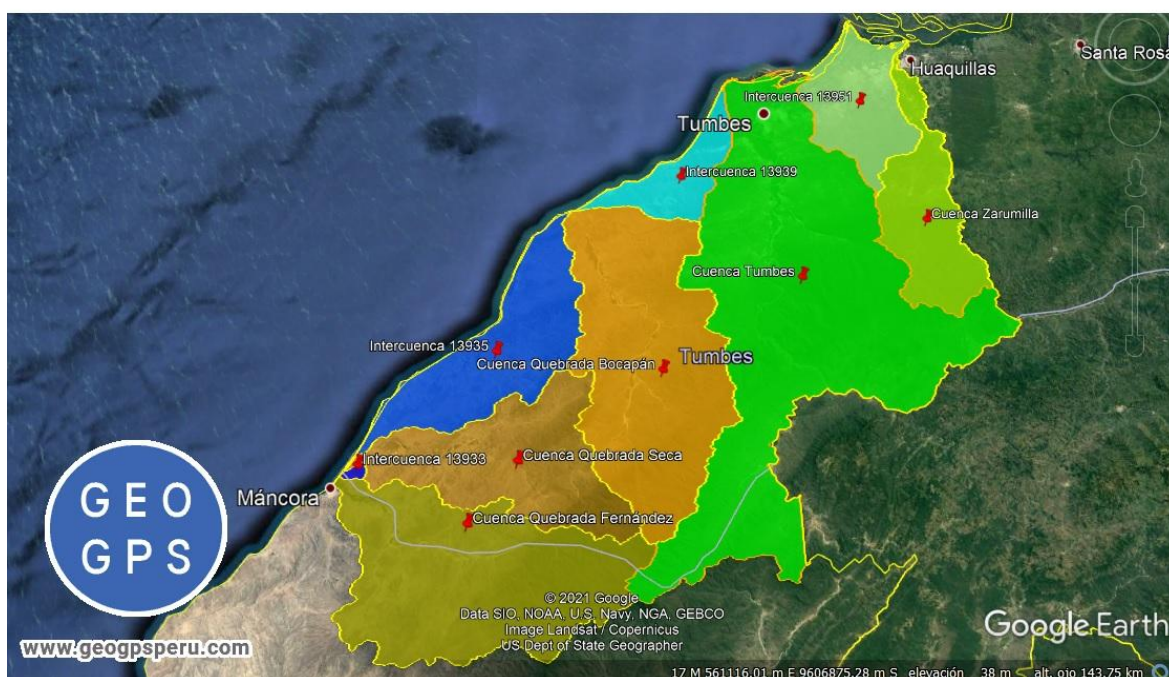


Figura 1. Cuencas hidrográficas de Tumbes (GEO PERÚ, 2021)

Las fuentes principales de suministro de agua para desarrollar las actividades de acuicultura en Tumbes constituyen las cuencas, en conjunto con sus quebradas y las posibles fuentes de agua subterráneas que, en estudios de selección del sitio en cualquiera de las áreas geográficas con potencial para la acuicultura, deberán estudiarse específicamente de acuerdo a los requerimientos bioecológicos de la especie a cultivar y la intensificación del sistema de cultivo.

En concordancia con Puño (2010), se sugiere que las actividades de acuicultura en las cuencas hidrográficas deben tener como marco fundamental el manejo racional y participativo de los recursos agua, suelo, flora y fauna, ya que el fin supremo es lograr una producción sostenible de biomasa con el mínimo impacto negativo sobre los ecosistemas naturales, en beneficio de las comunidades aledañas y empresarios, mediante una gestión coordinada entre los sectores públicos y privados.

4.1.2. Áreas geográficas de exclusión

Las áreas de exclusión estuvieron constituidas por: Áreas naturales protegidas, Áreas de amortiguamiento, Áreas de Conservación Privadas, Áreas de Conservación Regionales, Áreas de Conservación Ambientales (Figura 2).

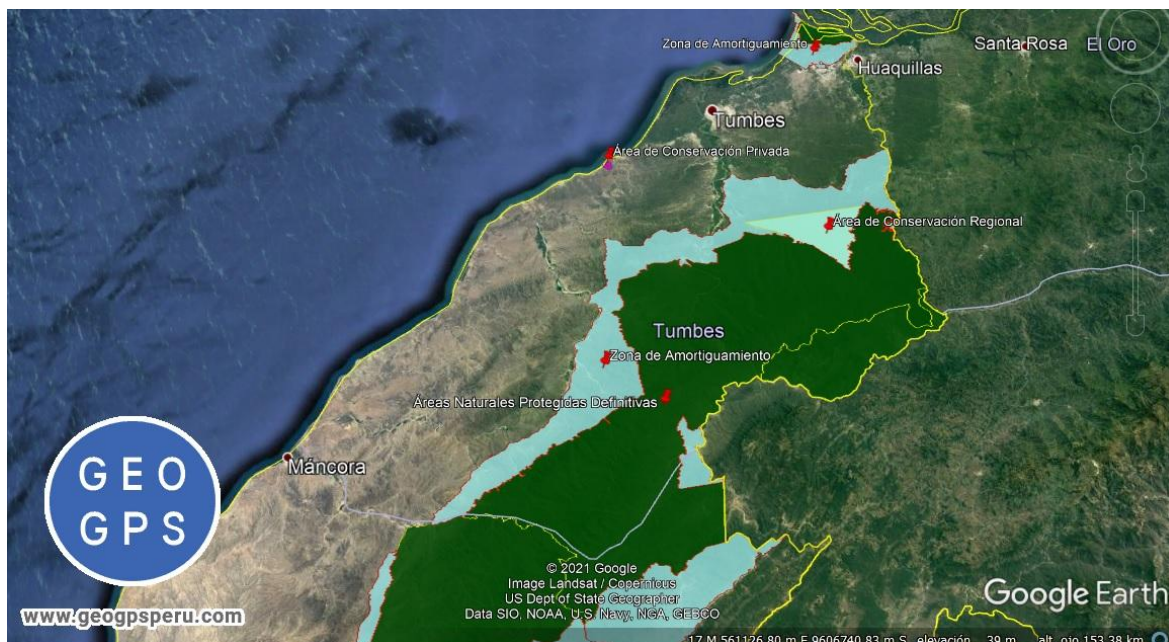


Figura 2. Áreas geográficas de exclusión: Áreas Naturales Protegidas (GEO PERÚ, 2021)

Las Áreas Naturales Protegidas de Tumbes son: Cerros de Amotape (Zarumilla, Tumbes y Contralmirante Villar/Piura), está en la categoría de Parque Nacional con una extensión de 151 767,49 ha; Manglares de Tumbes (Zarumilla), está en la categoría de Santuario Nacional con 2 972,00 ha; Área Nacional Protegida de Tumbes (Tumbes), categorizada como Reserva Nacional con 19 266,72 ha;

Angostura Faical (Zarumilla y Tumbes) en la categoría de Área de Conservación Regional con extensión de 8 794,50 ha y el Bosque Seco Amotape (Tumbes) en la categoría de Área de Conservación Privada con una extensión de 123,30 ha (MINAM, 2009).

Se excluyeron estas áreas en razón del estado legal **como** Áreas Naturales Protegidas (ANP), cuya función principal es salvaguardar la diversidad biológica y el desarrollo sostenible. Como bienes nacionales, requieren mantener su integridad ecológica a largo plazo, limitando las actividades humanas a usos regulados o prohibiendo la intervención directa según su zonificación (Congreso de la República, 1997. Ley de Áreas Naturales Protegidas N° 26834).

4.1.3. Áreas geográficas totales

El área total en el departamento de Tumbes analizada fue de 466 526,42 ha. Se determinó que el 26,27% tienen potencial para desarrollar actividades de acuicultura continental (Figura 3).

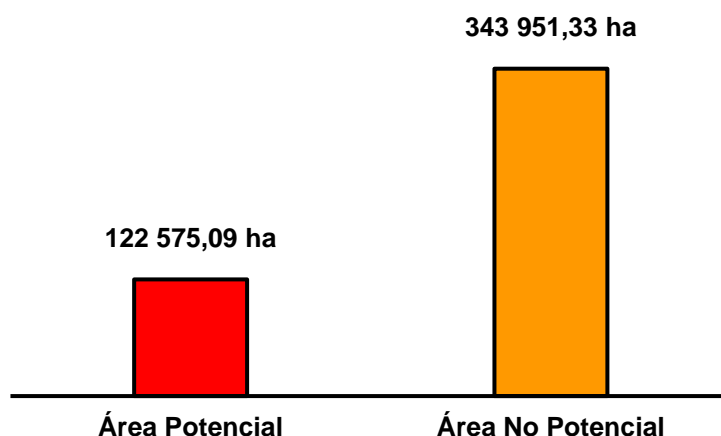


Figura 3. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes

En la Figura 4, se muestra un mapa con la ubicación de las áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en Tumbes.

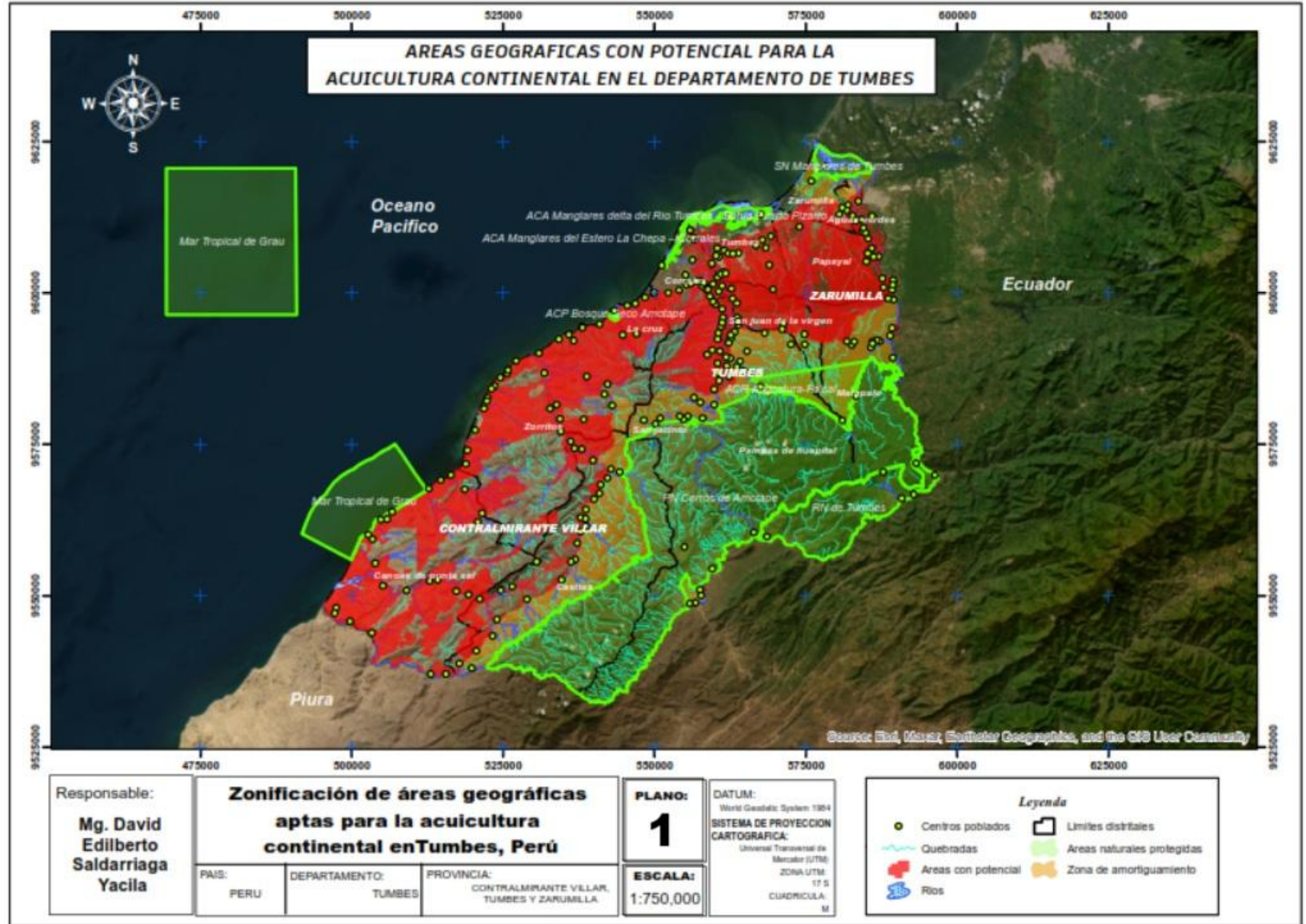


Figura 4 Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes

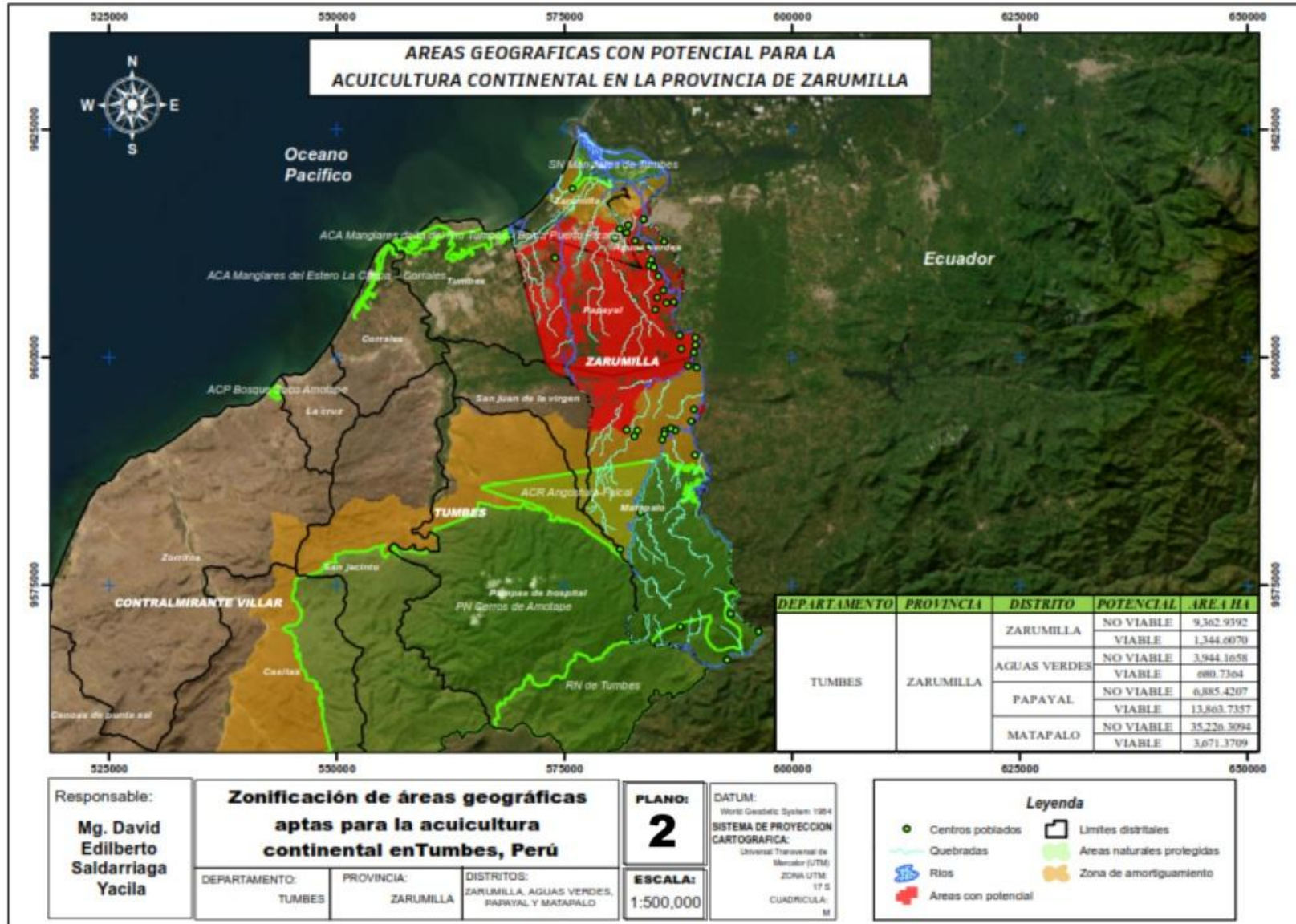


Figura 5. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla

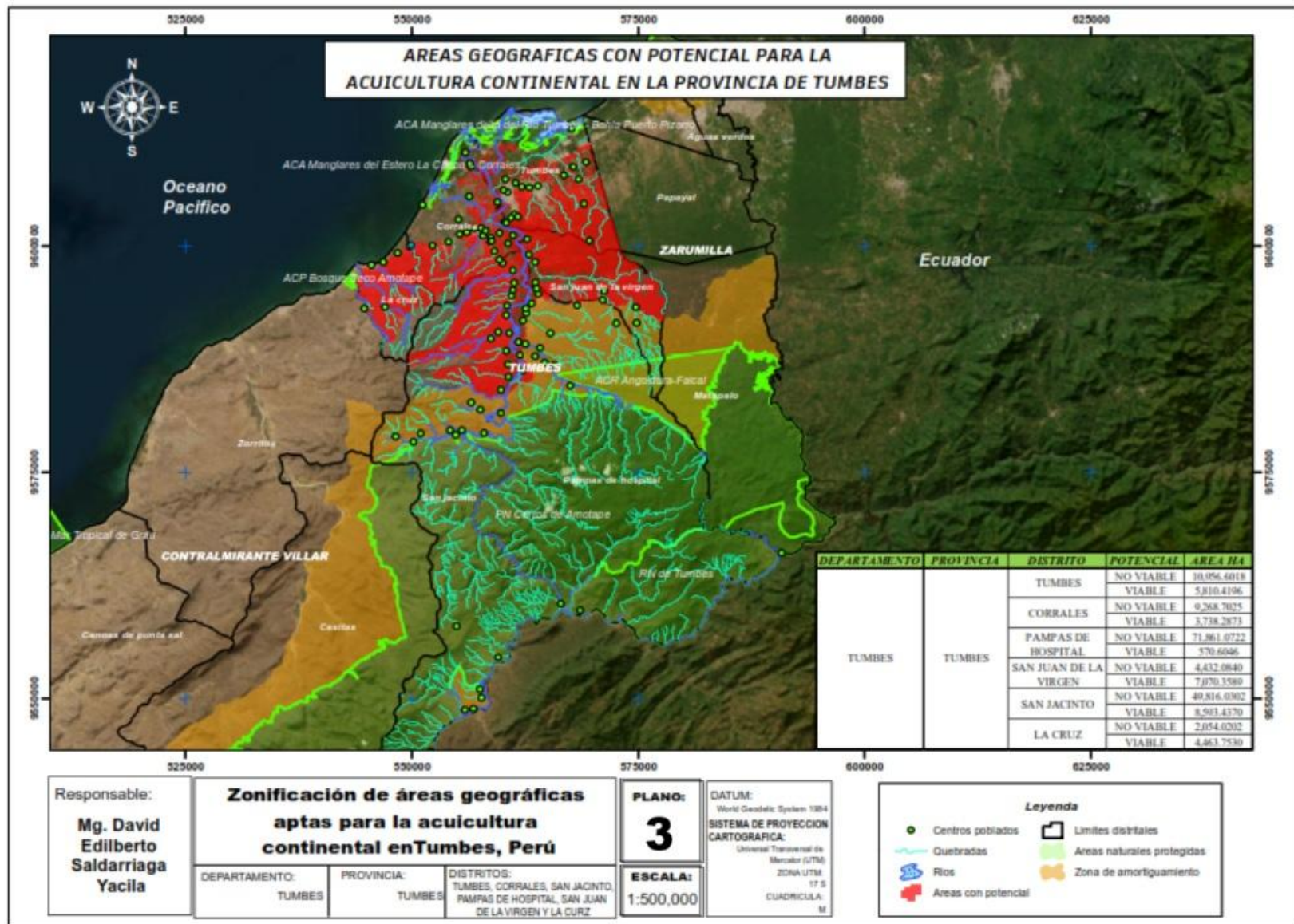


Figura 6. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes

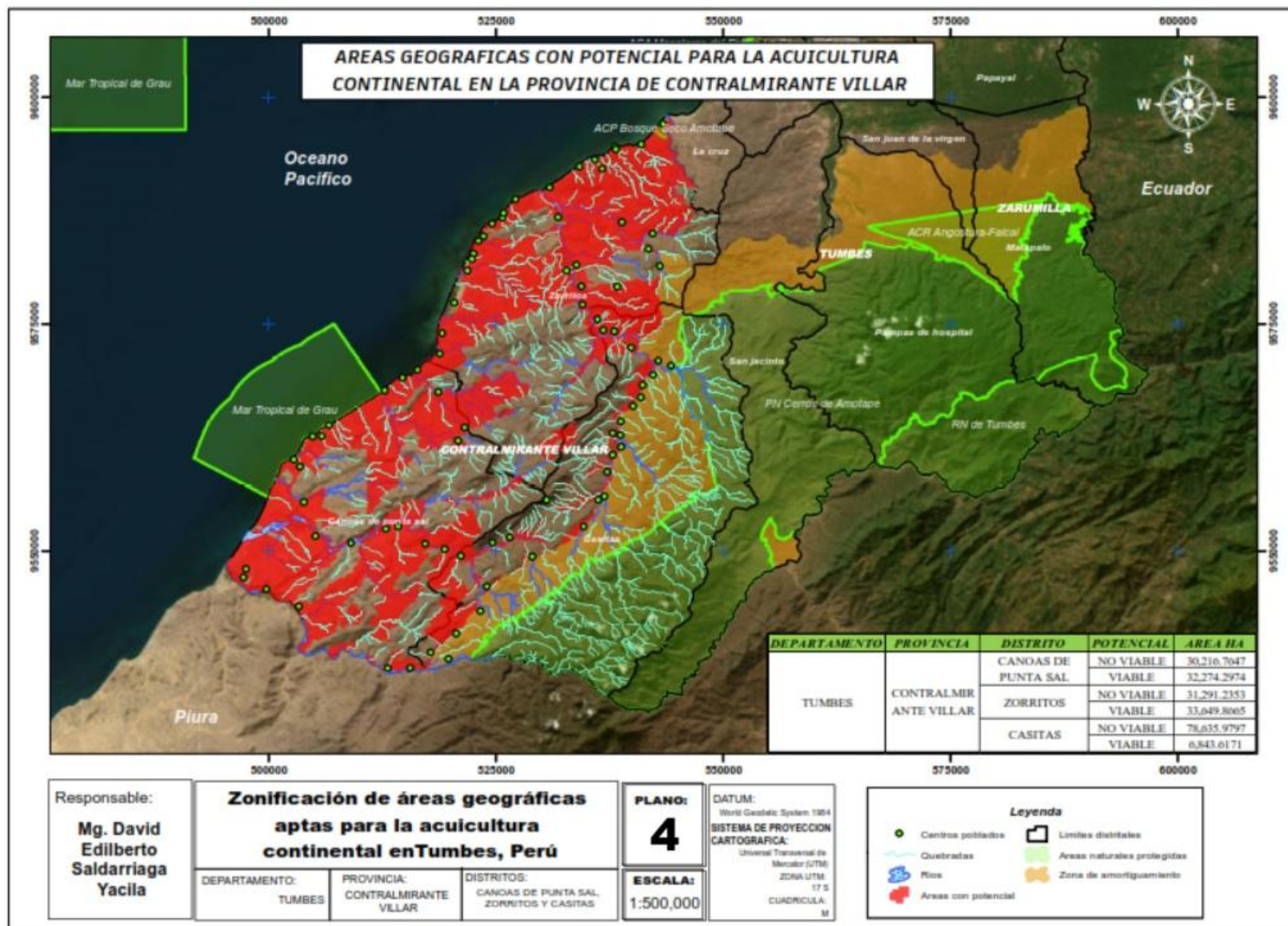


Figura 7. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Contralmirante Villar

El potencial para la acuicultura continental de las áreas geográficas fue definido de acuerdo a su distribución en las tres provincias del departamento de Tumbes. En Zarumilla se definió el 15,96%, en Tumbes, 24,68% y en Contralmirante Villar, 59,37% (Figura 8).

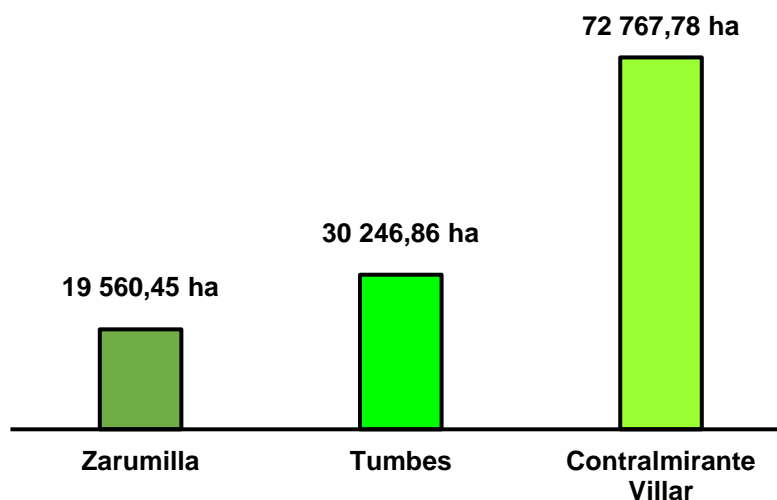
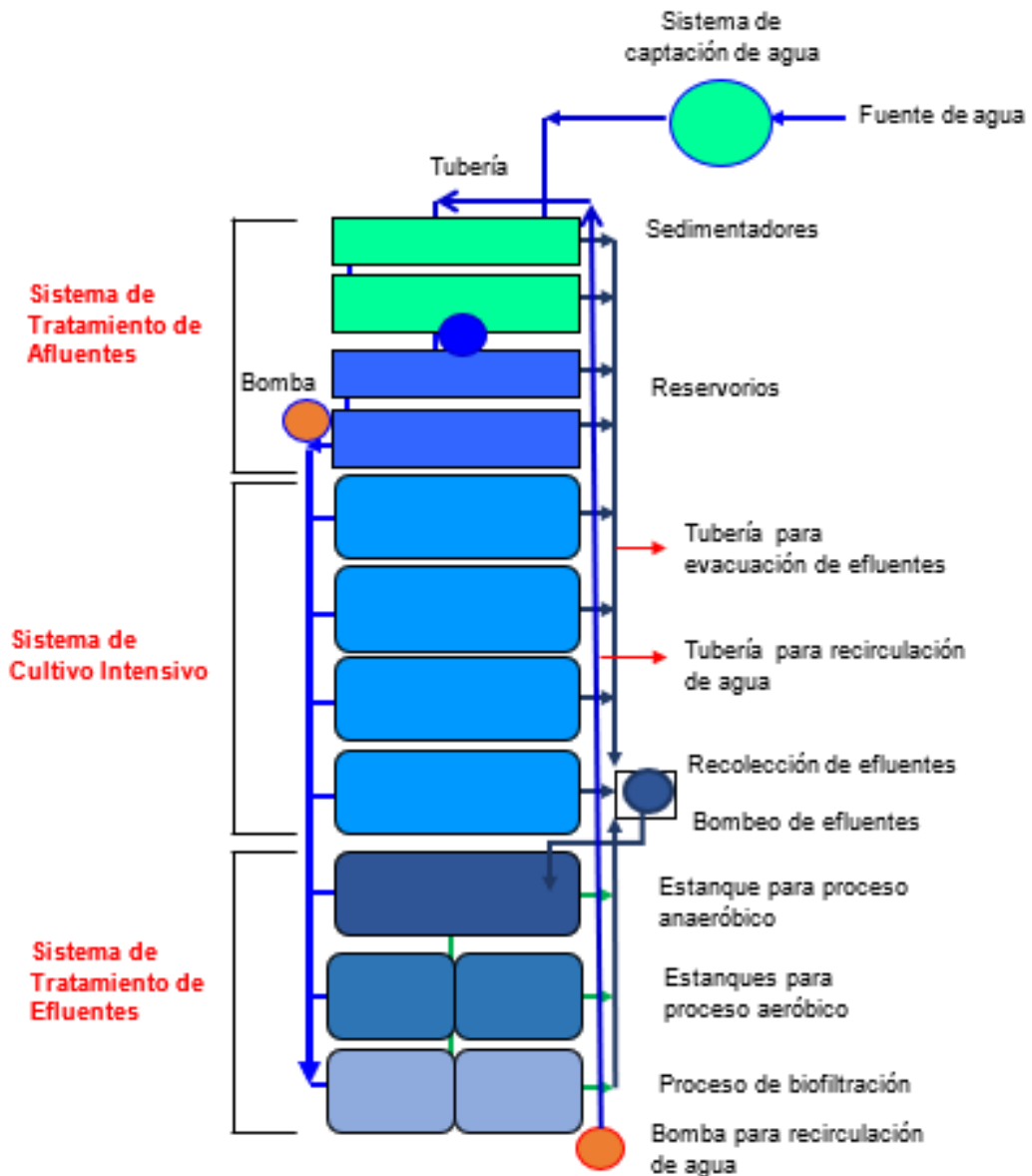


Figura 8. Áreas geográficas totales con potencial para la acuicultura continental por provincias

4.1.4. Áreas geográficas seleccionadas

Se definieron áreas de terreno con extensiones en un rango de 0,01 a 4 461,51 ha, debido a este amplio rango y atomización en algunos casos, se realizó una redefinición de áreas con la condición de que la extensión del terreno sea mayor a 5,0 ha, dado que constituye un módulo mínimo para la construcción de un centro de producción de piscicultura comercial, donde se incluye la infraestructura completa, constituida por: Infraestructura Acuícola, Infraestructura Hidráulica, Sistema de Tratamiento de Efluentes e Infraestructura Complementaria (Figura 9).



Diseño: Dr. Ing. David E. Saldarriaga Yacila

Modelo para el diseño de un sistema de cultivo con recirculación de agua (RAS)

Figura 9. Modelo para el diseño de un sistema de cultivo de peces con recirculación de agua (RAS)

Con esta condición, se definieron áreas geográficas y zonas geográficas en todos los distritos de Tumbes quedando de la siguiente manera:

En la provincia de Zarumilla, la suma de las áreas potenciales seleccionadas fue de 19 214,66 ha, conformadas por las áreas geográficas en los distritos de Zarumilla (6,91%), Aguas Verdes (2,93%), Papayal (71,25%) y Matapalo (18,90%).

Figura 10.

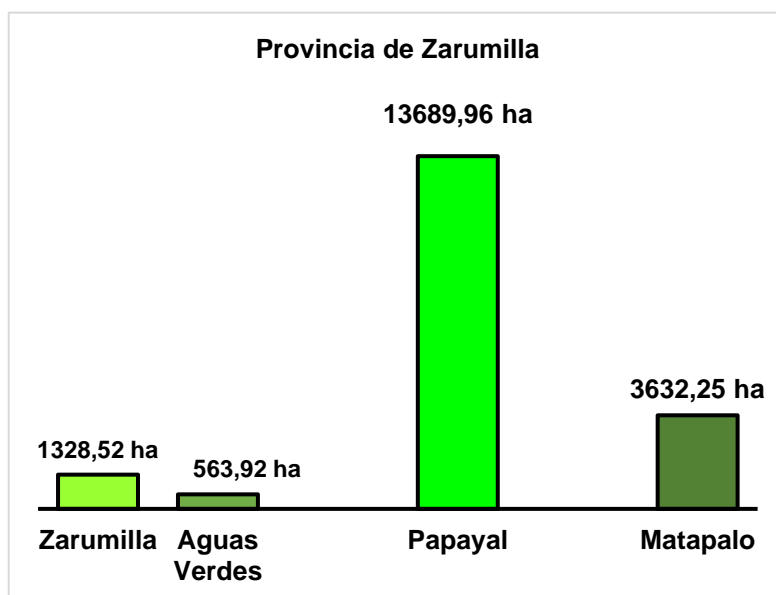


Figura 10. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla

Los centroides de las áreas geográficas seleccionadas de Zarumilla se encuentran entre las coordenadas 577 768,26 m Este y 9 613 084,20 m (Zarumilla) a 567 607,28 m Este y 9 603 537,61 m Sur (Matapalo). Tabla 1-anexos. En la Figura 11, se muestra un mapa con la ubicación de las áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla.

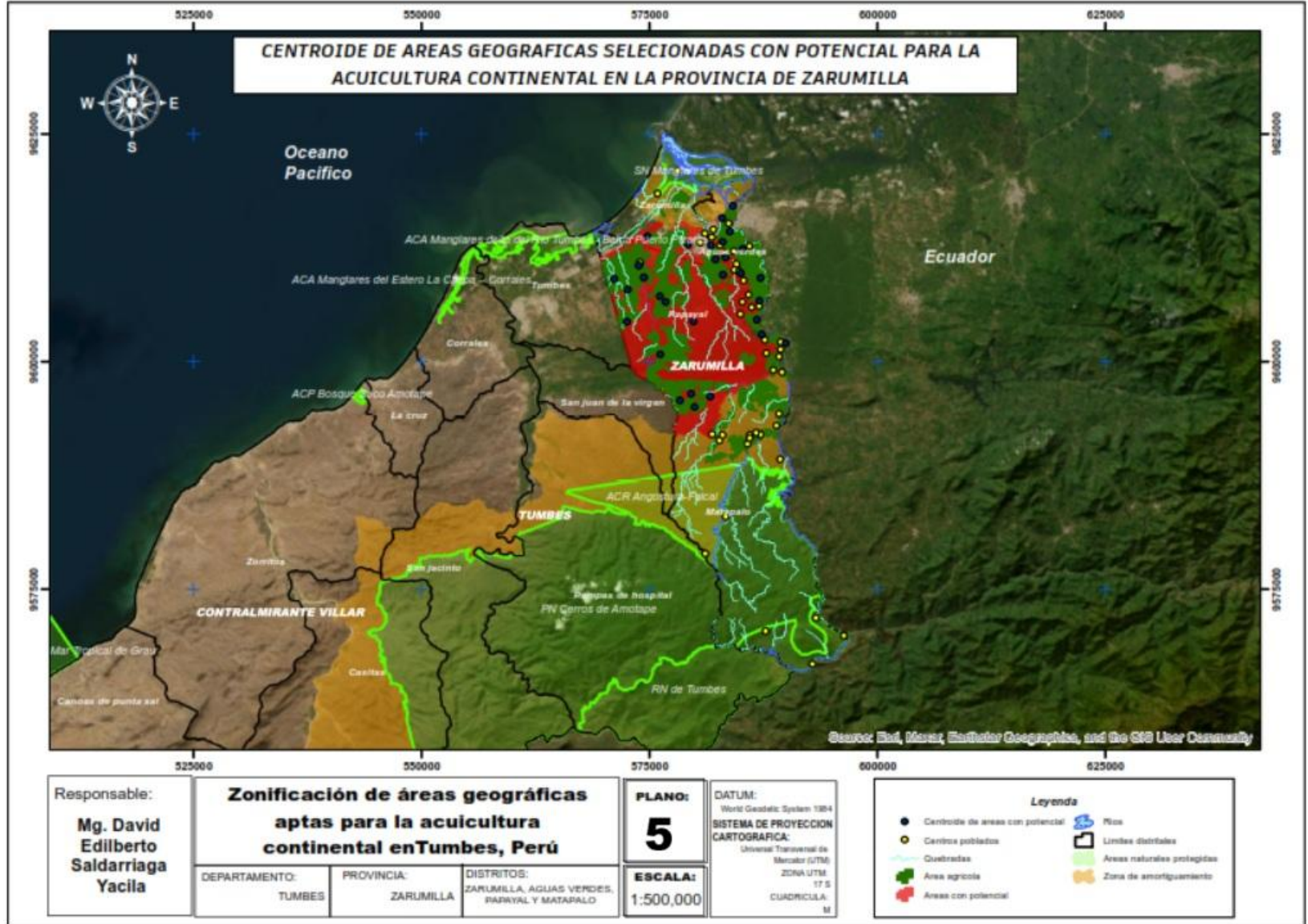


Figura 11. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Zarumilla

En la provincia de Tumbes, la suma de las áreas potenciales seleccionadas fue de 29 725,67 ha, compuestas por las áreas geográficas en los distritos de Tumbes (6,91%), San Juan de la Virgen (2,93%), Pampas de Hospital (71,25%), San Jacinto (28,72%), Corrales (11,98%) y La Cruz (15,01%). Figura 12.

Los centroides de las áreas geográficas seleccionadas de Tumbes se encuentran entre las coordenadas 559 714,42 m Este y 9 610 942,53 m (Tumbes) a 547 909,94 m Este y 9 594 956,53 m Sur (La Cruz). Tabla 1-anexos. En la Figura 13, se muestra un mapa con la ubicación de las áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes.

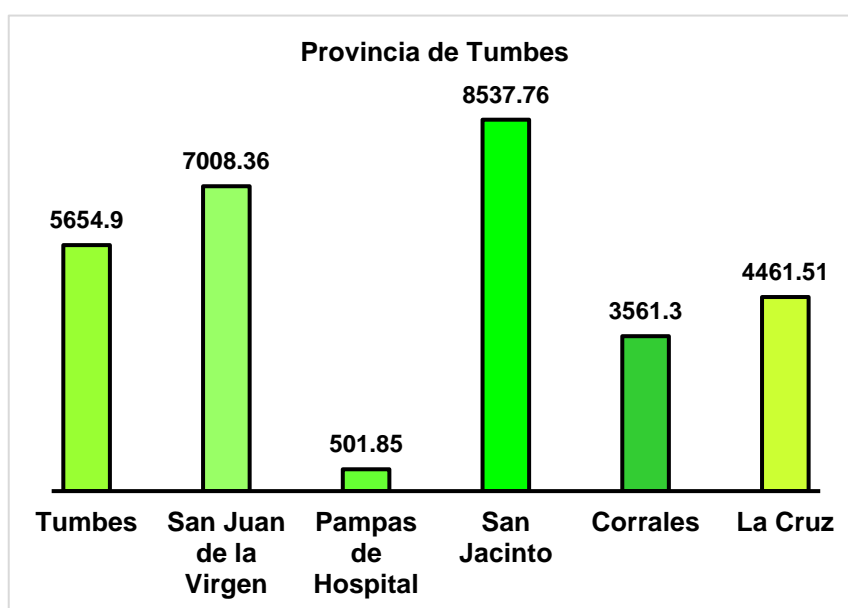


Figura 12. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes

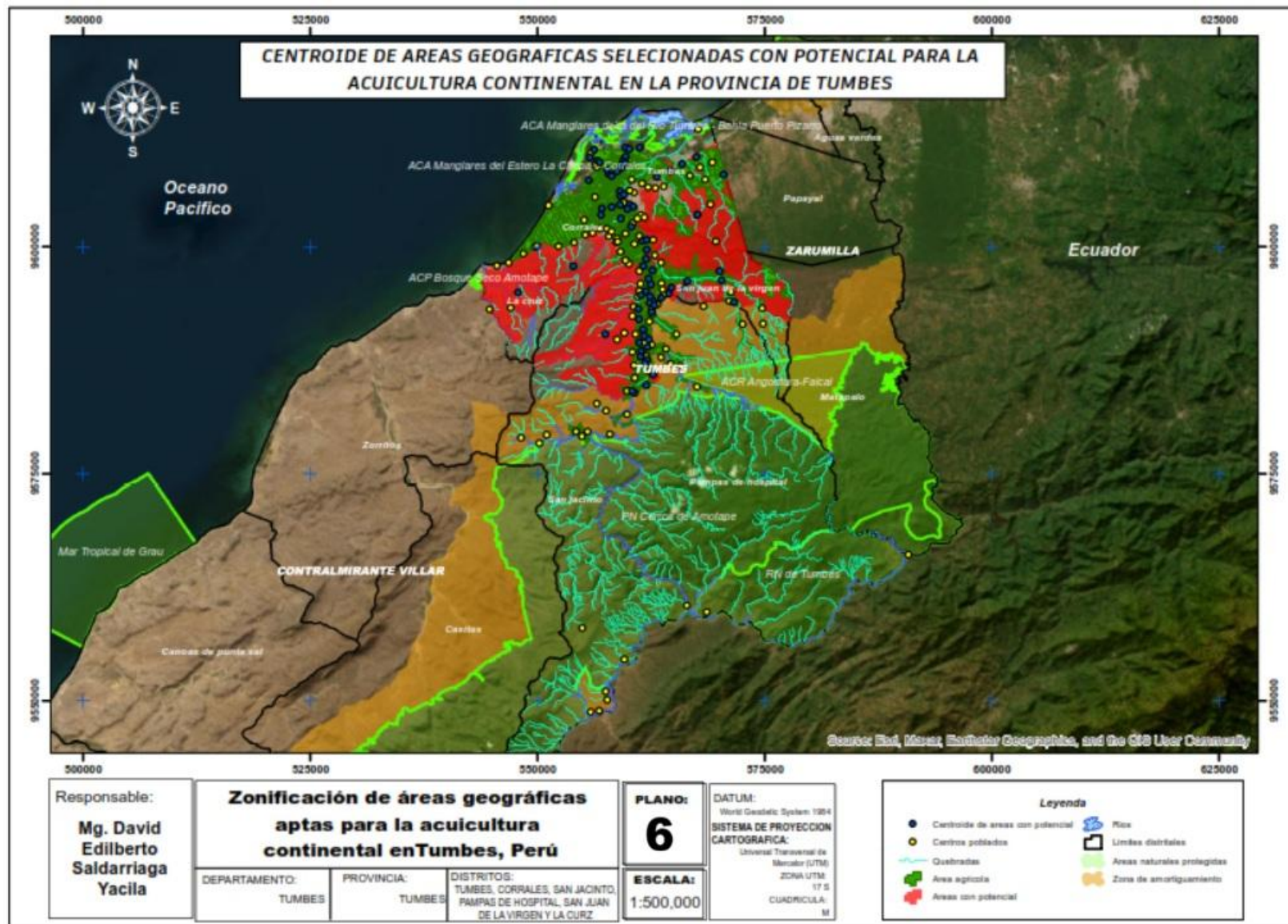


Figura 13. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Tumbes

En la provincia de Contralmirante Villar, el total de las áreas potenciales seleccionadas fue de 72 582,33 ha, constituidas por las áreas geográficas en los distritos de Zorritos (46,31%), Canoas de Punta Sal (44,39%) y Casitas (9,29%).
Figura 14.

Los centroides de las áreas geográficas seleccionadas de Contralmirante Villar se encuentran entre las coordenadas 544 088,74 m Este y 9 597 041,90 m (Zorritos) a 517 394,36 m Este y 9 537 521,98 m Sur (Casitas). Tabla 1-anexos. En la Figura 15, se muestra un mapa con la ubicación de las áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Contralmirante Villar.

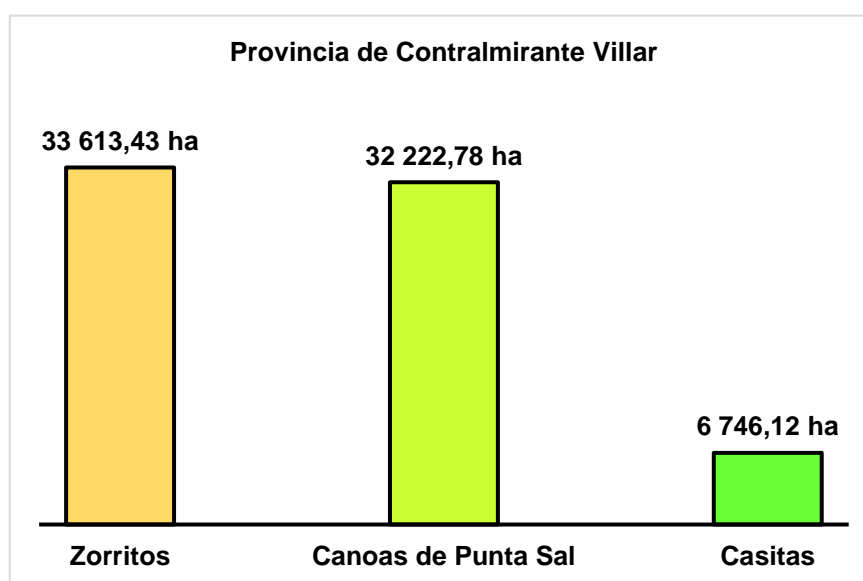


Figura 14. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Contralmirante Villar

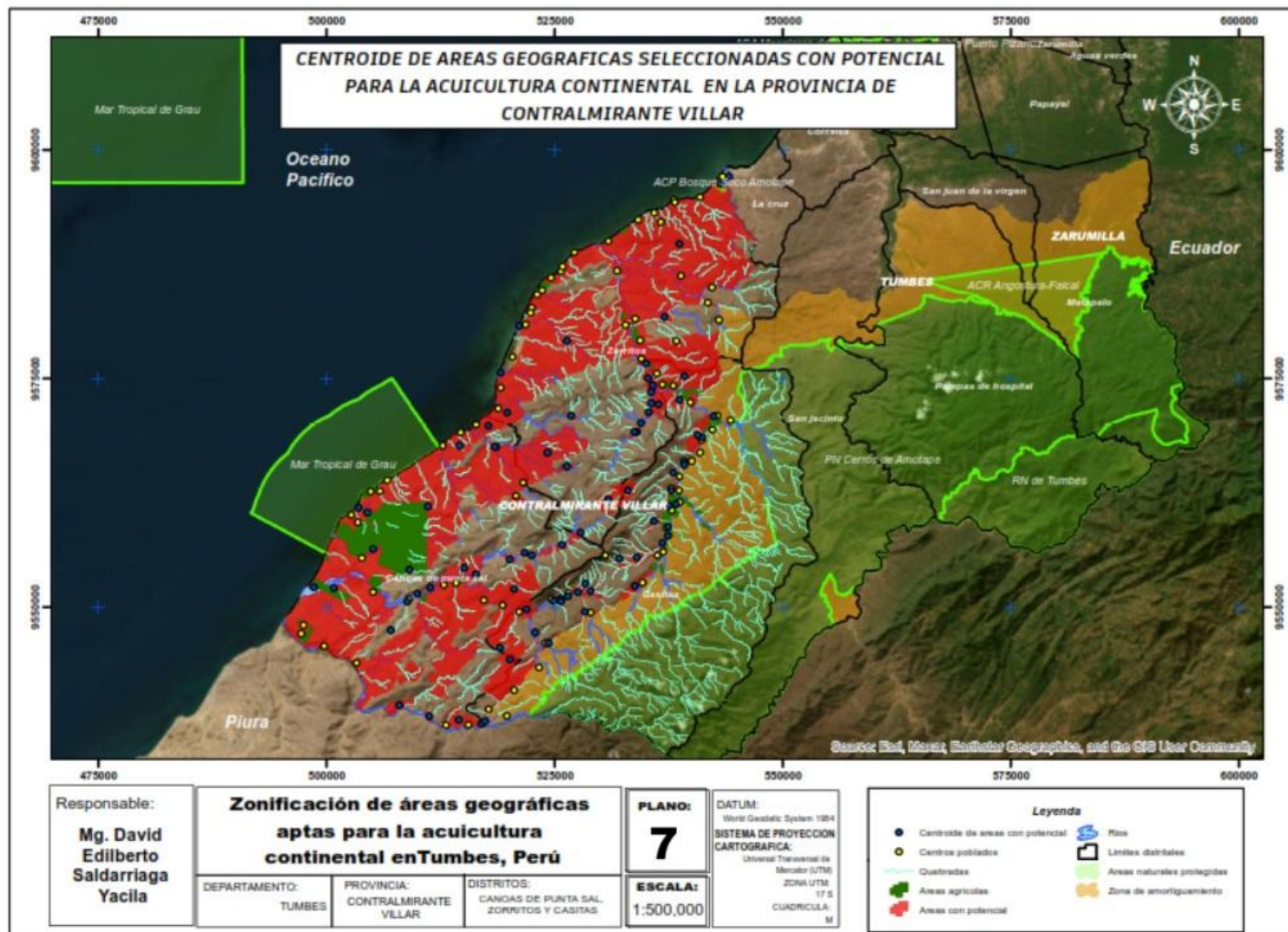


Figura 15. Áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en la provincia de Contralmirante Villar

4.1.5. Zonas geográficas seleccionadas

Las zonas geográficas seleccionadas con potencial seleccionadas para la acuicultura en Tumbes quedaron definidas y denominadas por provincias: Zarumilla constituyó el 15, 81%, Tumbes fue el 24,46% y Contralmirante Villar con 59,73% (Figura 16), con potencial abastecimiento de agua desde las fuentes de agua de la cuenca del río Zarumilla y río Tumbes; para la zona de Contralmirante Villar, las potenciales fuentes de agua son las cuencas de la Quebrada Bocapán, Quebrada Seca y Quebrada Fernández.

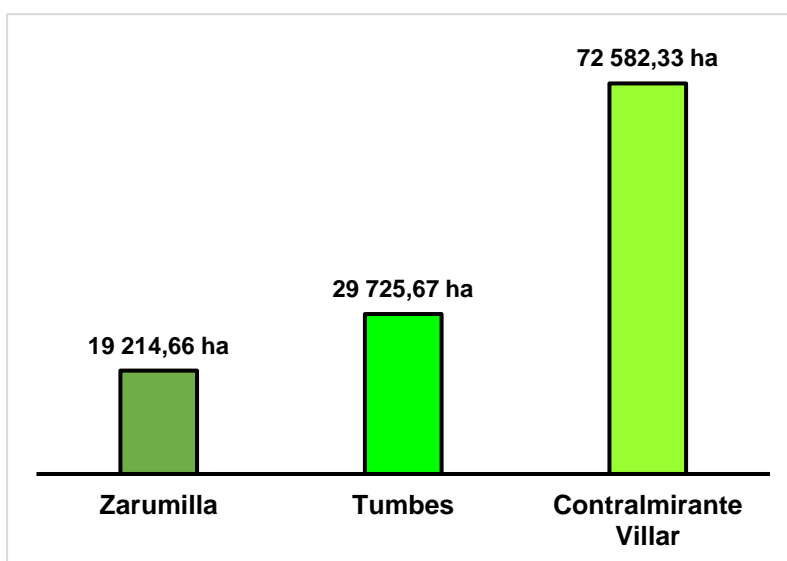


Figura 16. Zonas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes

En la Figura 17, se muestra un mapa con la ubicación de las áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en el departamento de Tumbes.

El modelado y análisis de mapas utilizando el Sistema de Información Geográfica construido permitió discriminar las áreas y luego las zonas geográficas potenciales con las restricciones y requerimientos para la acuicultura continental, como peces y camarones de agua dulce. Aguilar-Manjarrez et al. (2010), consideran que, actualmente la atención se centra en los procesos, métodos y herramientas que permiten la práctica implementación del enfoque ecosistémico para la acuicultura (EEA).

Lo que es coincidente con Assefa y Abebe (2018), quienes evaluaron los potenciales sitios para cultivo de *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo), basándose en indicadores biofísicos y socioeconómicos en la cuenca del lago Tana al Noroeste de Etiopía, los resultados de la evaluación mediante SIG determinaron que, del total identificado como sitios para acuicultura, 32 678,9 ha (2,7%) son muy adecuados, mientras que 1 166 594,5 ha (97,2%) son moderadamente adecuados para un sistema de acuicultura en estanques a pequeña escala.

Sin embargo, esto requerirá el uso de diversas herramientas de planificación espacial, incluidos sistemas de información geográfica, detección y mapeo para la gestión, análisis, modelado, toma de decisiones de datos y aplicación de metodologías, con visión de una gestión basada en ecosistemas, lo que implica una transición de la gestión tradicional.

Hortúa (2013), realizó un estudio similar al de esta investigación sobre zonificación de áreas con aptitud para la acuicultura en Colombia, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, determinando que el 12,30 fue apto, 23,70% medianamente apto y 64,00% no apto, de un total de 113 983,36 ha de terreno. Esto indica que los SIG, constituyen una herramienta útil para estudios de zonificación geográfica en acuicultura.

Para estudios específicos de selección del sitio, es necesario incorporar otras variables bioecológicas, parámetros ambientales, socioeconómicos, etc. que requieren los cultivos acuícolas. Al respecto, Hortúa (2013), precisa que se deben integrar variables críticas en el análisis, tales como los parámetros de calidad físicoquímicos del agua, caudal disponible y el uso del suelo. Asimismo, destaca la necesidad de evaluar el estado de conservación hídrico frente a procesos de degradación, además de considerar factores sociodemográficos como el perfil poblacional, la propiedad de la tierra y la aptitud del territorio. Además, recomienda que, para fortalecer el planeamiento y el ordenamiento territorial de la acuicultura, los datos deben estar en escalas más precisas en zonas aptas disponibles para la acuicultura (1:100 000 o 1:25 000), del mismo modo, la integración con otros instrumentos de planificación de los gobiernos locales y nacionales.

4.2. ESTUDIO DE LOS FACTORES AMBIENTALES

4.2.1. Calidad de agua de las fuentes

Las cuencas hidrográficas de los ríos Zarumilla, río Tumbes, Quebrada Bocapán, Quebrada Seca y Quebrada Fernández, constituyen las principales fuentes potenciales de agua para el abastecimiento de cualquier proyecto de acuicultura continental en Tumbes, según (2010), las cuencas se definen como unidades territoriales idóneas para la gestión sostenible de los recursos naturales, al facilitar la convergencia entre el bienestar social, la eficiencia productiva y la preservación ecológica. Debido a esta complejidad, su administración exige un enfoque multidisciplinario y transectorial, donde diversas áreas del conocimiento y sectores institucionales colaboren entre sí

Las posibles fuentes de agua como son los ríos Zarumilla, río Tumbes, Quebrada Bocapán y Quebrada Fernández, que son ecosistemas acuáticos naturales, fueron identificados en la Categoría 2 y Categoría 4 de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental: ECA (D.S. N° 004-2017-MINAM). Desde el punto de vista ambiental, presentaron niveles de temperatura, Sólidos Suspendidos Totales, oxígeno disuelto, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y bacterias coliformes termotolerantes menores a los indicados en esta norma, a excepción de las muestras de los ríos Zarumilla y río Tumbes, cuyos niveles de fósforo superaron el ECA 2017 (Figuras 18 a 25). Estos niveles de fósforo ligeramente altos encontrados, posiblemente se deben las descargas de aguas residuales domésticas crudas a lo largo del cauce de los ríos.

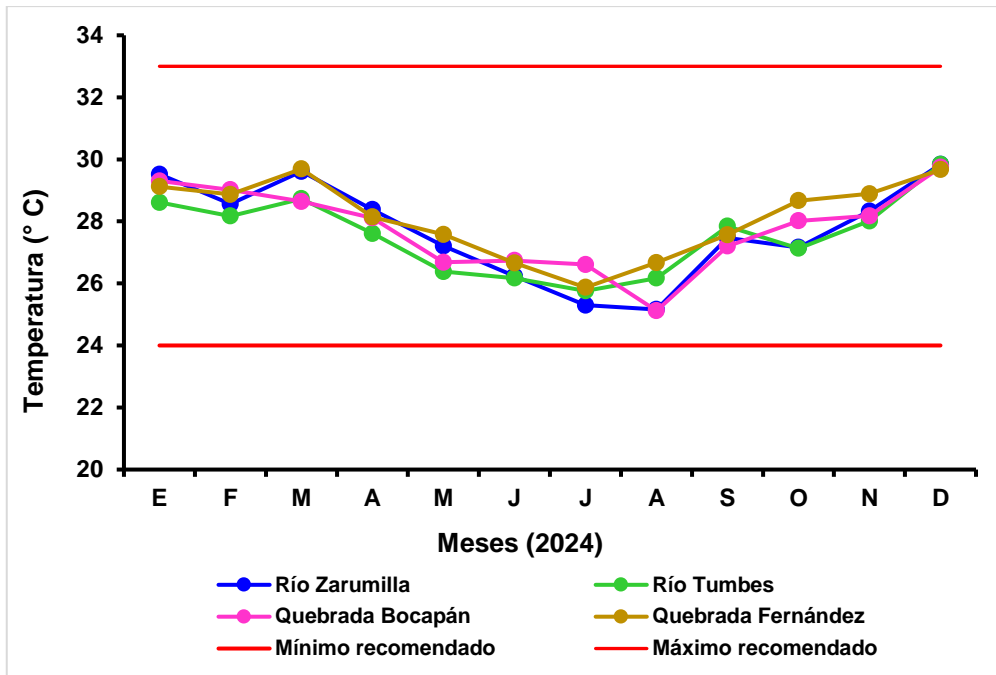


Figura 18. Variación de la temperatura en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

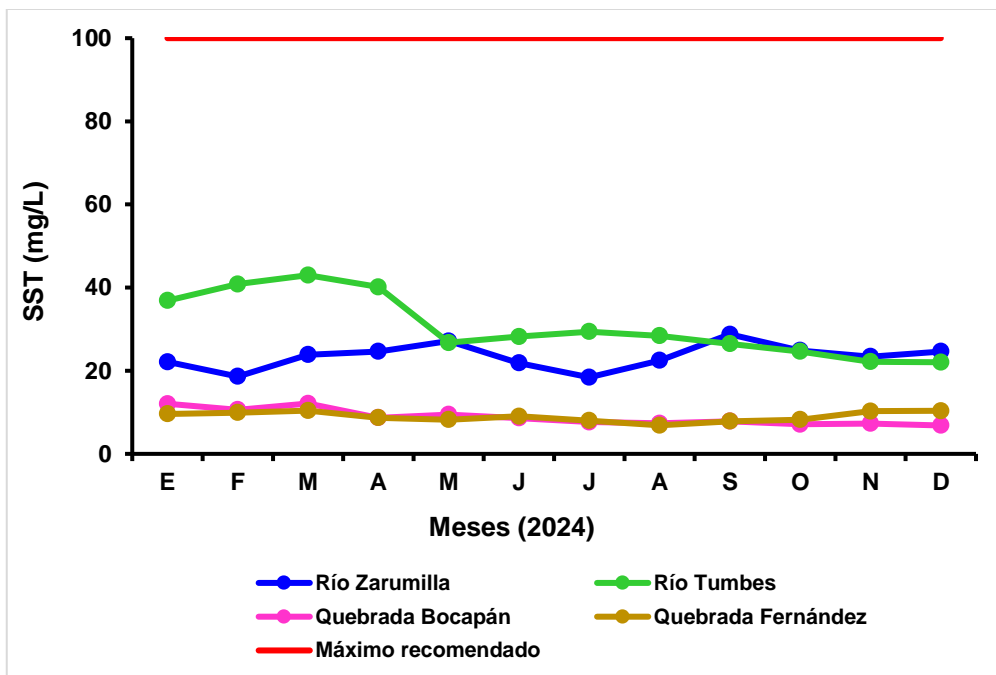


Figura 19. Variación de sólidos suspendidos totales (SST) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

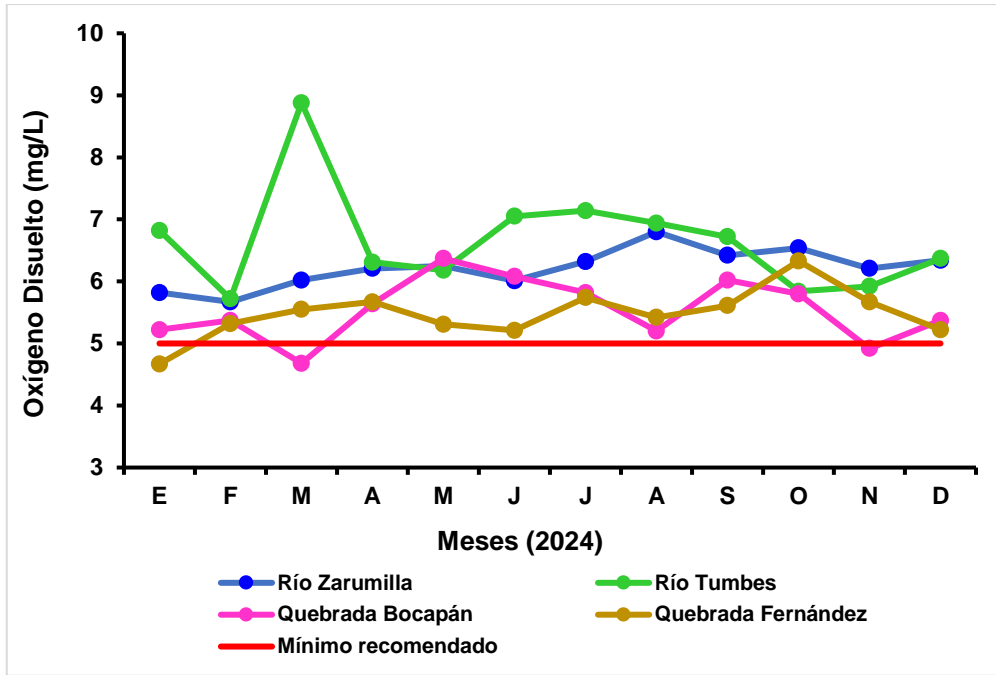


Figura 20. Variación del oxígeno disuelto en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

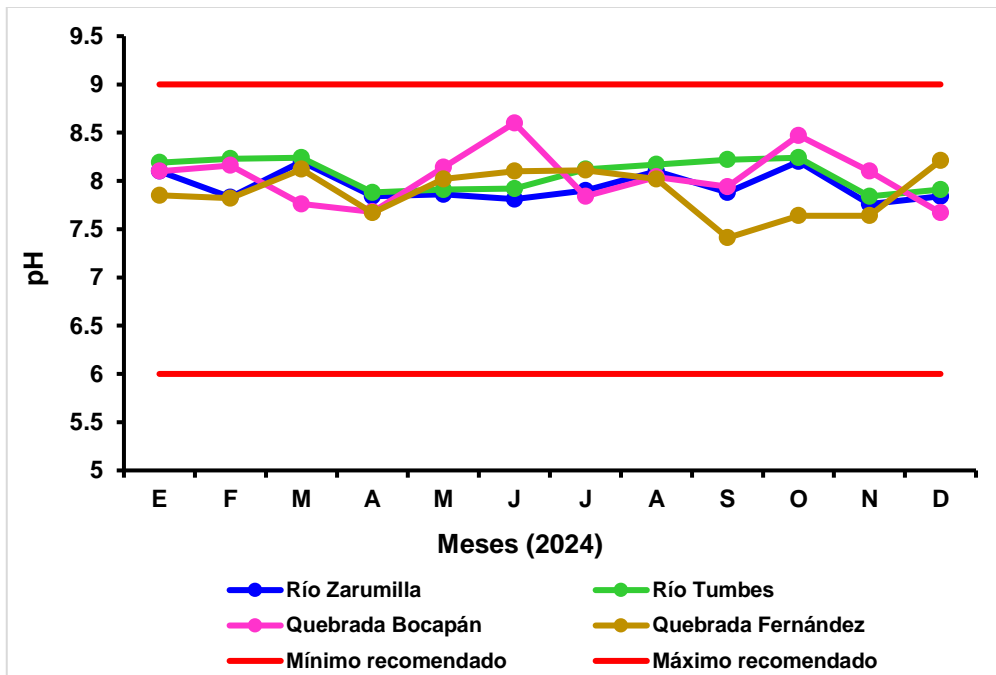


Figura 21. Variación del pH en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

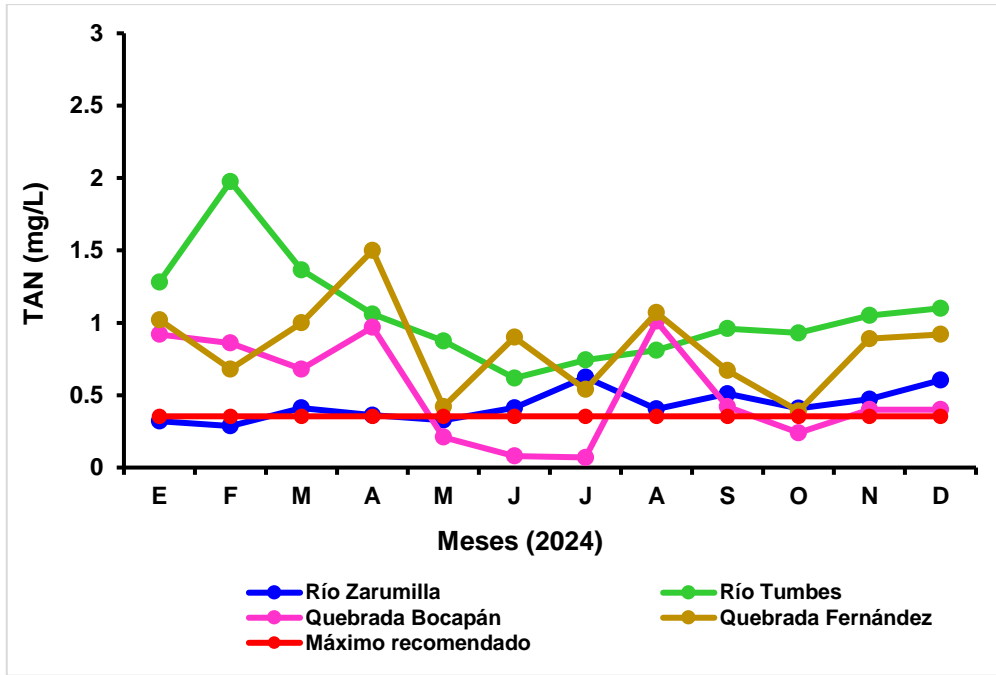


Figura 22. Variación del nitrógeno amoniaco total (TAN) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

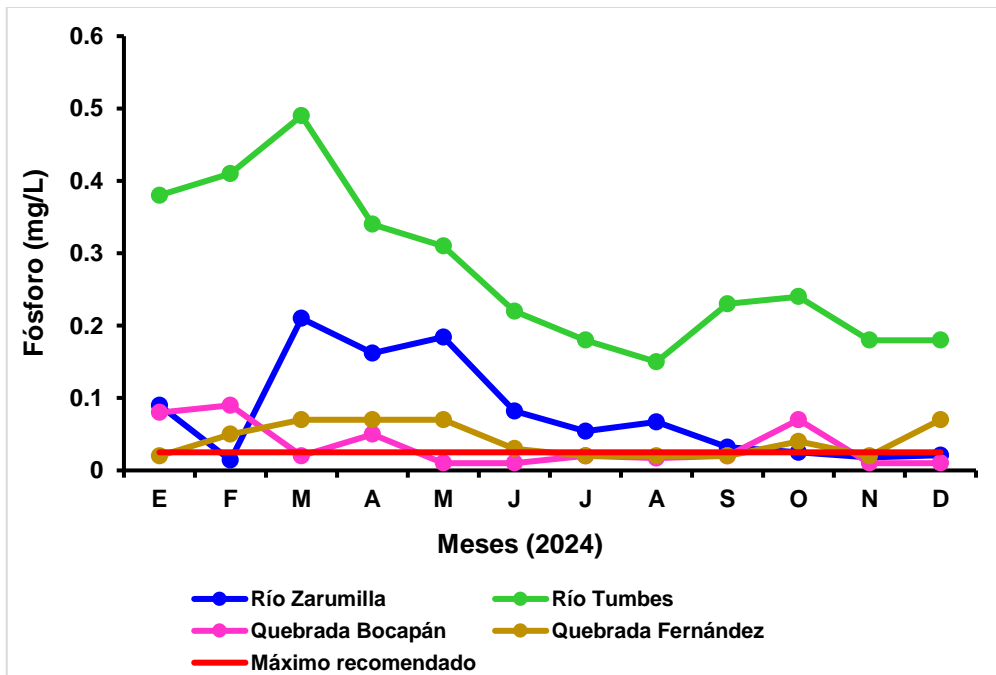


Figura 23. Variación del fósforo en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

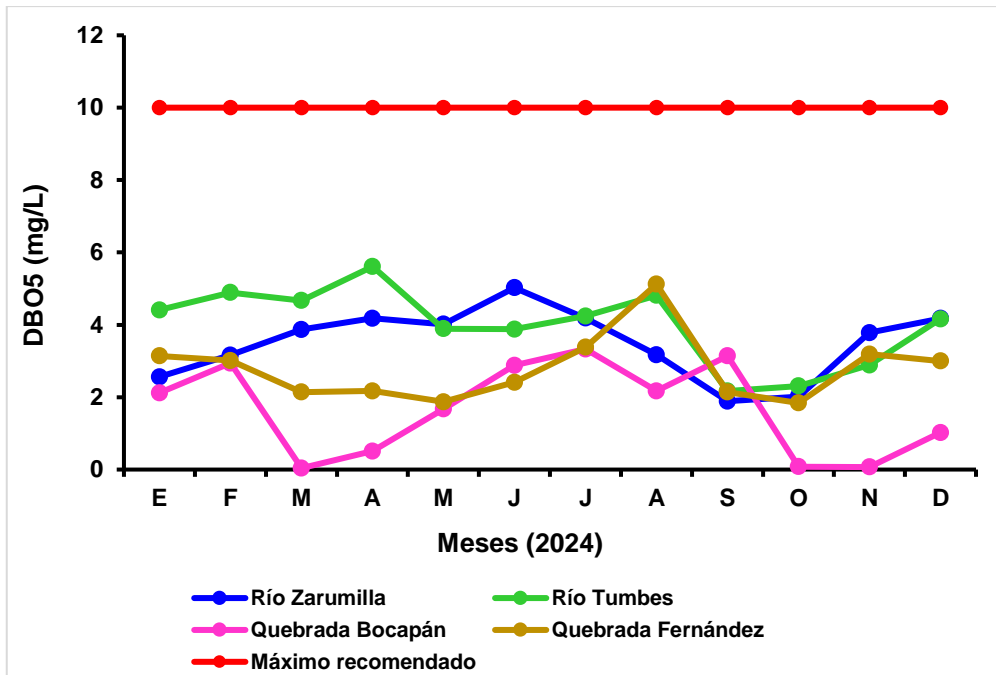


Figura 24. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

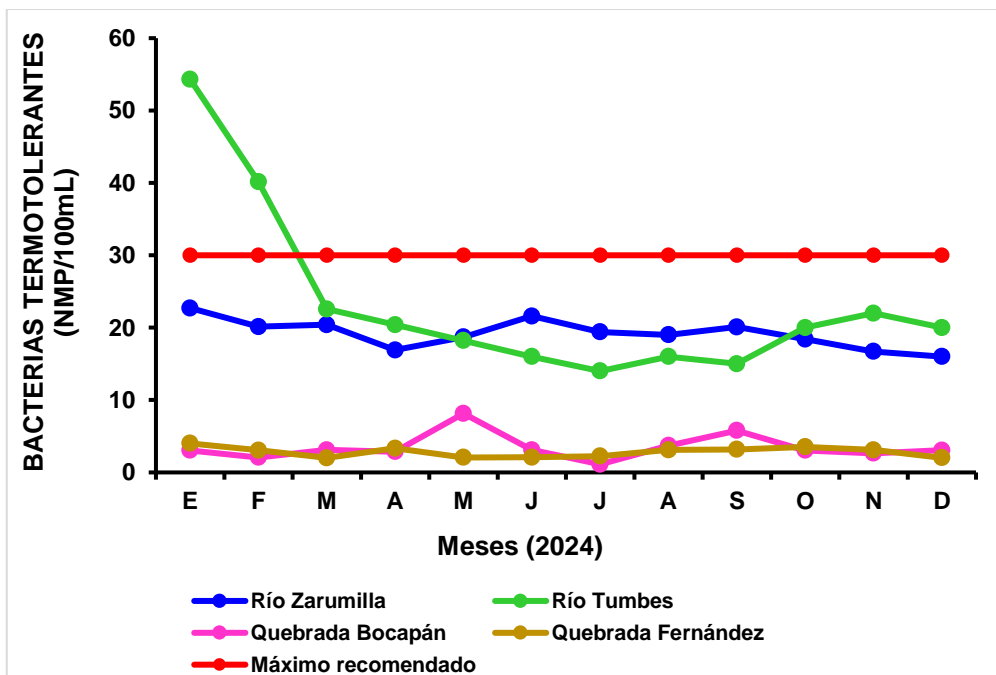


Figura 25. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en las potenciales fuentes de agua para la acuicultura continental en Tumbes

La fluctuación de temperatura entre 24 a 33° C, evidencia que Tumbes es una zona más cálida de la costa peruana con una temperatura máxima de 30° C y mínima de

24° C, coincidiendo con lo reportado por el MINAM (2009) y Puño (2010), cuando indica que Tumbes, es tropical y que la temperatura ambiental máxima es de 30° C, mínima de 19° C y con un promedio anual de 24° C.

Resulta ser adecuado para el cultivo de especies tropicales potenciales en Tumbes, según lo indicado por Saldarriaga (2008), aún en los meses de menor variación entre junio a agosto del año.

Las concentraciones de oxígeno disuelto mayores a 3 mg/L (Tabla 4), se consideran comunes debido a que el ambiente acuático de los ecosistemas en estudio son cuerpos de agua corrientes, los cuales son muy dinámicos y constantemente están obteniendo oxígeno de la atmósfera, además de la generación que por fotosíntesis se pueda obtener (Boyd, 1990 y Vinatea, 2001).

Del mismo modo, el oxígeno disuelto es un parámetro que va de la mano con el pH del agua. Los niveles obtenidos de 7,88 a 8,07 (Tabla 4) mostraron las características de buena calidad para organismos acuáticos para cultivo, indicada por Boyd (1990).

Los niveles de salinidad menores a 0,50 ppt, (Tabla 4) son adecuados para cultivo de especies de agua dulce (Boyd, 1990, Vinatea, 2001 y Wheaton 1993).

Los niveles de fósforo de 0,03 a 0,39 mg/L (Tabla 4), se encontraron en niveles aceptables comparados con 0,02 a 1,20 mg/L sugeridos por Wheaton (1993) y Vinatea (2001) como un rango aceptable para la vida acuática en ambientes naturales.

Tabla 4.**Parámetros de calidad de agua de las principales fuentes potenciales para acuicultura continental en Tumbes**

Parámetros	Río Zarumilla		Río Tumbes		Quebrada Bocapán		Quebrada Fernández	
	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
Temperatura	24,90	2,06	25,62	2,12	26,11	1,89	24,87	1,11
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	23,40	3,02	30,74	7,46	8,80	1,87	8,95	1,16
Oxígeno disuelto	6,22	0,31	6,66	0,85	5,54	0,50	5,48	0,40
pH	7,94	0,16	8,07	0,16	8,04	0,29	7,88	0,25
Salinidad	0,33	0,49	0,33	0,49	0,33	0,49	0,50	0,52
Nitrógeno Amoniacal Total (TAN)	0,43	0,11	1,28	0,74	0,46	0,40	0,89	0,38
Alcalinidad	32,42	5,69	29,12	3,62	29,12	1,91	29,20	4,07
Dureza	29,41	9,59	23,45	4,78	23,27	3,35	31,67	3,35
Fósforo	0,08	0,07	0,39	0,31	0,03	0,03	0,04	0,02
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	3,50	0,96	3,99	1,05	1,66	1,28	2,78	0,92
Bacterias coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	19,17	2,00	23,22	11,94	3,47	1,82	2,81	0,69

En cuanto a las concentraciones de TAN, alcalinidad y dureza, DBO5 y bacterias termotolerantes, se encontraron en niveles que no afectan negativamente las condiciones de los cultivos de especies tropicales de peces potenciales para la producción acuícola en Tumbes, como las especies nativas, *Brycon* sp. (sábalo) y raspa; especies exóticas como *Cyprinus carpio* (carpa), *Oreochromis* sp. (tilapia), *Colossoma macropomum* (gamitana) *Prochilodus nigricans* (boquichico), *Piaractus brachypomus* (paco), *Arapaima gigas* (paiche), *Pseudoplatystoma fasciatum* (doncella), etc.; crustáceos, en torno a *Litopenaeus vannamei* (langostino) y *Macrobrachium rosenbergi* (camarón de Malasia) y *Cryphiops caementarius* (camarón de río) (Saldarriaga, 2008).

4.2.2. Calidad de suelo de las zonas

El suelo es una mezcla compleja de partículas, organismos vivos, materia orgánica (vegetales y animales descompuestas), minerales (arena, limo arcilla, piedras, grava). Es necesario estudiar el suelo porque el fondo y muros serán de tierra. En este caso, la calidad del suelo tiene dos aspectos esenciales: la impermeabilidad y fertilidad. La impermeabilidad, es decir su capacidad para retener agua se la da la textura y compactación; la fertilidad se la da la capacidad para retener nutrientes que luego se las transfiere al agua de cultivo y de aquí al fitoplancton.

En cuanto a la calidad de suelo, se caracterizan por ser planos o casi planos, bien drenados con buena capacidad para retener la humedad, de textura media a fina: Franco Arenosos, Franco o Franco Limosos, con pendiente de 1 a 5 %, el costo de desarrollo de estas tierras es bajo, por sus características físico morfológicas estas tierras son aptas para una gran variedad de cultivos tanto transitorios como semipermanentes (Puño, 2010).

La pendiente de los terrenos varió entre 0,5 a 15% (Tabla 5), esto se refiere a los diferentes niveles que tiene el relieve del terreno. Influye en los costos de construcción, disposición y tamaño de los estanques. Para el cultivo de peces se recomienda que el terreno tenga una pendiente entre 0,20 a 5,00%, a fin de minimizar los costos de excavación (Saldarriaga, 2008).

Este autor, indica que la textura del suelo adecuada para construcción de estanques, debe ser de grano fino es decir moderadamente fina a fina y contener partículas de arcilla y de limo que representen más del 50%. Los mejores suelos para el cultivo de peces son los arcillosos arenosos, francos arcillosos limosos o los francos arcillosos. Los suelos arcillosos tienen alta capacidad de retención de agua y de nutrientes. El mejor contenido de arcilla en el suelo debe estar entre 20 a 60%, niveles que concuerdan con el rango de 8 a 45% registrado en las zonas de las provincias de Tumbes evaluadas (Tabla 5).

El pH del suelo influye considerablemente en su productividad del agua. En agua con valores bajos o ácida, el crecimiento de los microorganismos que sirven de alimento a los peces o crustáceos en cultivo puede disminuir drásticamente, cuando la acidez o la alcalinidad son extremas afectarían el crecimiento y la producción de

la especie en cultivo. Por lo que es preferible que el pH esté entre 6,5 a 8,5. Sí el pH del suelo es inferior a 5,5 o superior a 9,5 pueden considerarse valores extremos.

El contenido de materia orgánica de los suelos para estanques de piscicultura debe estar entre 0,5 a 2%.

Tabla 5.

Rangos de los parámetros de calidad de suelo en las zonas potenciales para acuicultura continental en Tumbes

Parámetros	Zona de la cuenca del río Zarumilla	Zona de la cuenca del río Tumbes	Zona de la cuenca quebrada Bocapán	Zona de la cuenca quebrada Fernández	Recomendación (Saldarriaga, 2008)
Pendiente	0,5 a 15,0 %	0,5 a 12%	0,3 a 10%	0,3 a 12%	0,20 a 5%
Textura (Predominancia de arcilla)	12 a 40%	10 a 45%	8 a 30%	10 a 30%	20 a 60%
pH	7,30 a 8,40	7,10 a 8,80	7,15 a 8,60	7,20 a 8,80	6,5 a 7,5
Materia orgánica	1,5 a 8%	1,5 a 10%	0,5 a 6%	0,5 a 5%	0,0 a 2%

Tumbes presenta condiciones ambientales y recursos hidrobiológicos para desarrollar acuicultura continental, para eso se debe implementar y poner en práctica del modelo de zonificación, el cual aportará información a las unidades de planificación y ejecución de la gestión institucional de los entes involucrados, acorde con las necesidades reales de Tumbes, facilitando la formulación de planes e inversiones que mejoren la calidad de la planificación de las actividades económicas de la región.

V. CONCLUSIONES

1. Las zonas geográficas seleccionadas con potencial seleccionadas para la acuicultura continental en Tumbes quedaron definidas y denominadas por provincias: Zarumilla con 19 214,66 ha (15, 81%), Tumbes, 29 725,67 ha (24,46%) y Contralmirante Villar con 72 582,33 ha (59,73%).
2. Las potenciales fuentes de agua para el abastecimiento están constituidas por las cuencas hidrográficas del río Zarumilla y río Tumbes y para la zona de Contralmirante Villar, las cuencas de la Quebrada Bocapán. Quebrada Seca y Quebrada Fernández.
3. Los parámetros de calidad de agua se encontraron en los rangos ambientales del ECA 2017 y la calidad de suelo dentro de los parámetros recomendados para la construcción de estanques en tierra, con lo cual se infiere que las áreas geográficas estudiadas son potencialmente aptas para el desarrollo de la acuicultura con especies de peces y camarones de agua dulce en Tumbes, Perú.
4. Considerando el análisis macro de las áreas geográficas de las entidades estudiadas discriminantes en el mapeo como: áreas de exclusión por ser áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento, áreas agrícolas, asentamientos humanos urbanos y rurales, en función de las cuencas hidrográficas, debe considerarse también que, debido a la escala de trabajo y por ser una primera aproximación a la cualificación y cuantificación de la extensión potencial para realizar actividades de acuicultura continental en Tumbes, ésta zonificación alcanza un nivel exploratorio.

VI. RECOMENDACIÓN

Tumbes, Perú, en general, presenta condiciones ambientales aptas para el desarrollo de la acuicultura continental de especies de peces y camarones nativos y exóticos (amazónicos), lo cual es posible incorporando nuevas tecnologías de cultivo, estrategias empresariales, planificación de la zonificación de las áreas geográficas potenciales con estudios de capacidad de carga e impactos mínimos sobre los ecosistemas circundantes a los proyectos de acuicultura.

Realizar estudios específicos de selección del sitio, para lo cual es necesario incorporar variables bioecológicas, ambientales, socioeconómicos, legales, etc. que requieren los cultivos acuícolas, además de las utilizadas en esta investigación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. y Brummett, R. (2018). *Zonificación acuícola, selección de sitios y áreas de manejo bajo el enfoque ecosistémico a la acuicultura. Un manual*. Informe ACS18071. Roma, FAO y el Grupo del Banco Mundial, Washington DC.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1a1d23f7-28cc-49f6-8c5f-8da2453202c7/content>
- Aguilar-Manjarrez, J., Kapetsky J. and Soto, D. (2010). *The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture*. Fishries and Aquaculture Proceedings 17. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma.
<https://openknowledge.fao.org/items/9e208124-5c9e-4789-af75-90c0504ebb8c>
- Alcántara, F., Kohler, C, Kohler, S. and Camargo, C. (2002). *Arapaima* pond culture by the small-scale fish producers of the Peruvian Amazon. *Aquanews. Pond Dynamics/Aquaculture*. Collaborative Research Support Program Newsletter. Vol. 17. Number 4.
- Alcántara, F. (2005). Cultivo de paiche *Arapaima gigas* en estanques de productores de la carretera Iquitos Nauta, 163-168. Perú. En Renno, J., García, C., Duponchelle, F., Nuñez, J., (Eds.). Coloquio Internacional de Biología de Poblaciones de Peces Amazónicos y Piscicultura. IRD – IIAP.
- Alvitres, V. (2000). *Método científico: Planificación de la Investigación*. 2da ed. Chiclayo: Ciencia.
- Assefa, W. y Abebe, W. (2018). GIS modeling of potentially suitable sites for aquaculture development in the Lake Tana basin, Northwest Ethiopia. *Agric & Food Secur* (2018) 7:72.
<https://doi.org/10.1186/s40066-018-0222-0>
<https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0222-0>
- Bardach, John. (1997). Aquaculture, pollution and biodiversity. In J. E. Bardach (ed), *Sustainable Aquaculture*, 89-99. John Willey and Sons, Inc. E.U.

- Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Primera Edición. Ministerio de Agricultura y Riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario. Subdirección de Investigación y Estudios Especiales. Lima.
<https://repositorio.inia.gob.pe/items/3e246861-3056-46b4-9464-f8a175f77fe3>
- Boyd, Claude. (1990). *Principles of water quality: Chapter 2. Water chemistry*. In *Water quality in ponds for aquaculture*, 25-87. Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station Auburn University.
- Chu-Koo, F., M. Valdivieso, S. Tello, M. Rebaza, C. Rebaza, S. Deza y F. Alcántara. (2007). Cría de paiche en jaulas flotantes. Análisis económico. *INFOPECA Internacional*. N° 30:28-31.
- Ehler, C. y Douvere F. (2013). *Planificación espacial marina: una guía paso a paso hacia la Gestión Ecosistémica*. Comisión Oceanográfica Intergubernamental y el Programa del Hombre y la Biosfera. COI manuales y guías N° 53. París, UNESCO.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186559_spa
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. (2017). Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. (7 de junio de 2017). Diario Oficial El Peruano.
<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- Food and Drug Administration (FDA). (2001). *Bacteriological Analytical Manual, BAM*. On Line. January 2001. Accedido el 24 de febrero de 2020.
<http://www.911emg.com>
- Hortúa, N. (2013). *Zonificación de la Acuicultura Nacional. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP – FAO). Bogotá.
<https://openknowledge.fao.org/items/7027045a-4ee8-4923-835f-40b4a1b966fa>
- Ibáñez, J., Fuster, R. y Mancilla, G. (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*. Primera Edición, junio 2013. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). Registro de Propiedad Intelectual N°: 229.978. ISBN: 978-956-8468-42-2.

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fc859ac9-4c28-4992-aa83-2459860b32e3/content>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *Tumbes Compendio Estadístico 2017*.

https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1509/libro.pdf

López, A., Lozano-Rivera, P. y Sierra-Correa, P. (2012). Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: Estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 41 (1) 61-83 ISSN 0122-9761 Santa Marta, Colombia.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-97612012000100004&lng=es&nrm=is&tlng=es

Ley de Áreas Naturales Protegidas N° 26834. (1997). Congreso de la República. (4 de julio de 1997). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.

<https://www.leyes.congreso.gob.pe/documentos/leyes/26834.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). Indicadores ambientales Tumbes. *Serie Indicadores Ambientales N° 13*.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/serie-indicadores-ndeg-13-indicadores-ambientales-region-tumbes>

Martínez, R. (2009). *Efluentes camaronícolas: impactos y remediación*. En *Camaronicultura sustentable. Manejo y evaluación*, 126-127. México: Trillas.

Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2015). *Especies cultivadas en el Perú*. Lima.

<http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/boletines/FICHAS%20PRINCIPALES%20ESPECIES.pdf>

Oviedo, M., Brú, C., Atencio, V. y Pardo, S. (2013). Potencialidad de la región costera de Córdoba -Colombia- para el cultivo de tilapia nilótica. *Rev. MVZ Córdoba* 18(3):3781-3789, 2013. ISSN: 0122-0268.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-02682013000300006&script=sci_abstract

Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú.

<https://visor.geoperu.gob.pe/>

Plataforma Nacional de Datos Abiertos

<https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/limites-departamentales>

Pucha-Cofrep, F. y Cánovas-García, F. (2017). *Fundamentos de SIG. Aplicaciones con ArcGis*. Ediloja. Cia. Ltda. ISBN Digital: 978-9942-28-901-8

<https://www.researchgate.net/publication/318447525>

Puño, N. (2010). *Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del río Puyango Tumbes*. (Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Ambientales). Universidad Nacional de Piura.

Saldarriaga Yacila, D. E. (2013). *Tratamiento de efluentes del cultivo intensivo de *Penaeus vannamei* por sedimentación y biofiltración*. (Tesis para optar el grado académico de doctor en Ciencias Ambientales). Universidad Nacional de Tumbes.

Saldarriaga, J. (2012). *Cultivo de Paiche (*Arapaima gigas*)*. Tumbes: Empresa Langostinera Marinazul S.A. Presentación.

Saldarriaga Y, D. E., Alvarado B, A, y Malca A, L. (2014). *Factibilidad técnica del cultivo semi-intensivo de arapaima gigas en la etapa de engorde en Tumbes, Perú. 2013*. Informe de Investigación Docente. Universidad Nacional de Tumbes.

Saldarriaga Y, D. E. (2008). Evaluación del lugar. En *Diseño y construcción de estanques para el cultivo de peces amazónicos*. (pp. 6-34). Madre De Dios: Gobierno Regional de Madre De Dios, Dirección Regional del Ministerio de la Producción.

Servicio Nacional de Áreas Nacionales Protegidas (SERNAMP):

<https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2023). 24.^a edición.

<https://www.amazon.com/-/es/Standard-Methods-Examination-Water-Wastewater/dp/0875532993>

Tresierra, Á. (2000). *Metodología de la investigación científica*. Primera Edición. Trujillo: Biociencia.

Vinatea, L. (2001). *Principios Químicos de Calidad de agua en Acuicultura. Una Revisión para Peces y Camarones*. Universidade Federal De Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Aquicultura. Florianópolis.

Wheaton Fredrick. 1993. *Filtración, sedimentación*. En *Acuicultura, Diseño y Construcción de Sistemas*, 505-554. México: AGT Editor, S.A.

ANEXOS

Anexo 1.

Zonificación de áreas geográficas seleccionadas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes, Perú

Zonas Geográficas (Provincias)	Áreas Geográficas (Distritos)	Potencial Acuícola		Coordenadas de la Cuadrícula (m)	
		Área (ha)	Porcentaje (%)	Este	Sur
Zarumilla		19 214,66	100		
	Zarumilla	1 328,52	6,91	577 768,26	9 613 084,20
	Aguas Verdes	563,92	2,93	584 194,60	9 617 093,28
				583 546,02	9 611 281,25
	Papayal	13 689,96	71,25	573 871,84	9 610 555,90
				579 851,87	9 604 429,26
	Matapalo	3 632,25	18,90	579 621,61	9 596 441,14
				581 688,49	9 596 144,15
Tumbes		29 725,67	100		
	Tumbes	5 654,90	19,02	559 714,42	9 610 942,53
				567 607,28	9 603 537,61
	San Juan de la Virgen	7 008,36	23,58	562 024,33	9 599 754,67
				570 063,01	9 597 311,16
	Pampas de Hospital	501,85	1,69	564 664,22	9 595 236,91
				560 715,01	9 583 917,74
	San Jacinto	8 537,76	28,72	562 001,62	9 598 677,22
				558 322,79	9 551 056,55
	Corrales	3 561,30	11,98	556 298,26	9 610 676,98
				554 014,30	9 597 851,68
	La Cruz	4 461,51	15,01	547 909,94	9 594 956,53
Contralmirante Villar		72 582,33	100		
	Zorritos	33 613,43	46,31	544 088,74	9 597 041,90
				524 275,47	9 566 922,73
	Canoas de Punta Sal	32 222,78	44,39	517 799,91	9 569 817,31
				514 514,07	9 537 684,55
	Casitas	6 746,12	9,29	535 799,25	9 574 281,50
				517 394,36	9 537 521,98
Total		121 522,65	100,00		

Anexo 2.

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Dr. Martín Amaya Ayala, profesor principal de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mare y en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

CERTIFICA:

Que, la tesis titulada: **Zonificación de áreas geográficas con potencial para la acuicultura continental en Tumbes, Perú**, presentado por el estudiante del Programa de Doctorado en Planificación Pública y Privada, **David Edilberto Saldarriaga Yacila**, ha sido asesorado y revisado por mi persona, por tanto, queda autorizado para su presentación en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes para su revisión y aprobación correspondiente.

Tumbes, 24 de febrero de 2026



Dr. MARTÍN AMAYA AYALA

Asesor de la Tesis

Código ORCID N° 0000-0001-8870-2020