

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Identificación de áreas potenciales para el cultivo semi-intensivo de
lisa (*Mugil cephalus*) en etapa de engorda, en la cuenca del río La
Ligua utilizando el Sistema de Información Geográfica.

Proyecto para optar al Título de Ingeniero Acuicultor

Por

Hernán Andrés Cortez Valenzuela

Valparaíso, 2014.

COMISIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO

Comité de Titulación:

Profesor Guía : Sr. Gabriel Yany

Profesor : Sr. Felipe Hurtado

Profesor : Sr. Rudy Allesch

INFORME SOBRE EL PROYECTO DE TÍTULO

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar este proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero Acuicultor, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este proyecto sólo con fines académicos.

Hernán Andrés Cortez Valenzuela

DEDICATORIA

En memoria de
Ernesto Cortez Lovera y
Dr. Rodolfo Olivari.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi familia, por su apoyo incondicional durante este hermoso proceso, de manera especial a mis padres, hermano, abuelas y abuelo.

A las familias; Lillo y Miranda Saldivar, por acompañarme en los momentos en que requerí apoyo.

A los profesores Gabriel Yany, Felipe Hurtado y Rudy Allesch por los conocimientos que compartieron desinteresadamente durante este proceso.

A mis amigos y compañeros, en especial a la familia Rojas Aceituno por su total y eterno apoyo.

Y de manera muy especial a mi esposa Natalia y a mi hija Javiera Isabel.

Y por eso compañeros; me retiro indignado (Olivarí, 2003).

RESUMEN

El presente proyecto de título presenta la identificación de áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo de lisa (*Mugil cephalus*) en etapa de engorda, en la cuenca del río La Ligua utilizando el sistema de información geográfica (SIG).

En primer lugar se recopilaron los antecedentes tanto de la especie como de la zona de estudio. Seguido a esto se identificaron variables consideradas relevantes en localización de proyectos acuícolas y que de acuerdo a la opinión de entes expertos fueron ponderadas y posteriormente valoradas por el autor del proyecto en función de los antecedentes recopilados, con el objeto de otorgar pesos de importancia a las variables que participaron en el estudio.

Las variables fueron clasificadas según su naturaleza espacial, las discretas fueron representadas vectorialmente, mientras que las continuas fueron interpoladas bajo procesos geoestadísticos (Kriging). Finalmente el conjunto de variables resultantes fueron superpuestas y sobre las tres capas finales, se realizó un set de consultas en función de las ventajas y restricciones que presentaba un área determinada.

Los resultados indicaron que la cuenca del río La Ligua presenta al menos 5 áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo de lisa ubicadas en el sector de Valle Hermoso al Noroeste de La Ligua y La Viña ubicada al Noreste de Cabildo, con áreas aproximadas de 100 [ha] cada una.

Para estudios similares, se recomienda la utilización del SIG con sus herramientas integradas para la identificación de áreas potenciales de cultivos acuícolas, ya que presentan versatilidad al momento de representar y analizar un elevado número de variables, entregando resultados georeferenciados.

CONTENIDO

Página

PORTADA

COMISIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO.....	i
INFORME SOBRE EL PROYECTO DE TÍTULO.....	ii
AUTORIZACIÓN DE USO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
LISTADO DE FIGURAS.....	vii
LISTADO DE TABLAS.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. ANTECEDENTES.....	4
3.1. Antecedentes de la Especie.....	4
3.1.1. Clasificación Taxonómica.....	4
3.1.2. Descripción.....	4

3.1.3. Distribución.....	5
3.1.4. Ambiente.....	6
3.1.5. Ciclo de Vida.....	6
3.1.6. Cultivo Semi - Intensivo	7
3.1.7. Desembarque de lisa (<i>Mugil cephalus</i>) en Chile.....	9
3.2. Antecedentes de la Zona de Estudio.....	10

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....13

4.1. Recopilación de Información	14
4.2. Identificación de Variables.....	14
4.3. Ponderación de Variables (Expertos).....	15
4.4. Valoración de Variables (Autor).....	17
4.5. Puntaje Final de Variables (PFv)	18
4.6. Naturaleza de Variables	18
4.7. Muestreo: Calidad del Agua.....	19
4.8. Análisis Espacial SIG (gvSIG1.10).....	22
4.8.1. División de la Cuenca del Río La Ligua	22
4.8.2. Georeferenciación de Fotografías Espaciales.....	23
4.8.3. Representación de Variables Discretas en Capas Temáticas	23
4.8.4. Reticulado de Capas Temáticas (Variables Discretas).....	23
4.8.5. Interpolación y Reticulado de Variables Continuas	24
4.8.5.1. Determinación de Semivarianzas de Variables Continuas	24
4.8.5.2. Elaboración Semivariograma Empírico de Variables Continuas	25
4.8.5.3. Ajuste Semivarianzas al Modelo Exponencial	25
4.8.5.4. Interpolación por Método Kriging.....	27

4.8.5.5. Cálculo de Error Espacial de Variables Continuas Interpoladas	27
4.8.6. Superposición de Capas Temáticas Reticuladas.....	27
4.8.7. Consultas Sobre Capas Temáticas Finales	28
4.9. Propuesta de Áreas Potenciales.....	28
5. RESULTADOS.....	30
5.1. Recopilación de la Información	30
5.1.1. Requisitos Ambientales y Técnicos del Cultivo Semi – Intensivo de lisa	30
5.1.2. Características de la Cuenca del Río La Ligua.....	30
5.1.2.1. Tipo de Suelo.....	30
5.1.2.2. Uso del Suelo.....	31
5.1.2.3. Asentamiento Humano	31
5.1.2.4. Uso del Agua	31
5.2. Identificación de Variables.....	32
5.3. Ponderación de Variables (Expertos).....	33
5.4. Valoración de Variables (Autor).....	34
5.5. Puntaje Final de Variables (PFv)	38
5.6. Naturaleza de Variables	38
5.7. Muestreo: Calidad del Agua.....	38
5.8. Análisis Espacial SIG (gvSIG1.10).....	39
5.8.1. División de la Cuenca del Río La Ligua	39
5.8.2. Georeferenciación de Fotografías Espaciales.....	39
5.8.3. Representación de Variables Discretas en Capas Temáticas	39
5.8.4. Reticulado de Capas Temáticas (Variables Discretas).....	40
5.8.5. Interpolación y Reticulado de Variables Continuas	40
5.8.5.1. Determinación de Semivarianzas de Variables Continuas	40

5.8.5.2. Elaboración Semivariograma Empírico de Variables Continuas	41
5.8.5.3. Ajuste Semivarianzas al Modelo Exponencial	41
5.8.5.4. Interpolación por Método Kriging.....	42
5.8.5.5. Cálculo de Error Espacial de Variables Continuas Interpoladas	43
5.8.6. Superposición de Capas Temáticas Reticuladas.....	44
5.8.7. Consultas sobre Capas Temáticas Finales.....	44
5.9. Propuesta de Áreas Potenciales.....	44
6. DISCUSIÓN	45
7. CONCLUSIÓN.....	48

REFERENCIAS

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Ejemplar adulto de lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	4
Figura 2.	Distribución mundial de lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	5
Figura 3.	Ciclo de vida de lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	7
Figura 4.	Ciclo productivo semi – intensivo de lisa (<i>Mugil cephalus</i>)	9
Figura 5.	Desembarque de lisa (<i>Mugil cephalus</i>) en Chile.....	9
Figura 6.	Representación de la cuenca del río La Ligua	10
Figura 7.	Precipitación media mensual de la cuenca del río La Ligua	11
Figura 8.	Metodología para la identificación de áreas potenciales.....	13
Figura 9.	Fórmula para determinar el ponderador experto de cada variable.....	17
Figura 10.	Fórmula para determinar el puntaje final de cada variable.....	18
Figura 11.	Fórmula para determinar la semivarianza de las variables continuas	24
Figura 12.	Fórmula para ajustar la semivarianza al modelo exponencial.....	26
Figura 13.	Parámetros utilizados para la interpolación Kriging.....	26
Figura 14.	Fórmula para determinar el puntaje final de cada celda.....	28

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Diseño 1 ^{era} consulta. Variables a representar y analizar	15
Tabla 2. Diseño 2 ^{da} consulta. Peso de importancia variables globales.....	16
Tabla 3. Diseño 2 ^{da} consulta. Peso de importancia de variables ambientales.	16
Tabla 4. Diseño 2 ^{da} consulta. Peso de importancia de variables técnicas y de factibilidad	16
Tabla 5. Escala de valoración de aptitud de las variables.	17
Tabla 6. Diseño base de datos para los registros de las variables muestreadas.....	20
Tabla 7. Modelo de reticulado de capas temáticas.....	24
Tabla 8. Diseño del set de consultas a las capas temáticas finales.....	28
Tabla 9. Diseño base de datos de la propuesta de áreas	29
Tabla 10. Parámetros ambientales y técnicos del cultivo semi - intensivo de lisa	30
Tabla 11. Tipo de suelo de la cuenca del río La Ligua.....	30
Tabla 12. Uso del suelo cuenca del río La Ligua	31
Tabla 13. Población total de las localidades importantes de la cuenca del río La Ligua.....	31
Tabla 14. Uso del agua en la cuenca del río La Ligua.....	31
Tabla 15. Identificación de las variables de estudio	32
Tabla 16. 1 ^{era} consulta a expertos. Variables aceptadas y clasificadas.....	33
Tabla 17. 2 ^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables globales.....	33
Tabla 18. 2 ^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables ambientales	33
Tabla 19. 2 ^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables técnicas y de factibilidad.....	34

Tabla 20. Ponderador experto de las variables	34
Tabla 21. Valoración accesibilidad a red vial	35
Tabla 22. Valoración caudal necesario	35
Tabla 23. Valoración cercanía a compañías mineras	35
Tabla 24. Valoración cercanía a plantas de tratamiento de aguas servidas	35
Tabla 25. Valoración cercanía a red eléctrica	36
Tabla 26. Valoración disponibilidad de agua potable.....	36
Tabla 27. Valoración disponibilidad de mano de obra.....	36
Tabla 28. Valoración Oxígeno disuelto en el agua	36
Tabla 29. Valoración pH del agua.....	37
Tabla 30. Valoración temperatura del agua	37
Tabla 31. Valoración tipo de suelo.....	37
Tabla 32. Valoración uso del suelo	37
Tabla 33. Naturaleza de las variables ambientales.....	38
Tabla 34. Naturaleza de las variables técnicas y de factibilidad	38
Tabla 35. Proyección de coordenadas geográficas de fotografías espaciales.....	39
Tabla 36. Semivarianzas $Y_{(h)}$. Sector Alicahue – Cabildo	40
Tabla 37. Semivarianzas $Y_{(h)}$. Sector Cabildo – La Ligua	40
Tabla 38. Semivarianzas $Y_{(h)}$. Sector La Ligua – Longotoma	41
Tabla 39. Semivarianzas ajustadas. Sector Alicahue – Cabildo	41
Tabla 40. Semivarianzas ajustadas. Sector Cabildo – La Ligua.....	41
Tabla 41. Semivarianzas ajustadas. Sector La Ligua – Longotoma.....	42
Tabla 42. Parámetros de interpolación. Sector Alicahue – Cabildo	42
Tabla 43. Parámetros de interpolación. Sector Cabildo – La Ligua	42
Tabla 44. Parámetros de interpolación. Sector La Ligua – Longotoma	43

Tabla 45. Varianza de la interpolación. Sector Alicahue – Cabildo	43
Tabla 46. Varianza de la interpolación. Sector Cabildo – La Ligua.....	43
Tabla 47. Varianza de la interpolación. Sector La Ligua – Longotoma	43
Tabla 48. Áreas potenciales para el cultivo de lisa en la cuenca del río La Ligua.	44

1. INTRODUCCIÓN

Conocido es el importante aporte que el sector acuícola ha generado en la economía chilena como también el crecimiento que ha tenido en las últimas décadas. No obstante, ha debido afrontar desde sus inicios un tema no menor que influye directamente en el desarrollo de esta actividad y que guarda relación con la identificación y selección de sitios aptos para emplazar centros de cultivo de recursos hidrobiológicos (Zúñiga, 2006).

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de hardware, software, datos geográficos y procedimientos elaborados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica (SIGMUR, 2006).

Este sistema se presenta como una herramienta válida en la identificación de áreas potenciales para el desarrollo de proyectos acuícolas, puesto que las variables que se consideran importantes en localización pueden ser manipuladas y relacionadas entre ellas al estar georeferenciadas al mismo sistema de coordenadas. Además pueden ser representadas y analizadas en un elevado número (Zúñiga, 2006).

Pero a pesar de todas las ventajas que presenta el SIG respecto a otras metodologías, tanto en Chile como en Latinoamérica se utiliza raramente para decidir la localización de proyectos acuícolas (Zúñiga, 2006). Esta situación es atribuible al elevado número de variables que están en juego, a la falta de conocimiento de la tecnología asociada, a una comprensión limitada de los principios del SIG y de la metodología relacionada (Nath, 2000).

Dentro de la expansión del rango de especies a cultivar, el recurso lisa (*Mugil cephalus*) se perfila como candidato viable para la diversificación de la industria acuícola, debido a que posee una tasa de crecimiento del orden de 0,22 milímetros por día lo que en

peso equivale aproximadamente a 0,35 gramos por día. Los registros de enfermedades en instalaciones de cultivo son relativamente escasos y presenta cierto nivel de facilidad en el manejo del cultivo (FAO, 2005). Aunque, la producción comercial aún no ha sido desarrollada, existen experiencias de cultivos semi – intensivos en países como Estados Unidos, China, Perú y España donde las prácticas tienen la misma base tecnológica, la cual consiste en la confinación de juveniles a una densidad aproximada de 5.000 individuos por hectárea y luego se mantienen en las mejores condiciones ambientales con una limitada perturbación física. Los peces se alimentan principalmente de la producción natural de los estanques, pudiéndose suministrar alimentación complementaria aumentando así la producción de los estanques y acelerando el crecimiento de los individuos. La producción final puede ser comercializada en mercados locales, restaurantes y supermercados (FAO, 2005).

Según el Ministerio de Obras Públicas (MOP) existe una baja diversificación en las actividades económicas a lo largo de la cuenca del río La Ligua, concentrándose en la actividad agropecuaria, plantaciones forestales y frutales, venta de caprinos y la actividad minera concentrada en compañías de extracción y exploración de Cobre tanto subterránea como planta y mina (MOP, 2004).

Dicha situación provoca que la cuenca del río La Ligua muestre una capacidad ociosa en la utilización del recurso hídrico, siendo que cuenta con aptitudes básicas, que podrían permitir el desarrollo de actividades acuícolas, tales como la calidad del agua, caudal del río, pendiente del terreno, tipo y uso del suelo y mano de obra disponible en la zona (MOP, 2004).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Identificar áreas potenciales que presenten ventajas y que a su vez cumplan con restricciones relacionadas a los requerimientos ambientales, técnicos y de factibilidad de emplazar un centro de engorda semi - intensivo de lisa (*Mugil cephalus*) en la cuenca del río La Ligua.

2.2. Objetivos Específicos

- Definir los requerimientos ambientales y técnicos del cultivo semi - intensivo de lisa (*Mugil cephalus*) en la etapa de engorda e información concerniente a las características de la cuenca del río La Ligua.
- Identificar las variables que intervienen en el estudio, de manera que sea posible representarlas, editarlas y analizarlas en capas temáticas individuales.
- Definir un sistema de ponderación y valoración de factores que permita otorgar un peso de importancia a las variables que serán representadas y analizadas en el sistema de información geográfica.
- Realizar un análisis espacial de la cuenca del río La Ligua que permita identificar áreas potenciales para el desarrollo del cultivo semi – intensivo de lisa (*Mugil cephalus*).

3. ANTECEDENTES

3.1. Antecedentes de la Especie

3.1.1. Clasificación Taxonómica

Reino	: Animalia.
Phylum	: Chordata.
Clase	: Actinopterygii.
Orden	: Mugiliformes.
Familia	: Mugilidae.
Género	: Mugil.
Especie	: <i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758).
Nombre vernacular	: Lisa, Lisa Rayada, Lisa Gris, Pardete.



Figura 1. Ejemplar adulto de lisa (*Mugil cephalus*).
Fuente: http://www.fishbase.org/images/species/Mucep_u8.jpg

3.1.2. Descripción

La Lisa (*Mugil cephalus*) es un pez de cuerpo alargado, cilíndrico, robusto, redondeado en la parte centro - anterior y comprimido en la parte posterior, de cabeza obtusa y comprimida dorsalmente. Los ojos presentan párpados adiposos bien desarrollados. Posee dos aletas dorsales, la primera parte con 4 columnas vertebrales, la

segunda con 8 a 9 rayos suaves. La aleta anal se compone de 8 rayos suaves (Harrison & Senou, 1999). Las aletas pectorales son pequeñas y redondeadas de tal forma que su longitud no alcanza a coincidir con la primera aleta dorsal. No presenta línea lateral. Su coloración es gris - azulada a gris - verdosa en el dorso y gris uniforme con listas oscuras en los flancos, el vientre es gris - plateado uniforme, las aletas son de tonos amarillentos. Posee una pequeña boca triangular, terminal con dientes poco notorios con delgados labios y nariz desafilada, de cuerpo escamado del tipo ctenoides (Keith, 2001). La longitud máxima es de 100 a 120 centímetros, con un peso máximo de 8 Kilogramos (Ben - Tuvia, 1986). El estómago tiene segmentos de paredes anchas y parecidas a una molleja así como un tracto gastrointestinal que les permite alimentarse de detritos (FAO, 2005).

3.1.3. Distribución

La lisa es una especie cosmopolita sub - tropical, que se encuentra entre los 42° LN y 42° LS (de Silva, 1980). Se distribuye en aguas costeras y estuarinas de las zonas tropicales y subtropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico (Jhingran & Gopalakrishnan, 1974). En el Atlántico Occidental, se encuentra desde Nueva Escocia (Canadá) hasta Brasil, incluyendo el Golfo de México. En el Atlántico Oriental, habita desde la bahía de Biscaya (Francia) hasta Sudáfrica incluyendo el Mar Mediterráneo y el Mar Negro. La distribución en el Pacífico Oriental abarca desde el sur de California hasta Chile (FAO, 2005).

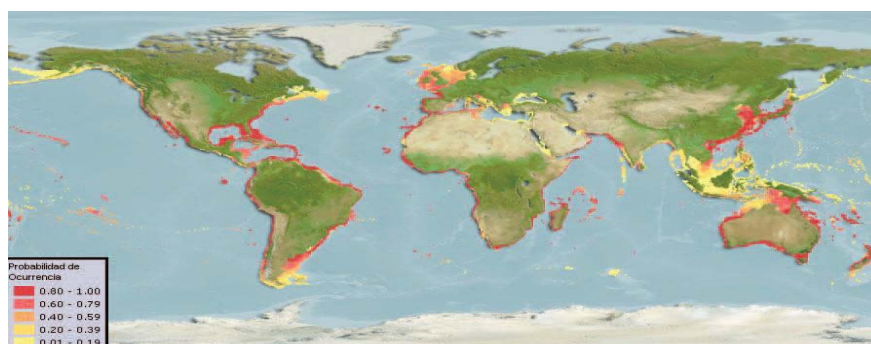


Figura 2. Distribución mundial de lisa (*Mugil cephalus*).

Fuente: <http://www.aquamaps.org/receive.php>

3.1.4. Ambiente

La lisa es un pez catádro que habita frecuentemente fondos bajos, arenosos y detríticos cerca de la costa, de preferencia en estuarios y cerca de muelles, inclusive pueden encontrarse en proximidades de desagües (Riede, 2004). Los juveniles ocupan las zonas de estuarios donde la temperatura del agua y la salinidad fluctúan fuertemente, mientras que los adultos habitan aguas donde los parámetros son más estables (Harrison, 1995).

3.1.5. Ciclo de Vida

El ciclo comienza con la puesta de los reproductores en primavera cuando los individuos adultos han alcanzado la madurez sexual entre el 3° y 4° año, con tallas entre 20 a 30 centímetros para machos y de 40 a 42 centímetros en hembras (Apekin & Vilenskaya, 1979). El desove ocurre en aguas costeras (Ditty & Shaw, 1996). La hembra puede desovar alrededor de 270 mil a 1,6 millones de ovas. La eclosión ocurre 48 horas post – fecundación (Oren, 1981). Las larvas recién eclosionadas forman parte del zooplancton, con tallas de 2,4 milímetros aproximadamente, al quinto día pueden alcanzar tallas de 2,8 milímetros que es cuando comienza su primera alimentación debido a la absorción completa del saco vitelino. Cuando alcanzan una talla entre 16 a 20 milímetros migran a aguas interiores o estuarios. Cuando alcanzan una talla de 2,54 centímetros, los ahora juveniles pueden seguir internándose en aguas interiores e incluso pueden adaptarse rápidamente al agua dulce pudiendo alcanzar tallas entre 18 a 20 centímetros con un peso aproximado de 50 gramos y son capaces de tolerar salinidades de 0 a 35 ‰. Al cabo del octavo mes la lisa ya en etapa de adulto alcanza un peso aproximado entre 750 a 1.000 gramos logrando tolerar salinidades entre 2 a 32 ‰ (FAO, 2005).

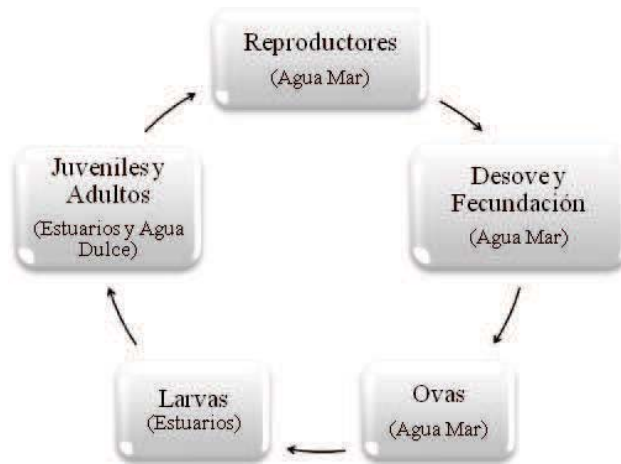


Figura 3. Ciclo de vida de lisa (*Mugil cephalus*).
Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes FAO.

3.1.6. Cultivo Semi - Intensivo

La lisa ha sido cultivada en estanques extensivos y semi - intensivos en varios países, tales como Perú, Grecia, México, Francia, Israel, República de Corea e Italia. En general, el método consiste en la captura de juveniles mediante finas redes los que luego son transportados hacia estanques de tierra previamente encalados y fertilizados para aumentar la productividad. Los juveniles recolectados deben aclimatarse especialmente a los niveles de salinidad, esto lleva varias horas durante las cuales se adhiere gradualmente agua del estanque de cría al agua del transporte. Tras la aclimatación, los juveniles se siembran en los estanques de tierra a densidades aproximadas de 5.000 individuos por hectárea (FAO, 2005).

Antes de sembrar los juveniles, los estanques se deben secar, arar y abonar aproximadamente con 2,5 a 5,0 toneladas por hectárea de estiércol de vaca, luego se les agrega agua hasta alcanzar una profundidad de 25 a 30 centímetros y se mantienen a ese nivel por 7 a 10 días, con lo cual se crea un nivel apropiado de alimento natural. Luego el nivel de agua se aumenta hasta 1,5 a 1,75 metros de profundidad y se procede a la siembra de los juveniles. La productividad se mantiene en el nivel requerido agregando abono de

pollo y/o fertilizantes químicos. El oxígeno disuelto óptimo en etapa de engorda debe mantenerse como mínimo en 5,4 miligramos por litro y puede mantenerse mediante aireadores (FAO, 2005).

Según los reportes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), existen dos períodos de engorda que están en función de los requisitos del mercado. El primer período de engorda dura hasta 7 u 8 meses desde la siembra de los juveniles con un peso inicial entre los 10 y 15 gramos con una densidad de cultivo inicial de hasta 5.000 individuos por hectárea, con el correr del tiempo las densidades de cultivo pueden llegar hasta 300 individuos por hectárea. La mortalidad del período de crecimiento alcanza el 8% y la cosecha puede llevarse a cabo con pesos finales entre 800 a 1.000 gramos. El segundo período de engorda continúa con una densidad de cultivo de 300 individuos por hectárea con un peso inicial de 1,00 kilogramo y pueden cosecharse al cabo de transcurrido 16 a 18 meses desde la siembra alcanzando pesos finales entre 1,50 a 1,75 kilogramos y al igual que en la etapa anterior de crecimiento la mortalidad alcanza el 8% en la totalidad de la etapa.

Para la cosecha se emplea el drenado del estanque a fines del otoño o principios del invierno. Los peces se mueven con el flujo del agua hasta un foso de cosecha de concreto a la salida del estanque y con ayuda de redes para recolectar los peces que no lleguen al foso. Los peces son recolectados y se transfieren a cajas de plástico, se lavan y se separan por talla en una mesa de selección, luego se pesan y empacan en cajas plásticas dispuestas de hielo molido (FAO, 2005).

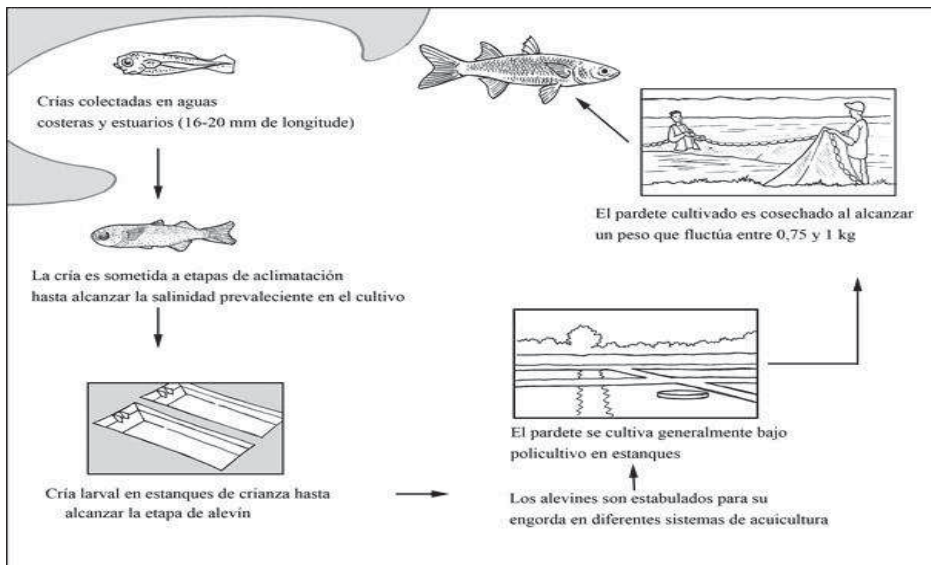


Figura 4. Ciclo productivo semi - intensivo de lisa (*Mugil cephalus*).
Fuente: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mugil_cephalus/es

3.1.7. Desembarque de lisa (*Mugil cephalus*) en Chile

Los mayores desembarques de lisa se encuentran en la VIII región según lo reportado en los anuarios estadísticos de SERNAPESCA desde el año 2000 al 2010, seguido de la VII y V región respectivamente.

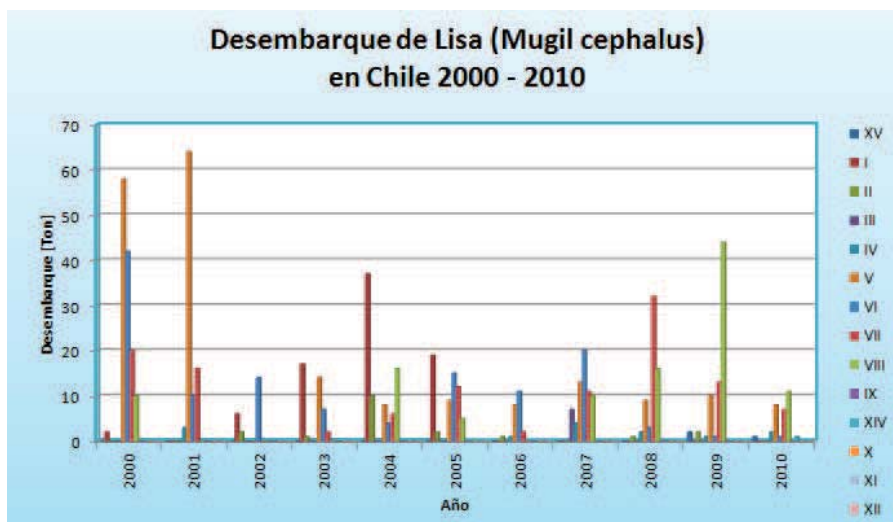


Figura 5. Desembarque de lisa (*Mugil cephalus*) en Chile.
Fuente: Elaboración propia, en base a los anuarios estadísticos de SERNAPESCA 2010.

3.2. Antecedentes de la Zona de Estudio

La cuenca del río La Ligua se encuentra en la V Región, ubicándose inmediatamente al sur de la cuenca del río Petorca entre los paralelos 32°10' y 32°40' LS, ocupa una pequeña superficie de la V Región (12,1%) y comprende las provincias de Petorca y San Felipe de Aconcagua, a nivel comunal abarca las comunas de La Ligua, Cabildo, Papudo y Putaendo.

El río La Ligua drena una superficie aproximada de 1.980 Kilómetros cuadrados, tiene una longitud aproximada de 106 Kilómetros y una pendiente media de 1,1% (MOP, 2004). Según el Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM) el río La Ligua posee un caudal medio de 1,10 metros cúbicos por segundo.

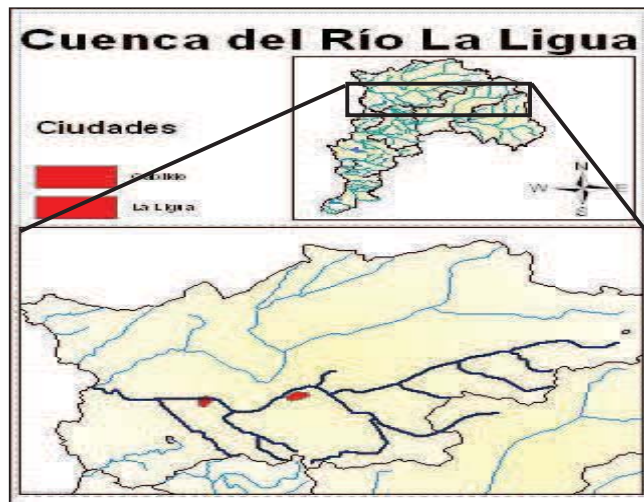


Figura 6. Representación de la cuenca del río La Ligua.

Fuente: Elaboración Propia.

El río La Ligua nace con el estero Alicahue en las serranías de los cerros El Cuzco y Alto del Portillo, a 4.000 metros sobre el nivel del mar, después de recibir el estero Cajón de Los Ángeles que viene del sur pasa a llamarse río La Ligua propiamente tal, la unión se produce a 5 Kilómetros antes de Cabildo. El afluente más importante que recibe hacia aguas abajo es la quebrada La Patagua, que se une en La Ligua. Luego de un recorrido de

24 Kilómetros desde este último punto, desemboca al mar frente a la laguna de Longotoma (MOP, 2004).

La geomorfología está compuesta por planicies marinas (fluviomarina), cordones transversales y sierras transversales del tronco maestro andino. La fitogeografía está compuesta principalmente por policultivos frutales, matorrales claros desérticos siempre – verde, matorrales claros sub – desérticos y estepa arbustiva alto andina (IGM, 2003).

Se puede distinguir dos tipos de climas. El primero corresponde al estepárico cálido que se encuentra presente en la totalidad de la cuenca y se caracteriza por la escasa humedad atmosférica, cielos despejados, alta luminosidad y una fuerte oscilación térmica diaria y el segundo corresponde al frío de altura, presente en la zona de los macizos cordilleranos desarrollándose por sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, permitiendo la acumulación de nieve y campos de hielo (MOP, 2004).

Las precipitaciones medias mensuales medidas en milímetros de agua caída en la cuenca del río La Liga quedan reflejadas en el siguiente gráfico.

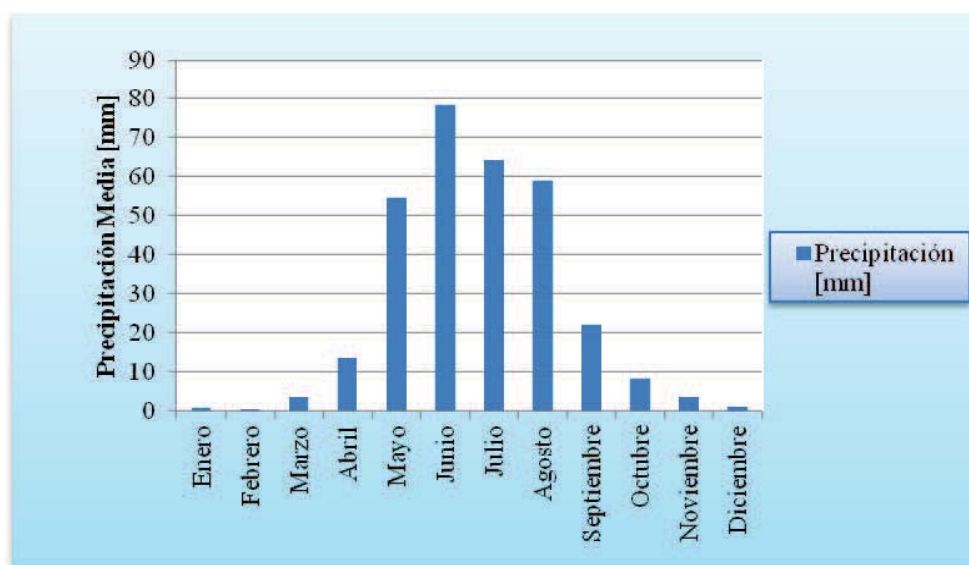


Figura 7. Precipitación media mensual de la cuenca del río La Liga.
Fuente: MOP, 2004.

La cuenca presenta dos regímenes pluviométricos; el nival que se desarrolla en el estero Alicahue y el pluvio – nival ubicado en el sector de Longotoma (MOP, 2004). Según los datos hidrometeorológicos de la Dirección General de Aguas, la cuenca en su totalidad no presenta registros históricos de inundaciones (DGA, 2010).

En lo que a hidrogeología se refiere, la cuenca presenta dos tipos de acuíferos; uno libre a lo largo del valle y corresponde al relleno más superficial compuesto por gravas y arenas con un espesor entre 10 – 30 metros y un acuífero confinado ubicado en la zona comprendida entre La Ligua hasta Longotoma presentando estratos de arcilla y limos formando rellenos granulados más profundos.

La cuenca presenta un alto grado de permeabilidad de roca en el borde costero, en la depresión intermedia el grado de permeabilidad es moderado, siendo baja en la cordillera de los Andes y finalmente muy baja en la cordillera de la Costa, estero Los Ángeles y en el estero Alicahue (MOP, 2004).

La ictiofauna presente está distribuida a lo largo del río desde el estero Alicahue, hasta la desembocadura en el sector Longotoma, siendo las especies más representativas el pejerrey costero (*Basilichthys microlepidotus*), bagrecito (*Trichomycterus aerolatus*), pejerrey chileno (*Cauque brevianalis*), lisa (*Mugil cephalus*) y puye (*Galaxias maculatus*) (Zunino, 2009).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada para la identificación de áreas potenciales para el cultivo de Lisa en la cuenca del río La Ligua comprendió las siguientes etapas.

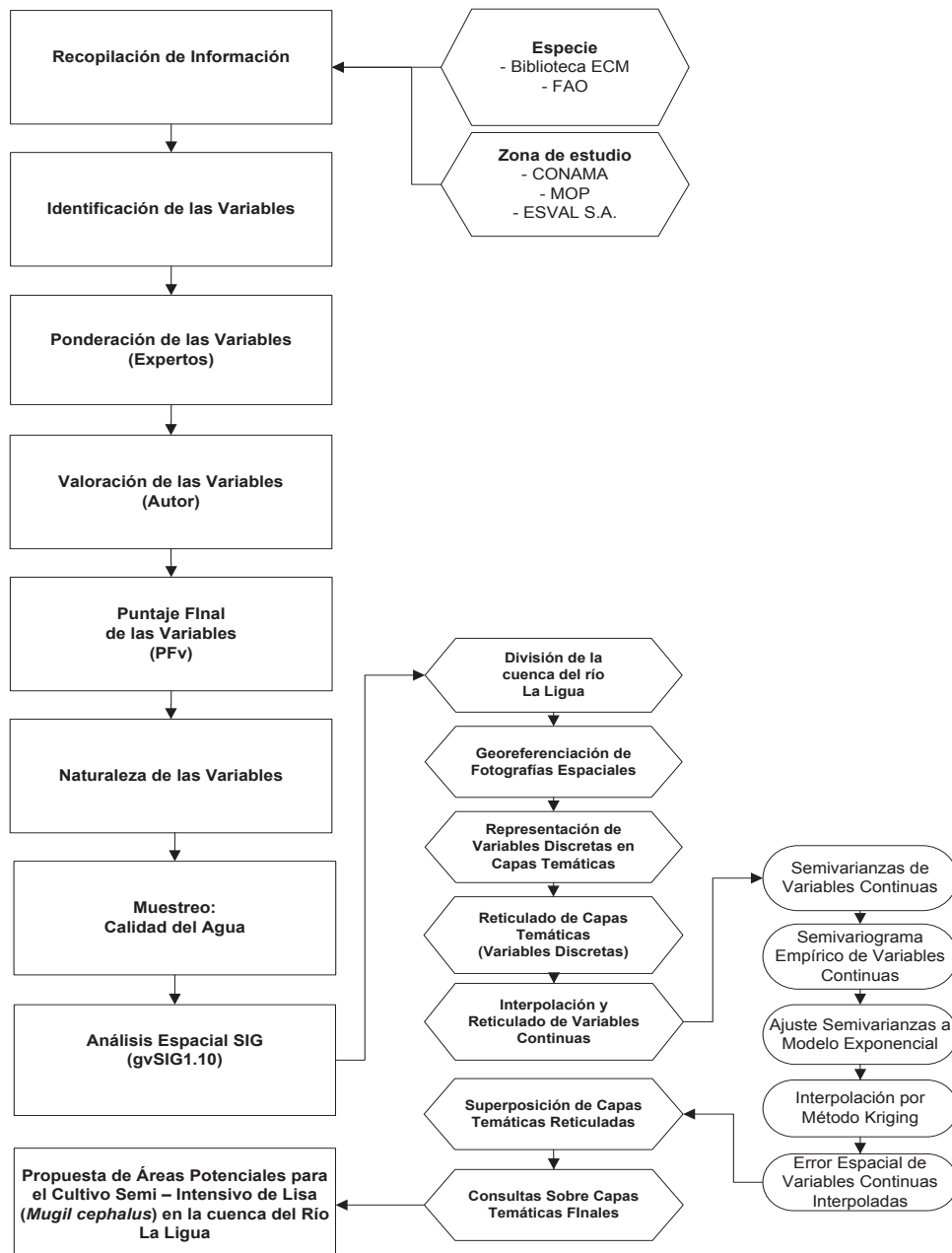


Figura 8. Metodología para la identificación de áreas potenciales.

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Recopilación de Información

Para recopilar la información concerniente a los requisitos ambientales y técnicos del cultivo semi - intensivo de lisa se consultó la bibliografía disponible de la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y a las publicaciones del Departamento de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Para las características de la cuenca del río La Ligua se consultó el informe del Ministerio de Obras Públicas (MOP) del año 2004 titulado “Diagnóstico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad: La cuenca de La Ligua”, además de la Resolución Exenta 003/2000 de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) V Región y del estudio titulado “Saneamiento de los ríos Aconcagua y La Ligua llevado a cabo por la Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso (ESVAL) en el año 2003.

4.2. Identificación de Variables

Existen variables que son universalmente utilizadas en sistemas acuícolas, tales como la disponibilidad y calidad de agua, acceso a caminos, disponibilidad de electricidad y agua potable (Meaden y Kapetsky, 1992) y otras de tipo topográfico como el tipo y uso de suelo, inundabilidad del sector y pendiente de la cuenca (FNDR, 2005).

Basado en lo anterior se seleccionaron las variables relacionadas con la identificación de sitios aptos para el desarrollo de la acuicultura continental y marina, las que fueron recopiladas a través de los siguientes estudios:

- 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 (Díaz y López, 2000).

- Determinación de Áreas Potenciales para la Acuicultura, Región del Maule. Fondo Nacional de Desarrollo Regional, 2005.

4.3. Ponderación de Variables (Expertos)

La ponderación de las variables tuvo por objeto conseguir la opinión de expertos en temas de localización de proyectos acuícolas. Estos expresaron a su juicio el “Peso de Importancia” de cada una de las variables identificadas y seleccionadas para la toma de decisión de emplazar un centro de engorda en la cuenca del río La Ligua. Para el estudio se tomó en cuenta la participación de los siguientes actores: Subsecretaría de Pesca, División Acuicultura (SUBPESCA), el Ministerio del Medio Ambiente (SEREMI MA V) y un docente calificado en la materia.

La opinión de los expertos se obtuvo a través de una adaptación al método Delphi, con la finalidad de conocer las variables que estarían presentes en el estudio y sus atributos cualitativos.

En primer lugar se tabularon en orden alfabético las variables identificadas y se describieron brevemente con el objeto que el consultado pudiera establecer que variables se debían aceptar para ser representadas y analizadas en el sistema de información geográfica, por ende, se adjuntó a la consulta los antecedentes de los requisitos ambientales y técnicos del cultivo semi – intensivo de la especie y de las características de la zona de estudio.

Tabla 1: Diseño 1^{era} consulta. Variables a representar y analizar.

Variable	Aceptada / Rechazada	Comentario Experto
Variable ₁		
...		
Variable _n		

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Se incorporaron al estudio las variables que presentaron dos a tres aceptaciones por parte de los expertos y se clasificaron en función de los atributos cualitativos en variables “Ambientales” ó “Técnicas y de Factibilidad” para lograr un mejor manejo en la representación y análisis en el sistema de información geográfica.

Finalmente se envió una segunda consulta, que consistió en la determinación de los “Pesos de Importancia” tanto de las variables globales como las derivadas de éstas expresadas en porcentajes.

Tabla 2: Diseño 2^{da} consulta. Peso de importancia variables globales.

Variable Global	Peso de Importancia
Ambiental	
Técnica y de Factibilidad	
Σ	100%

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Tabla 3: Diseño 2^{da} consulta. Peso de importancia de variables ambientales.

Variable Ambiental	Peso de Importancia
Ambiental ₁	
Ambiental _n	
Σ	100%

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Tabla 4: Diseño 2^{da} consulta. Peso de importancia de variables técnicas y de factibilidad.

Variable Técnica y de Factibilidad	Peso de Importancia
Técnica y de Factibilidad ₁	
Técnica y de Factibilidad _n	
Σ	100%

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Recibidos los resultados de la segunda consulta se determinó el “Ponderador Experto” como el producto de los pesos de importancia promediados tanto de la variable global como de la variable derivada de esta. Los resultados fueron vinculados al campo “Ponderador Experto (PE)” a cada una de las tablas asociadas de las capas temáticas en formato (.dbf).

$$(PE) = (\overline{PVG}) * (\overline{PV})$$

Figura 9: Fórmula para determinar el ponderador experto de cada variable.
Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Donde

PE : Ponderador experto.

\overline{PVG} : Promedio del peso de importancia de la variable global.

\overline{PV} : Promedio del peso de importancia de la variable.

4.4. Valoración de Variables (Autor)

Las variables del estudio fueron valoradas en base al estudio titulado “Optimización de la acuicultura marina en jaulas flotantes en Tenerife, mediante el uso de modelos basados en SIG”, el cual consistió en una escala dividida del número 1 al 8, siendo el valor 8 el más idóneo y el 1 el menor para el desarrollo acuícola.

Tabla 5: Escala de valoración de aptitud de las variables.

Valor	Aptitud
1	Totalmente no óptimo
2	No óptimo
3	Moderadamente no óptimo
4	Marginalmente no óptimo
5	Marginalmente óptimo
6	Moderadamente óptimo
7	Óptimo
8	Totalmente óptimo

Fuente: Pérez, 2006.

Se fijaron criterios que permitieron valorar a cada una de las variables según los antecedentes recopilados, tanto de los requerimientos ambientales, técnicos y de

factibilidad del cultivo semi – intensivo de lisa como de las características de la zona de estudio.

4.5. Puntaje Final de Variables (PF_v)

Finalmente se determinó el puntaje final para cada variable mediante el producto entre el “Ponderador Experto” y el “Valor Autor” con el objeto de robustecer los pesos de importancia y luego vincularlo a cada una de las tablas asociadas a las capas temáticas en formato (.dbf).

$$(PF_v) = (PE) * (VA)$$

Figura 10: Fórmula para determinar el puntaje final de cada variable.

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Donde

PF_v : Puntaje final de la variable.

PE : Ponderador experto.

VA : Valor asignado por el autor.

4.6. Naturaleza de Variables

Las variables en un estudio geográfico pueden ser tanto discretas como continuas dependiendo de la naturaleza de éstas. Las discretas son aquellas que se constituyen por elementos separados unos de otros o individualmente distintos y son representados mediante el modelo vectorial en forma de puntos, líneas o polígonos, mientras que las continuas son aquellas que presentan variabilidad tanto espacial como temporal y que

deben ser interpoladas bajo las técnicas de la geoestadística antes de ser representadas en capas temáticas (Santiago, 2005).

Por esta razón las variables fueron clasificadas según su naturaleza. Las discretas fueron representadas en capas temáticas individuales en formato vectorial y posteriormente reticuladas, mientras que las continuas fueron interpoladas por el método Kriging y reticuladas automáticamente por el software gvSIG1.10.

4.7. Muestreo: Calidad del Agua

La calidad del agua está dada por el conjunto de propiedades y su interacción con los organismos vivos. Con respecto al cultivo de organismos acuáticos, cualquier característica del agua que afecte el comportamiento, reproducción, crecimiento, rendimientos por unidad de área, productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas es una variable de calidad de agua (INCODER, 2005).

En el presente estudio se consideraron las siguientes variables para expresar la calidad el agua.

- Temperatura [°C]
- Oxígeno disuelto [mg/l]
- pH
- Caudal [m³/s]

El muestreo se realizó recorriendo la ribera del río La Ligua en dirección Este a Oeste desde el “Punto Cero” ubicado en el descanso de corral de piedra del sector alto de Alicahue hasta llegar al “Punto Final” situado en la desembocadura del río La Ligua en el sector de las dunas de Pullali, Longotoma.

Las mediciones de las cuatro variables se fueron registrando cada 1 [Km], con la finalidad de tener una aproximación más real al comportamiento de ellas en la extensión del río según lo estipulado por los estudios realizados por el Instituto de Geografía de la Universidad de Murcia (SIGMUR, 2006).

Con el apoyo de un equipo GPS “Etrex Summit” se registraron las coordenadas geográficas proyectadas al sistema UTM de Mercator en cada punto donde se realizó el muestreo.

Tabla 6: Diseño base de datos para los registros de las variables muestreadas.

Muestreo	UTM		Temperatura del agua [°C]	pH del agua	Oxígeno disuelto en el agua [mg/l]	Caudal [m ³ /s]
	X	Y				
Punto Cero						
...						
Punto Final						

Fuente: Elaboración propia.

Para medir la temperatura se utilizó el “Termómetro de precisión SERA”, el cual se sumergió en el río durante 1 [min] y posteriormente se registró la temperatura en [°C].

Para medir el Oxígeno disuelto en el agua se utilizó el “O₂ Sera Test”, siguiendo el método recomendado por la firma:

- i. Enjuagar la cubeta 3 veces con el agua del río y luego llenarla hasta justo por debajo del borde y secar la cubierta por fuera.
- ii. Añadir 6 gotas del Reactivo 1 y 6 del Reactivo 2.
- iii. Cerrar la cubeta con la tapa inmediatamente cuando no haya burbujas de aire y agitar la cubeta, luego retirar la tapa.

- iv. Comparar el color del precipitado resultante con el cuadro de colores y registrar el valor impreso que trae el O₂ Sera Test.

Para medir el pH del agua se utilizó el “pH Sera Test”, siguiendo el método recomendado por la firma:

- i. Agitar el Reactivo.
- ii. Enjuagar varias veces la cubeta con el agua que se va a muestrear y llenarlo hasta la marca de 5 [ml] y secar la cubeta por fuera.
- iii. Añadir 4 gotas del Reactivo.
- iv. Cerrar la cubeta con la tapa y agitar nuevamente y luego retirar la tapa.
- v. Comparar inmediatamente el color de la muestra con el cuadro de colores y registrar el valor impreso que trae el pH Sera Test.

Para medir el caudal del río se utilizó el siguiente método desarrollado por el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) en el 2005.

- i. Elegir un tramo lo más recto posible a cada orilla de la ribera y medir 10 [m] señalando el principio y el final con estacas de madera, de manera de formar un rectángulo ABCD.
- ii. Liberar un flotador desde el tramo AB sobre la superficie del río y medir el tiempo en segundos que tarda el flotador en pasar por el sitio CD.
- iii. Determinar la velocidad media del flotador en recorrer desde el tramo AB al CD, usando la razón distancia [m] / tiempo [s].

- iv. Multiplicar la velocidad media resultante por el factor de corrección “Fr” igual a 0.85 (efectos de roce).
- v. Determinar el área de la sección mediante el promedio del ancho y profundidad del cauce en 3 puntos azarosos dentro de los 10 [m] de distancia de la ribera.
- vi. Determinar el caudal del sector mediante el producto de la velocidad media corregida por el área de la sección transversal y registrar el valor en [m³/s].

4.8. Análisis Espacial SIG (gvSIG1.10)

Para analizar la cuenca se trabajó con la representación vectorial reticulada de las variables mediante el software gvSIG1.10. Este se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdas cuadradas uniformes, donde cada una de ellas recibe un único valor de identificación (ID) que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma (FNDR, 2005). El análisis espacial consistió en un determinado número de geoprocesos que permitieron identificar áreas en las cuales se podría desarrollar el cultivo del recurso Lisa.

4.8.1. División de la Cuenca del Río La Ligua

Para lograr un mayor detalle al momento de la representación de las variables, se dividió la cuenca del río La Ligua en tres fotografías espaciales, las cuales se obtuvieron del geolocalizador de acceso libre Google Earth versión 5.0 en formato (.jpg), a una altura de ojo de 20,97 [Km] cubriendo así una longitud aproximada de 98 [Km] del total de la cuenca.

4.8.2. Georeferenciación de Fotografías Espaciales

Para que el estudio tuviera validez espacial las fotografías espaciales debieron ser georeferenciadas. Para lograrlo las coordenadas geográficas correspondientes a los vértices de las fotografías espaciales fueron proyectadas al sistema UTM, para posteriormente utilizar la herramienta “Georeferenciación” del software gvSIG1.10 donde se vincularon al menos cuatro puntos de control para cada fotografía espacial. Se estableció un error total RMS menor al 5% para aceptar la georeferenciación como válida (Santiago, 2005).

4.8.3. Representación de Variables Discretas en Capas Temáticas

Luego de la georeferenciación de las fotografías espaciales y conocida la naturaleza de todas las variables que participarían del estudio se procedió a generar capas temáticas para cada una de las variables discretas, las cuales fueron identificadas y representadas como entidades vectoriales (puntos, líneas y/o polígonos) según los antecedentes recopilados. Al término de la representación de una y solo una variable se almacenaron las nuevas capas temáticas en formato Shapefile (.shp) editando de forma inmediata la base de datos integrada con los campos “Identificador de celda” (ID), “Ponderador Experto” (PE), “Valoración del Autor” (VA) y “Puntaje Final de las Variables” (PFv) en formato (.dbf).

4.8.4. Reticulado de Capas Temáticas (Variables Discretas)

Para lograr el geoproceso de reticulado se utilizó la herramienta “Crear Retícula a Capa Vectorial” integrada en el “Piloto Sextante” de gvSIG1.10. Las capas vectoriales se ingresaron en el visualizador de capas temáticas, definiendo el tamaño de celda, número de filas y número de columnas que integrarían la grilla, con el objeto de coincidir el tamaño de la grilla con el de la fotografía espacial georeferenciada.

Tabla 7: Modelo de reticulado de capas temáticas.

ID ₁₁	ID ₁₂	...	ID _{1m}
...
ID _{n1}	ID _{n2}	...	ID _{nm}

Fuente: Elaboración propia.

4.8.5. Interpolación y Reticulado de Variables Continuas

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable (Z) en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas (X, Y), partiendo de los valores de (Z) medidos en una muestra de puntos situados en el área de estudio. Cuando se trabaja con un SIG, la interpolación espacial suele utilizarse para obtener capas reticuladas que representan la variable a interpolar (SIGMUR, 2006).

Para que fuera posible la interpolación se debió en primer lugar determinar la semivarianza de cada una de las variables continuas que fueron muestreadas, elaborar los semivariogramas empíricos en función del intervalo de distancia en que fueron muestreadas y finalmente ajustar las semivarianzas al modelo exponencial, ya que este refleja bastante bien la continuidad espacial de las variables medidas (Gallardo, 2006).

4.8.5.1. Determinación de Semivarianzas de Variables Continuas

En la estadística espacial (geoestadística) se utiliza la función semivarianza, con el objeto de entregar una visión de la estructura de variabilidad espacial de una variable continua medida en un conjunto de puntos (SIGMUR, 2006).

$$\gamma_{(h)} = \frac{\sum [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2}{2 * N(h)}$$

Figura 11: Fórmula para determinar la semivarianza de las variables continuas.

Fuente: SIGMUR, 2006.

Donde

$\gamma_{(h)}$: Semivarianza para todas las muestras localizadas en el espacio separado por el intervalo de distancia (h).

$N_{(h)}$: Número total de pares de muestras separados por un intervalo de distancia (h).

$Z_{(x)}$: Valor de la muestra en una localización (x).

$Z_{(x+h)}$: Valor de la muestra a la distancia de intervalo (h) desde (x).

A cada intervalo de distancia (h) se vinculó el muestreo de calidad del agua siguiendo la ribera del río desde el “Punto Cero” al “Punto Final”.

4.8.5.2. Elaboración Semivariograma Empírico de Variables Continuas

El semivariograma se utiliza en geoestadística para saber cuan parecidos son los puntos en el espacio a medida que éstos se encuentran más alejados, es decir, describe la variabilidad de un fenómeno de interés (Gallardo, 2006).

La elaboración del semivariograma empírico para cada variable continua se obtuvo de la representación gráfica de la semivarianza de cada una de ellas versus el intervalo de distancia en que se separó el muestreo.

4.8.5.3. Ajuste Semivarianzas al Modelo Exponencial

El semivariograma empírico proporciona bastante información del comportamiento espacial de las variables, sin embargo, es necesario ajustar una función para cuantificar el grado y escala de variación espacial. De los modelos más utilizados en geoestadística surge el exponencial debido a que refleja muy bien la continuidad espacial (Gallardo, 2006).

$$\gamma_{(h)} = 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right)$$

Figura 12. Fórmula para ajustar la semivarianza al modelo exponencial.

Fuente: Gallardo, 2006.

Donde

$\gamma_{(h)}$: Semivarianza en el intervalo de distancia (h).

h : Intervalo de distancia entre muestreos.

exp : Función exponencial.

a : Distancia a la cual el valor del semivariograma alcanza el 95% del Sill.

El ajuste permite extraer una serie de parámetros que son los que van a ser usados para la interpolación geoestadística y que definen el grado y escala de variación espacial, estos corresponden al “Rango” (A_0) que es la distancia a la cual la semivarianza deja de aumentar, es decir, la distancia a partir de la cual las muestras son espacialmente independientes unas de otras, seguido del “Nugget” (C_0) que es la varianza no explicada por el modelo y finalmente el “Sill ó Meseta” ($C_0 + C$) que corresponde a la máxima varianza encontrada entre pares de puntos de muestreo (Gallardo, 2006).

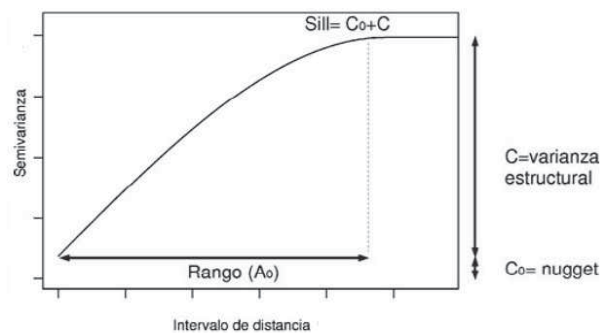


Figura 13: Parámetros utilizados para la interpolación Kriging.

Fuente: Gallardo, 2006.

4.8.5.4. Interpolación por Método Kriging

El Kriging es una técnica de interpolación utilizada en geoestadística, su fortaleza radica en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio (Gallardo, 2006).

Este geoproceto se realizó a través de la herramienta “Interpolación de capas puntuales” del “Piloto Sextante” integrado en gvSIG1.10, en el cual se ingresaron los puntos muestreados en forma de coordenadas proyectadas y los valores de las variables continuas, además de los parámetros requeridos (rango, nugget, sill, número de puntos muestreados, tamaño de celda, número de filas y número de columnas) dando como resultado una nueva capa temática reticulada y georeferenciada.

4.8.5.5. Cálculo de Error Espacial de Variables Continuas Interpoladas.

El resultado final del Kriging es un mapa con los valores interpolados de las variables continuas, sin embargo, a diferencia de otras técnicas, la geoestadística permite que cada interpolación lleve asociado un grado de error espacial que puede ser representado en forma de varianza o de desviación estándar (Gallardo, 2006).

Para el estudio se representó el error espacial como la varianza asociada a los valores interpolados para cada una de las variables continuas (expresada en porcentaje) y fue determinada automáticamente por el software gvSIG 1.10.

4.8.6. Superposición de Capas Temáticas Reticuladas

El geoproceto conocido como “Overlay” permite superponer un determinado número de capas temáticas, logrando además vincular todos los atributos de cada una de ellas para así generar nuevos mapas que integren toda la información de cuantas capas temáticas se deseen (Santiago, 2005).

Por ello, una vez reticulada la totalidad de las capas temáticas se procedió al geoproceso “Overlay”. La superposición comprendió en primera instancia a las variables ambientales seguidas de las técnicas y de factibilidad generando de esta manera dos capas temáticas por sector. Finalmente las dos capas temáticas finales fueron superpuestas generando una capa temática final para cada sector.

4.8.7. Consultas Sobre Capas Temáticas Finales

Una vez que se superpusieron las variables globales generando una sola capa temática por sector, se realizó un set de consultas en forma de filtro a través del software gvSIG1.10 y que estuvieron en función de las restricciones y ventajas que debían presentar las variables presentes en la cuenca, logrando así identificar un determinado número de áreas potenciales (Anexo 9).

Tabla 8: Diseño del set de consultas a las capas temáticas finales.

Variable	Consulta	
	Ventaja	Restricción
Variable ₁		
...		
Variable _n		

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Propuesta de Áreas Potenciales

El criterio para identificar áreas potenciales para el desarrollo acuícola fue el puntaje final de cada celda correspondiente a cada una de las capas finales.

$$PF_c = \sum_c^n PF_v$$

Figura 14: Fórmula para determinar el puntaje final de cada celda.

Fuente: Elaboración propia, adaptada de FNDR, 2005.

Las áreas resultantes fueron traspasadas a una planilla Microsoft Excel 2007 con el mismo tamaño de grilla del análisis SIG y cada celda fue identificada con el puntaje final de cada una de las variables. El siguiente filtro fue seleccionar los cinco mayores puntajes de la grilla, entendiendo que las áreas que presentaron mayor puntaje final poseían mayor aptitud para desarrollar el proyecto (Anexo 10).

Tabla 9: Diseño base de datos de la propuesta de áreas.

Lugar	Sector	UTM				PFv	Área [ha]
		Vértice Noreste		Vértice Suroeste			
		X	Y	X	Y		
1							
2							
3							
4							
5							

Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS

5.1. Recopilación de la Información

5.1.1. Requisitos Ambientales y Técnicos del Cultivo Semi – Intensivo de lisa

Tabla 10: Parámetros ambientales y técnicos del cultivo semi - intensivo de lisa.

Parámetro	Juvenil	7 a 8 [meses]	16 a 18 [meses]	Unidad
Temperatura del agua	12 a 24	10 a 28	11 a 28	[°C]
Oxígeno disuelto en el agua	Mínimo 5,4	Mínimo 5,5	Mínimo 5,6	[mg/l]
pH del agua	6,2 a 7,0	6,2 a 7,1	6,2 a 7,2	
Caudal necesario	s/i	0,002 a 0,010	0,002 a 0,011	[m ³ /s]
Área de estanque	s/i	0,1	1,1	[ha]
Producción	s/i	2800	4300	[Kg/ha]

Fuente: FAO, 2005.

5.1.2. Características de la Cuenca del Río La Ligua

5.1.2.1. Tipo de Suelo

Tabla 11: Tipo de suelo de la cuenca del río La Ligua.

Tipo de suelo	Zona	Descripción
Alfisol	Costera	Suelo de regiones húmedas, importante dominancia de arcilla sub – superficial, alta fertilidad, suelo joven comunes bajo bosques.
Duna	Costera	Morfología parabólica, granulometría fina, compuesta por líticos claros, cuarzos y vidrios volcánicos claros.
Inceptisol	Andina	Suelo que desarrolla en climas húmedos (fríos o cálidos), con un alto contenido de materia orgánica, pH ácido, pobre drenaje, presencia de arcillas amorfas.
Mollisol	Valle central	Suelo común de pastizales, con buena descomposición de materia orgánica, alta fertilidad y dominancia de arcillas.
Macizo Cordillerano	Cordillera de los Andes hasta zona costera	Sección de la corteza terrestre demarcada por fallas o fisuras tanto en la cordillera de los Andes como en la cordillera de la Costa.

Fuente: MOP, 2004.

5.1.2.2. Uso del Suelo

Tabla 12: Uso del suelo cuenca del río La Ligua.

Uso del suelo	Superficie [ha]
Áreas mineras	262
Áreas sin vegetación	9.067
Bosque nativo y mixto	1.974
Plantaciones forestales	625
Asentamiento humano	519
Praderas	2.391
Terrenos agrícolas	10.729

Fuente: MOP, 2004.

5.1.2.3. Asentamiento Humano

Tabla 13: Población total de las localidades importantes de la cuenca del río La Ligua.

Asentamiento	Población total (2002)	Población total urbana
La Ligua	31.987	24.214
Cabildo	19.700	18.916

Fuente: MOP, 2004.

5.1.2.4. Uso del Agua

Tabla 14: Uso del agua en la cuenca del río La Ligua.

Uso del agua	Actividad	Descripción
<i>In - situ</i>	Acuicultura, pesca deportiva y recreativa	No se realiza en la cuenca
	Riego de cultivos	198 canales y 46 embalses
Uso extractivo	Captación para agua potable	Fuente subterránea
	Generación energía eléctrica y actividad industrial generadora de RILES	No se realiza en la cuenca

Fuente: MOP, 2004.

5.2. Identificación de Variables

Tabla 15: Identificación de las variables de estudio.

Variable	Descripción
Accesibilidad a red vial	Influye en la inversión inicial por concepto de construcción o habilitación de caminos, además define el nivel de acceso (Díaz & López, 2000).
Caudal necesario	Volumen de agua que se necesita por unidad de tiempo para que la actividad sea factible (FNDR, 2005).
Cercanía a compañías mineras	Se considera incompatible, debido a que la toma de agua con material minero genera toxicidad y un fuerte impacto (FNDR, 2005).
Cercanía a descarga de RILES	Se considera incompatible, ya que incide negativamente al poseer características de contaminantes físico – químicos (FNDR, 2005).
Cercanía a plantas de tratamiento de aguas servidas	Indicador de zonas con menor influencia de contaminación bacteriológica debido a las descargas de desechos domiciliarios sin tratamiento (FNDR, 2005).
Cercanía a red eléctrica	Vital si se requiere de maquinarias que estén en constante funcionamiento, tales como bombas, equipos informáticos y equipos eléctricos (Díaz & López, 2000).
Cercanía a la caleta	Permite el suministro de individuos juveniles que ingresarán al centro.
Cercanía a zonas de inundabilidad	Implica disminución de costos asociados a eventos en el cual el cauce del río cubre los territorios aledaños a los límites naturales de la cuenca (FNDR, 2005).
Disponibilidad de agua potable	Su presencia resulta básica para el manejo y necesidades del personal de trabajo (Díaz & López, 2000).
Disponibilidad de mano de obra	La actividad necesita mano de obra, por lo tanto, se requiere cierta cercanía con los centros poblados para que la faciliten (Díaz & López, 2000).
Disponibilidad de red telefónica	Permite mantener la conectividad del centro con el mercado (Díaz & López, 2000).
Oxígeno disuelto en el agua	Variable considerada crítica, ya que influye directamente en la respiración y comportamiento de los peces (FNDR, 2005).
Pendiente de la cuenca	Permite la disminución de los costos asociados a equipos para extraer el recurso hídrico (FNDR, 2005).
pH del agua	Expresa la concentración de Hidrógeno en el agua y por consiguiente es tomado como un indicador de la acidez (FNDR, 2005).
Temperatura del agua	Influye directamente en los procesos fisiológicos de los peces, tales como la respiración, crecimiento y comportamiento (FNDR, 2005).
Tipo de suelo	Permite conocer la formación geológica natural del suelo bajo condiciones climáticas y materiales de origen y que pueden presentar o no factibilidad para el desarrollo de la actividad (FNDR, 2005).
Uso del suelo	Entrega la información necesaria de la zonificación existente en la cuenca de estudio y que puede ser representada (FNDR, 2005).

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Ponderación de Variables (Expertos)

Tabla 16: 1^{era} consulta a expertos. Variables aceptadas y clasificadas.

Variable Ambiental	Variable Técnica y de Factibilidad
Cercanía a compañías mineras	Accesibilidad a red vial
Cercanía a planta de tratamiento de aguas servidas	Caudal necesario
Oxígeno disuelto en el agua	Disponibilidad de agua potable
pH del agua	Disponibilidad de mano de obra
Temperatura del agua	Disponibilidad de red eléctrica
Tipo de suelo	
Uso de suelo	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: 2^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables globales.

Variables	SUBPESCA	SEREMI MMA V	Docente	Promedio
Ambientales	0,70	0,55	0,60	0,62
Técnicas y de Factibilidad	0,30	0,45	0,40	0,38
Σ	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: 2^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables ambientales.

Variable Ambiental	SUBPESCA	SEREMI MMA V	Docente	Promedio
Cercanía a compañías mineras	0,10	0,15	0,10	0,12
Cercanía a planta de tratamiento de aguas servidas	0,10	0,15	0,10	0,12
Oxígeno disuelto en el agua	0,20	0,15	0,20	0,18
pH del agua	0,20	0,10	0,25	0,18
Temperatura del agua	0,20	0,15	0,25	0,20
Tipo de suelo	0,10	0,20	0,05	0,12
Uso de suelo	0,10	0,10	0,05	0,08
Σ	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: 2^{da} consulta a expertos. Ponderación de variables técnicas y de factibilidad.

Variable Técnica y de Factibilidad	SUBPESCA	SEREMI MMA V	Docente	Promedio
Accesibilidad a red vial	0,10	0,10	0,10	0,10
Caudal necesario	0,30	0,20	0,30	0,27
Disponibilidad de agua potable	0,15	0,25	0,20	0,20
Disponibilidad de mano de obra	0,30	0,25	0,25	0,27
Disponibilidad de red eléctrica	0,15	0,20	0,25	0,16
Σ	1	1	1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Ponderador experto de variables.

Variable	Ponderador Experto
Accesibilidad a red vial	0,038
Caudal necesario	0,102
Cercanía a compañías mineras	0,072
Cercanía a planta de tratamiento de aguas servidas	0,072
Disponibilidad de agua potable	0,076
Disponibilidad de mano de obra	0,102
Disponibilidad de red eléctrica	0,064
Oxígeno disuelto en el agua	0,113
pH del agua	0,113
Temperatura del agua	0,123
Tipo de suelo	0,072
Uso de suelo	0,051

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Valoración de Variables (Autor)

Para las variables ambientales los criterios fueron fijados en base al estudio realizado por el MOP del 2004, mientras que para las variables técnicas y de factibilidad los criterios se fijaron en base al estudio del FNDR del Maule del 2005. (Se entiende por “Buffer” al área de influencia que es abarcada por una variable en una capa temática).

Tabla 21: Valoración accesibilidad a red vial.

Accesibilidad a red vial [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	8
Buffer entre 1 a 3	7
Buffer entre 3 a 5	4
Buffer mayor a 5	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Valoración caudal necesario.

Caudal necesario [m³/s]	
Criterio	Puntaje
Menor a 0,002	1
Entre 0,002 a 0,008	4
Entre 0,008 a 0,014	8
Mayor a 0,014	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23: Valoración cercanía a compañías mineras.

Cercanía a compañías mineras [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	1
Buffer entre 1 a 3	2
Buffer entre 3 a 5	3
Buffer mayor a 5	5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Valoración cercanía a plantas de tratamiento de aguas servidas.

Cercanía a plantas de tratamiento de aguas servidas [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	8
Buffer entre 1 a 3	7
Buffer entre 3 a 5	4
Buffer mayor a 5	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Valoración cercanía a red eléctrica.

Cercanía a red eléctrica [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	8
Buffer entre 1 a 3	7
Buffer entre 3 a 5	4
Buffer mayor a 5	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Valoración disponibilidad de agua potable.

Cercanía a red de agua potable [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	8
Buffer entre 1 a 3	7
Buffer entre 3 a 5	4
Buffer mayor a 5	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Valoración disponibilidad de mano de obra.

Disponibilidad de mano de obra [Km]	
Criterio	Puntaje
Buffer menor a 1	8
Buffer entre 1 a 3	6
Buffer entre 3 a 5	4
Buffer mayor a 5	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Valoración Oxígeno disuelto en el agua.

Oxígeno disuelto en el agua [mg/l]	
Criterio	Puntaje
Menor a 5,0	1
Entre 5,0 a 5,4	4
Entre 5,4 a 5,8	6
Entre 5,8 a 6,2	8
Mayor a 6,2	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Valoración pH del agua.

pH del agua	
Criterio	Puntaje
Menor a 5,0	1
Entre 5,0 a 6,0	4
Entre 6,0 a 7,0	8
Mayor a 7,0	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30: Valoración temperatura del agua.

Temperatura del agua [°C]	
Criterio	Puntaje
Menor a 10	1
Entre 10 a 16	7
Entre 16 a 22	8
Entre 22 a 28	7
Mayor a 28	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Valoración tipo de suelo.

Tipo de suelo	
Criterio	Puntaje
Mollisol	8
Alfisol	7
Inceptisol	6
Macizo cordillerano	1
Duna	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Valoración uso del suelo.

Uso del suelo	
Criterio	Puntaje
Praderas	8
Áreas sin vegetación	5
Terrenos agrícolas	5
Asentamiento humano	4
Bosque nativo y mixto	1
Plantaciones forestales	1
Áreas mineras	1

Fuente: Elaboración propia.

5.5. Puntaje Final de Variables (PFv)

El puntaje final de las variables representadas varió mientras se analizaba cada uno de los sectores tal como se muestra en el Anexo 1.

5.6. Naturaleza de Variables

Tabla 33: Naturaleza de las variables ambientales.

Variable Global	Variable	Naturaleza
Ambiental	Tipo de suelo	Discreto
	Uso del suelo	Discreto
	Cercanía a compañías mineras	Discreto
	Oxígeno disuelto en el agua	Continuo
	pH del agua	Continuo
	Cercanía a planta de tratamiento de aguas servidas	Discreto
	Temperatura del agua	Continuo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Naturaleza de las variables técnicas y de factibilidad.

Variable Global	Variable	Naturaleza
Técnicas y de Factibilidad	Accesibilidad a red vial	Discreto
	Caudal necesario	Continuo
	Disponibilidad de agua potable	Discreto
	Disponibilidad de red eléctrica	Discreto
	Disponibilidad de mano de obra	Discreto

Fuente: Elaboración propia.

5.7. Muestreo: Calidad del Agua

Los registros de las variables calidad del agua fueron tabulados según el punto de muestreo con sus respectivas coordenadas geográficas proyectadas al sistema UTM de Mercator (Anexo 2).

5.8. Análisis Espacial SIG (gvSIG1.10)

5.8.1. División de la Cuenca del Río La Ligua

La cuenca se dividió en 3 sectores en dirección Este – Oeste, cada una con su respectiva fotografía espacial obtenida desde el geolocalizador Google Earth 5.0 (Anexo 3).

- Alicahue – Cabildo
- Cabildo – La Ligua
- La Ligua – Longotoma

5.8.2. Georeferenciación de Fotografías Espaciales

Tabla 35: Proyección de coordenadas geográficas de fotografías espaciales.

Proyección	WGS84			
Huso horario	19			
Fotografía Espacial	UTM		Error Total RMS	Elevación [m]
	X	Y		
Alicahue – Cabildo	323076,83	6423554,74	0,018645	1626
	341586,79	6412332,81		1161
Cabildo - La Ligua	298580,94	6414143,41	0,000966	819
	320648,97	6401720,57		755
La Ligua - Longotoma	272994,89	6415902,66	0,093196	0
	297615,08	6402126,45		236

Fuente: Elaboración propia.

5.8.3. Representación de Variables Discretas en Capas Temáticas

Las fotografías espaciales fueron editadas de manera independiente y en cada una de ellas se identificaron las entidades que representaban a las variables discretas en forma de puntos, líneas y polígonos, que en conjunto a sus atributos cualitativos fueron almacenadas en formato Shapefile (.shp) (Anexo 4).

5.8.4. Reticulado de Capas Temáticas (Variables Discretas)

El geoproceto de reticulado de capas temáticas se realizó con el “Piloto Sextante” integrado de gvSIG1.10. Cada capa temática fue dividida en una grilla de 13 filas por 24 columnas, cada lado representó 1 [Km] de longitud, por lo tanto, cada celda representó una superficie de 100 [ha] (Anexo 5).

5.8.5. Interpolación y Reticulado de Variables Continuas

5.8.5.1. Determinación de Semivarianzas de Variables Continuas

Tabla 36: Semivarianzas $Y(h)$. Sector Alicahue – Cabildo.

Semivarianza $Y(h)$	$h = 1$ [Km]	$h = 5$ [Km]	$h = 10$ [Km]	$h = 15$ [Km]	$h = 20$ [Km]	$h = 25$ [Km]
Temperatura del agua	0,0254	0,1159	0,1871	0,3958	0,5800	0,7200
pH del agua	0,0317	0,0527	0,1376	0,2800	0,4429	0,6725
Oxígeno disuelto en el agua	0,4231	0,6818	1,7647	3,2917	5,5714	8,0000
Caudal necesario	0,0002	0,0005	0,0011	0,0011	0,0008	0,0005

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Semivarianzas $Y(h)$. Sector Cabildo – La Ligua.

Semivarianza $Y(h)$	$h = 1$ [Km]	$h = 5$ [Km]	$h = 10$ [Km]	$h = 15$ [Km]	$h = 20$ [Km]	$h = 25$ [Km]
Temperatura del agua	0,0281	0,0291	0,0435	0,0635	0,0519	0,0005
pH del agua	0,0181	0,0663	0,1565	0,3104	0,3938	0,3367
Oxígeno disuelto en el agua	0,0483	0,1724	0,2079	0,3200	0,5944	1,6633
Caudal necesario	0,0005	0,0006	0,0015	0,0022	0,0030	0,0028

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: Semivarianzas $Y_{(h)}$. Sector La Ligua – Longotoma.

Semivarianza $Y(h)$	$h = 1$ [Km]	$h = 5$ [Km]	$h = 10$ [Km]	$h = 15$ [Km]	$h = 20$ [Km]	$h = 25$ [Km]	$h = 30$ [Km]
Temperatura del agua	0,0163	0,0700	0,1074	0,1353	0,2132	0,2179	0,3200
pH del agua	0,0093	0,0473	0,1698	0,3438	0,6236	0,9693	1,6200
Oxígeno disuelto en el agua	0,1262	0,6915	1,0862	1,1778	1,9332	3,1000	3,6450
Caudal necesario	0,0006	0,0045	0,0073	0,0176	0,0281	0,0442	0,0722

Fuente: Elaboración propia.

5.8.5.2. Elaboración Semivariograma Empírico de Variables Continuas

Los semivariogramas empíricos de cada variable se elaboraron a partir de la gráfica de las semivarianzas “ $Y_{(h)}$ ” versus el intervalo de distancia “ h ” [Km] con la finalidad de conocer una primera aproximación del comportamiento espacial de las variables continuas (Anexo 6).

5.8.5.3. Ajuste Semivarianzas al Modelo Exponencial

Tabla 39: Semivarianzas ajustadas. Sector Alicahue – Cabildo.

Semivarianza Ajustada $Y(h)$	$h = 1$ [Km]	$h = 5$ [Km]	$h = 10$ [Km]	$h = 15$ [Km]	$h = 20$ [Km]	$h = 25$ [Km]
Temperatura del agua	0,1190	0,4710	0,7200	0,8520	0,9210	0,9580
pH del agua	0,1182	0,4670	0,7159	0,8486	0,9193	0,9570
Oxígeno disuelto en el agua	0,1187	0,4682	0,7172	0,8496	0,9200	0,9575
Caudal necesario	0,1187	0,4682	0,7172	0,8496	0,9200	0,9575

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Semivarianzas. Sector Cabildo – La Ligua.

Semivarianza Ajustada $Y(h)$	$h = 1$ [Km]	$h = 5$ [Km]	$h = 10$ [Km]	$h = 15$ [Km]	$h = 20$ [Km]	$h = 25$ [Km]
Temperatura del agua	0,1900	0,6510	0,8780	0,9570	0,9850	0,9950
pH del agua	0,1461	0,5459	0,7938	0,9064	0,9575	0,9807
Oxígeno disuelto en el agua	0,1187	0,4682	0,7172	0,8496	0,9200	0,9575
Caudal necesario	0,1461	0,5459	0,7938	0,9064	0,9575	0,9807

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Semivarianzas ajustadas. Sector La Ligua – Longotoma.

Semivarianza Ajustada Y(h)	h = 1 [Km]	h = 5 [Km]	h = 10 [Km]	h = 15 [Km]	h = 20 [Km]	h = 25 [Km]	h = 30 [Km]
Temperatura del agua	0,1461	0,5459	0,7938	0,9064	0,9575	0,9807	0,9880
pH del agua	0,0999	0,4092	0,6510	0,7938	0,8782	0,9280	0,9450
Oxígeno disuelto en el agua	0,0999	0,4682	0,7172	0,8496	0,9200	0,9575	0,9620
Caudal necesario	0,0999	0,4092	0,6510	0,7938	0,8782	0,9280	0,9450

Fuente: Elaboración propia.

5.8.5.4. Interpolación por Método Kriging

Los parámetros obtenidos en el ajuste de las semivarianzas al modelo exponencial se muestran en las siguientes tablas, mientras que las capas temáticas interpoladas se pueden observar en el Anexo 7.

Tabla 42: Parámetros de interpolación. Sector Alicahue – Cabildo.

Variable	Rango (A_0)	Nugget (C_0)	Sill ($C_0 + C$)
Temperatura del agua	25	0,119	0,958
pH del agua	25	0,118	0,957
Oxígeno disuelto en el agua	25	0,119	0,957
Caudal necesario	25	0,119	0,957

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: Parámetros de interpolación. Sector Cabildo – La Ligua.

Variable	Rango (A_0)	Nugget (C_0)	Sill ($C_0 + C$)
Temperatura del agua	25	0,190	0,995
pH del agua	25	0,146	0,981
Oxígeno disuelto en el agua	25	0,119	0,957
Caudal necesario	25	0,146	0,981

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44: Parámetros de interpolación. Sector La Ligua – Longotoma.

Variable	Rango (A_0)	Nugget (C_0)	Sill ($C_0 + C$)
Temperatura del agua	30	0,146	0,981
pH del agua	30	0,100	0,928
Oxígeno disuelto en el agua	30	0,100	0,958
Caudal necesario	30	0,100	0,928

Fuente: Elaboración propia.

5.8.5.5. Cálculo de Error Espacial de Variables Continuas Interpoladas

Tabla 45: Varianza de la interpolación. Sector Alicahue – Cabildo.

Variable	Varianza (%)
Temperatura del agua	5,23
pH del agua	8,34
Oxígeno disuelto en el agua	4,01
Caudal necesario	1,03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Varianza de la interpolación. Sector Cabildo – La Ligua.

Variable	Varianza (%)
Temperatura del agua	6,63
pH del agua	10,28
Oxígeno disuelto en el agua	9,27
Caudal necesario	0,03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Varianza de la interpolación. La Ligua – Longotoma.

Variable	Varianza (%)
Temperatura del agua	4,23
pH del agua	4,34
Oxígeno disuelto en el agua	2,01
Caudal necesario	0,01

Fuente: Elaboración propia.

5.8.6. Superposición de Capas Temáticas Reticuladas

Las nuevas capas generadas por la superposición de las variables, tanto ambientales como técnicas y de factibilidad, la superposición de éstas se puede ver en el Anexo 8.

5.8.7. Consultas Sobre Capas Temáticas Finales

El set de consultas se realizó a cada una de las capas temáticas finales, las cuales fueron tabuladas y presentadas en el Anexo 9.

5.9. Propuesta de Áreas Potenciales

Las cinco áreas con mayor potencialidad de desarrollar la actividad se muestran en la siguiente tabla (Anexo 10).

Tabla 48: Áreas Potenciales para el cultivo de lisa en la cuenca del río La Ligua.

Lugar	Sector	UTM				PFv	Área [ha]
		Vértice Noreste		Vértice Suroeste			
		X	Y	X	Y		
1	Valle Hermoso	289.992,30	6.410.127,05	290.994,80	6.409.124,55	6,490	100
2	Valle Hermoso	288.992,43	6.410.127,05	289.992,30	6.409.124,55	6,024	100
3	Valle Hermoso	287.989,93	6.410.129,69	288.992,43	6.409.127,19	6,016	100
4	La Viña	323.075,92	6.413.336,59	324.077,79	6.412.334,72	5,767	200
5	La Viña	324.074,36	6.414.331,60	325.076,23	6.413.333,16	5,767	100

Fuente: Elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

La metodología del estudio responde a una adaptación de una serie de publicaciones relacionadas con la localización de proyectos acuícolas, los cuales presentaban patrones y actividades en común al desarrollo del estudio, tales como, definición de objetivos, revisión bibliográfica, identificación de variables, determinación y resolución del área de estudio, sistema de valoración de importancia de las variables, análisis espacial, reglas de decisión, resultados y propuestas. Estos patrones pasaron a formar la columna de la metodología utilizada en el estudio, no obstante, a juicio del autor, debía presentar mayor detalle, sobretodo en el análisis espacial para lograr mayor solidez en los resultados obtenidos, por ello las variables fueron clasificadas por su naturaleza tanto en discretas como en continuas. Aunque generó mayor gasto en tiempo, se ganó mayor precisión en los resultados, factor preponderante para la toma de decisiones.

De las fuentes consultadas para definir los requisitos ambientales y técnicos del cultivo semi – intensivo de lisa, se optó por los presentados por FAO, ya que el resto de la literatura consultada guardaba relación con el manejo de reproductores, fecundación y desarrollo larval, además de cubrir tópicos de alimentación, enfermedades y mejoras genéticas. Mientras que los antecedentes de FAO entregaron parámetros abióticos que sirvieron para definir los requerimientos ambientales, tales como los rangos de tolerancia de temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y factores técnicos como el caudal necesario, áreas de estanques y baches productivos para la especie. No obstante, la escasa información del cultivo y la gran amplitud de los rangos ambientales permitió inferir que existe falta de interés por parte del sector acuícola, o la nula actualización de información del desarrollo del cultivo de lisa.

La identificación y selección de las variables que intervinieron en el estudio se basó en la revisión de la literatura y en las consultas realizadas a los entes expertos relacionados con este tipo de estudios. Por lo que la elección de las variables participantes no fue arbitraria.

El sistema de ponderación de las variables que entraron al estudio en conjunto con la valoración de los factores derivados de éstas, permitió obtener mayor robustez al momento de determinar los pesos de importancia que presentarían las variables al analizarlas en el sistema de información geográfica, traduciéndose en un mejor manejo de los puntajes finales en cada capa temática final.

El análisis espacial mediante el sistema de información geográfica permitió identificar al menos cinco áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo del recurso lisa, tres de los cuales se encuentran en las cercanías de Valle Hermoso en la ciudad de La Ligua y dos en el sector de Alicahue, específicamente en sitio La Viña. A pesar que todas ellas cumplen con los requerimientos ambientales y técnicos del cultivo semi – intensivo de lisa, además de presentar ventajas de localización, la estratificación sólo responde a que existe una leve diferencia en los puntajes finales y no indica que las de menor puntaje final no puedan ser áreas con potencial acuícola.

El hecho de que las variables discretas fueron representadas en formato vectorial y no en raster dio como resultado el no haber ganado mayor precisión, sino que privilegiar las aptitudes de los sitios. Mientras que las variables continuas fueron interpoladas bajo procesos geoestadísticos, con el afán de presentar la máxima realidad al modelo, ya que de haber supuesto a todas las variables como discretas se hubiera ganado tiempo, pero se hubiera cometido el error de suponer que el valor de las continuas no presentaban variabilidad espacial.

El análisis espacial mediante el sistema de información geográfica permitió identificar al menos cinco áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo del recurso Lisa, dando prioridad a los atributos que presentaron las zonas seleccionadas, tales como el tipo de suelo con mayor presencia de arcillas; uso del suelo con preferencias a praderas y terrenos agrícolas, lejanía a RILES correspondientes a compañías mineras; Concentración de Oxígeno disuelto en un rango de 5,8 a 6,2 [mg/l]; pH del agua entre 6,0 y 7,0; Cercanía a plantas de tratamiento con preferencia a 1 [Km] a la redonda; Temperatura del agua en el

rango de 16 a 22 [°C]; Red vial con la mayor cercanía posible (1 [Km]); Caudal necesario entre 0,008 a 0,014 [m³/s]; Cercanía a la red de agua potable lo más cercana posible, lo mismo ocurre con las variables red eléctrica y mano de obra.

El número de geoprocesos que permitieron identificar las áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo de lisa fue mayor al de los estudios consultados, esto porque en la totalidad de ellos dieron como supuesto que todas las variables tenían naturaleza discreta, además de no reticular el área de trabajo, dando como resultado un menor grado de exactitud y de veracidad en el comportamiento de los factores derivados del modelo.

A pesar que el uso de la geoestadística en Chile está orientada al sector minero y forestal, resultó de amplia ayuda el haber insertado esta herramienta en la metodología del estudio, ya que a pesar de ser engorroso, permitió obtener valores interpolados con mayor precisión a los datos obtenidos en el muestreo *In situ*.

El uso del sistema de información geográfica con su herramienta de superposición de las capas temáticas, permitió generar a lo más tres mapas que contenían la información detallada en la base de datos generada al momento de representar las variables discretas en conjunto de las continuas, lo que facilitó las consultas en función de las ventajas y de los requerimientos de los sitios que fueron cubiertos por el estudio.

7. CONCLUSIÓN

El estudio reveló que utilizando una serie de factores y criterios que influyen en la identificación de áreas potenciales para el cultivo semi – intensivo de lisa, en combinación con el sistema de información geográfica, fue posible evaluar, analizar e identificar al menos cinco áreas que cumplen con los requisitos y muestran ventajas para el cultivo comparadas con otras áreas de la cuenca del río La Ligua.

La identificación de las variables que intervienen en un estudio de localización de proyectos acuícolas, surgió de la revisión de varios estudios. Se tomaron las variables con mayor presencia y que eran relevantes en la cuenca del río La Ligua, descartando a aquellas que no contribuían al desarrollo del proyecto, como por ejemplo, efectos en los balnearios cercanos, cercanías a zonas SNASPE, cercanía a zonas arqueológicas protegidas, inundaciones históricas del sector, costo de transporte, etc.

La metodología del estudio en conjunto con el uso del sistema de información geográfica permitió una mayor versatilidad respecto a otros modelos de localización, ya que permitió trabajar con un elevado número de variables.

El modelo permite su utilización, no sólo para el cultivo de peces, sino que para la acuicultura en general y para otros sectores productivos que produzcan bienes o servicios.

REFERENCIAS

- **APEKIN & VILENSKAYA. 1979.** A description of the sexual cycle and the state of the gonads during the spawning migration of the striped mullet, *Mugil cephalus*. Journal of Ichthyology 18:446-456.
- **BEN – TUVIA. 1986.** In P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.) Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean. Volume 3. UNESCO, Paris. Mugilidae. p. 1197-1204.
- **CONAMA. 2000.** Resolución Exenta N° 003/2000. Sobre Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la Ciudad de La Ligua. https://www.e-seia.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=1633 .
- **DGA. 2010.** Solicitud de datos hidrometereológicos de la Dirección General de Aguas (DGA) http://dgasatel.moptt.cl/cons_det_instan.asp.
- **DIAZ & LÓPEZ. 2000.** Evaluación del potencial para acuicultura costera de camarón en el entorno de la laguna de Mar Muerto, mediante la aplicación de técnicas de análisis multicriterio con un SIG. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. N° 41 – 2000.
- **DITTY & SHAW. 1996.** Spatial and temporal distribution of larval striped mullet (*Mugil cephalus*) and white mullet (*M. curema*, Family: Mugilidae) in the northern Gulf of Mexico, with notes on mountain mullet, *Agonostomus monticola*. Bull. Mar. Sci. 59: 271 – 288.

- **ESVAL. 2003.** Saneamiento de los ríos Aconcagua y La Ligua. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS – Chile. Concepción. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile15/aconcagua.pdf>.
- **FAO. 2005.** Topics Fact Sheets. Main cultured species. Rome. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Mugil_cephalus.
- **FISHBASE. 2010.** Catalog of Fishes. <http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?ID=785&genusname=Mugil&speciesname=cephalus&lang=Spanish>.
- **FNDR. 2005 (CD – ROM).** Determinación de áreas potenciales para la Acuicultura, Región del Maule.
- **GALLARDO. 2006.** Geoestadística. Asociación española de ecología terrestre (AEET). Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Ecosistemas 15 (3): 48 - 58. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=431>.
- **HARRISON. 1995.** Mugilidae: Guía FAO para Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. (3). Roma. p. 1293-1298.
- **HARRISON & SENOU. 1999.** Order Mugiliformes. Mugilidae. Mulletts. Guía FAO para la identificación de especies para propósitos pesqueros. Vol. (4), Roma. pp. 2069 –2108. FAO.
- **IGM. 2003.** Atlas geográfico para la educación. Instituto Geográfico Militar. pp.132 - 137.

- **INCODER. 2005.** Manual Técnico en Piscicultura. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Subgerencia de Pesca y Acuicultura. Grupo Ordenamiento. pp 19 – 20.
- **JHINGRAN & GOPALAKRISHNAN 1974.** A catalogue of cultivated aquatic organisms. FAO Fish. Tech. Pap. 130:83 p.
- **KEITH. 2001.** Atlas des poissons d'eau douce de France. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. Patrimoines naturels, 47:1-387.
- **LINNAEUS. 1758.** Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordinus, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. 824 p.
- **MEADEN & KAPETSKY. 1992.** Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura. Documento técnico de pesca N°318 Roma, FAO. 266 p.
- **MOP. 2004.** Diagnóstico y clasificación de los cursos de agua según objetivos de calidad: La cuenca de La Ligua. http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_LaLigua.pdf.
- **NATH, S. 2000.** Applications of Geographical information systems (GIS) for spatial decision support in acuicultura. Elsevier, Aquacultural Engineering, p. 233 : 278.
- **OREN. 1981.** Aquaculture of grey mullets. (International Biological Programme No. 26). Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra. P. 507.

- **PEREZ. 2006.** Optimización de La acuicultura marina de jaulas flotantes en Tenerife, Islas Canarias, mediante El uso de modelos basados en Sistemas de información geográfica. INSEMAR, España e Institute of Aquaculture, University of Stirling. Escocia. Http://aqua.stir.ac.uk/GISAP//pdfs/Optim_Tenerife.pdf
- **RIEDE 2004.** Global register of migratory species - from global to regional scales. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany. P. 329.
- **SANTIAGO. 2005.** Fundamentos de ArGIS versión Arc View 9.2. Tutorial de Lecturas. Área de Tecnologías de Información Gubernamental. Oficina de Gerencia y Presupuesto. Madrid, España. p 1021.
- **SERNAPESCA. 2010.** Anuarios estadísticos de pesca. http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=startdown&id=5098.
- **SIGMUR. 2006.** Sistemas de información geográfica de la licenciatura de ciencias ambientales e introducción a los sistemas de información geográfica de la licenciatura de geografía. Universidad de Murcia. España. p 99 : 126. http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_6.pdf
- **SILVA de. 1980.** Biology of grey mullet: a short review. Aquaculture 19 : 21 – 36.
- **ZUNINO. 2009.** Comunidades de peces en desembocaduras de ríos y esteros de la Región de Valparaíso, Chile Central. Revista de Biología Marina y Oceanografía 44 (1) pp 123 – 130.

- **ZÚÑIGA. 2006.** Un modelo para la localización óptima de cultivos acuícolas en estanques: El caso de la Región de Atacama – Chile. Universidad Católica del Norte, Escuela de Ingeniería Comercial.

ANEXOS

ANEXO 1: PUNTAJE FINAL DE LAS VARIABLES

Tabla i: Puntaje final de variables en sector Alicahue – Cabildo.

Variable: Tipo_suelo	PE	VA	PFv
mollisol	0,072	8	0,576
inceptisol	0,072	6	0,432
macizo_cordillerano	0,072	1	0,072
Variable: Uso_suelo	PE	VA	PFv
praderas	0,051	8	0,408
áreas sin vegetación	0,051	5	0,255
terrenos agrícolas	0,051	5	0,255
bosque nativo mixto	0,051	1	0,051
plantaciones forestales	0,051	1	0,051
Variable: Oxígeno_d	PE	VA	PFv
5,8 a 6,2	0,113	8	0,904
5,4 a 5,8	0,113	6	0,678
5,0 a 5,4	0,113	4	0,452
mayor a 6,2	0,113	3	0,339
menor a 5,0	0,113	1	0,113
Variable: pH	PE	VA	PFv
6,0 a 7,0	0,113	8	0,904
5,0 a 6,0	0,113	4	0,452
mayor a 7,0	0,113	2	0,226
menor a 5,0	0,113	1	0,113
Variable: Temperatura	PE	VA	PFv
16 a 22	0,123	8	0,984
10 a 16	0,123	7	0,861
22 a 28	0,123	7	0,861
menor a 10	0,123	1	0,123
mayor a 28	0,123	1	0,123

Variable: Red_vial	PE	VA	PFv
buffer menor a 1	0,038	8	0,304
buffer 1 a 3	0,038	7	0,266
buffer 3 a 5	0,038	4	0,152
buffer mayor a 5	0,038	1	0,038
Variable: Caudal	PE	VA	PFv
0,008 a 0,014	0,102	8	0,816
mayor a 0,014	0,102	6	0,612
0,002 a 0,008	0,102	4	0,408
menor a 0,002	0,102	1	0,102
Variable: Agua_potable	PE	VA	PFv
buffer menor a 1	0,076	8	0,608
buffer 1 a 3	0,076	7	0,532
buffer 3 a 5	0,076	4	0,304
buffer mayor a 5	0,076	2	0,152
Variable: Red_eléctrica	PE	VA	PFv
buffer menor a 1	0,064	8	0,512
buffer 1 a 3	0,064	7	0,448
buffer 3 a 5	0,064	4	0,256
buffer mayor a 5	0,064	1	0,064
Variable: Mano_obra	PE	VA	PFv
buffer menor a 1	0,102	8	0,816
buffer 1 a 3	0,102	6	0,612
buffer 3 a 5	0,102	4	0,408
buffer mayor a 5	0,102	3	0,306

Fuente: Elaboración propia.

Tabla ii: Puntaje final de variables en sector Cabildo – La Ligua.

Variable: Tipo suelo	PE	VA	PFv	Variable: Red vial	PE	VA	PFv
mollisol	0,072	8	0,576	buffer menor a 1	0,038	8	0,304
macizo_cordillerano	0,072	1	0,072	buffer 1 a 3	0,038	7	0,266
Variable: Uso suelo	PE	VA	PFv	buffer 3 a 5	0,038	4	0,152
praderas	0,05	8	0,408	buffer mayor a 5	0,038	1	0,038
áreas_sin vegetación	0,051	5	0,255	Variable: Caudal	PE	VA	PFv
terrenos_agrícolas	0,051	5	0,255	0,008 a 0,014	0,102	8	0,816
asentamiento_humano	0,051	4	0,204	mayor a 0,014	0,102	6	0,612
bosque_nativo_mixto	0,051	1	0,051	0,002 a 0,008	0,102	4	0,408
plantaciones_forestales	0,051	1	0,051	menor a 0,002	0,102	1	0,102
áreas_mineras	0,05	1	0,051	Variable: Agua potable	PE	VA	PFv
Variable: Cía minera	PE	VA	PFv	buffer menor a 1	0,076	8	0,608
buffer mayor a 5	0,072	5	0,36	buffer 1 a 3	0,076	7	0,532
buffer 3 a 5	0,072	3	0,216	buffer 3 a 5	0,076	4	0,304
buffer 1 a 3	0,072	2	0,144	buffer mayor a 5	0,076	2	0,152
buffer menor a 1	0,072	1	0,072	Variable: Red eléctrica	PE	VA	PFv
Variable: Oxígeno d	PE	VA	PFv	buffer menor a 1	0,064	8	0,512
5,8 a 6,2	0,113	8	0,904	buffer 1 a 3	0,064	7	0,448
5,4 a 5,8	0,113	6	0,678	buffer 3 a 5	0,064	4	0,256
5,0 a 5,4	0,113	4	0,452	buffer mayor a 5	0,064	1	0,064
mayor a 6,2	0,113	3	0,339	Variable: Mano obra	PE	VA	PFv
menor a 5,0	0,11	1	0,113	buffer menor a 1	0,102	8	0,816
Variable: pH	PE	VA	PFv	buffer 1 a 3	0,1	6	0,61
6,0 a 7,0	0,113	8	0,904	buffer 3 a 5	0,102	4	0,408
5,0 a 6,0	0,113	4	0,452	buffer mayor a 5	0,102	3	0,306
mayor a 7,0	0,113	2	0,226				
menor a 5,0	0,113	1	0,113				
Variable: Planta trat	PE	VA	PFv				
buffer menor a 1	0,07	8	0,576				
buffer 1 a 3	0,07	7	0,504				
buffer 3 a 5	0,07	4	0,288				
buffer mayor a 5	0,07	1	0,072				
Variable: Temperatura	PE	VA	PFv				
16 a 22	0,12	8	0,984				
10 a 16	0,12	7	0,861				
22 a 28	0,12	7	0,861				
menor a 10	0,12	1	0,123				
mayor a 28	0,12	1	0,123				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla iii: Puntaje final de variables en sector La Ligua – Longotoma.

Variable: Tipo suelo	PE	VA	PFv	Variable: Red vial	PE	VA	PFv
mollisol	0,072	8	0,576	buffer menor a 1	0,038	8	0,304
alfisol	0,072	7	0,504	buffer 1 a 3	0,038	7	0,266
macizo_cordillerano	0,072	1	0,072	buffer 3 a 5	0,038	4	0,152
dunas	0,072	1	0,072	buffer mayor a 5	0,038	1	0,038
Variable: Uso suelo	PE	VA	PFv	Variable: Caudal	PE	VA	PFv
praderas	0,051	8	0,408	0,008 a 0,014	0,102	8	0,816
áreas_sin_vegetación	0,051	5	0,255	mayor a 0,014	0,102	6	0,612
asentamiento_humano	0,051	4	0,204	0,002 a 0,008	0,102	4	0,408
bosque_nativo_mixto	0,051	1	0,051	menor a 0,002	0,102	1	0,102
Variable: Cía_minera	PE	VA	PFv	Variable: Agua_potable	PE	VA	PFv
buffer mayor a 5	0,072	5	0,36	buffer menor a 1	0,076	8	0,608
buffer 3 a 5	0,072	3	0,216	buffer 1 a 3	0,076	7	0,532
buffer 1 a 3	0,072	2	0,144	buffer 3 a 5	0,076	4	0,304
buffer menor a 1	0,072	1	0,072	buffer mayor a 5	0,076	2	0,152
Variable: Oxígeno d	PE	VA	PFv	Variable: Red eléctrica	PE	VA	PFv
5,8 a 6,2	0,113	8	0,904	buffer menor a 1	0,064	8	0,512
5,4 a 5,8	0,113	6	0,678	buffer 1 a 3	0,064	7	0,448
5,0 a 5,4	0,113	4	0,452	buffer 3 a 5	0,064	4	0,256
mayor a 6,2	0,113	3	0,339	buffer mayor a 5	0,064	1	0,064
menor a 5,0	0,113	1	0,113	Variable: Mano obra	PE	VA	PFv
Variable: pH	PE	VA	PFv	buffer menor a 1	0,102	8	0,816
6,0 a 7,0	0,113	8	0,904	buffer 1 a 3	0,102	6	0,612
5,0 a 6,0	0,113	4	0,452	buffer 3 a 5	0,102	4	0,408
mayor a 7,0	0,113	4	0,452	buffer mayor a 5	0,102	3	0,306
menor a 5,0	0,113	1	0,113				
Variable: Planta trat	PE	VA	PFv				
buffer menor a 1	0,072	8	0,576				
buffer 1 a 3	0,072	7	0,504				
buffer 3 a 5	0,072	4	0,288				
buffer mayor a 5	0,072	1	0,072				
Variable: Temperatura	PE	VA	PFv				
16 a 22	0,123	8	0,984				
10 a 16	0,123	7	0,861				
22 a 28	0,123	7	0,861				
menor a 10	0,123	1	0,123				

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2: MUESTREO: CALIDAD DEL AGUA.

Tabla iv: Registro de variables.

Muestreo	UTM		Temperatura del agua [°C]	pH del agua	Oxígeno disuelto en el agua [mg/l]	Caudal [m ³ /s]
	X	Y				
Punto Cero	341529,40	6422746,89	8,80	6,50	11,00	0,13
1	340599,62	6422294,39	8,80	6,50	11,00	0,14
2	339762,81	6421959,67	8,90	7,00	9,00	0,12
3	339093,37	6421624,95	9,00	6,70	10,00	0,15
4	338361,94	6421463,79	9,00	6,50	9,00	0,11
5	337568,53	6421271,63	9,30	6,60	11,00	0,12
6	336799,91	6420955,51	9,40	6,50	11,00	0,12
7	336111,87	6420750,96	9,50	6,50	10,00	0,11
8	335411,44	6420986,50	9,70	6,70	8,00	0,11
9	335076,72	6420298,46	9,40	6,20	8,00	0,11
10	334853,57	6419486,45	9,50	6,60	8,00	0,11
11	334097,35	6419139,34	9,10	6,30	9,00	0,11
12	333148,97	6419219,92	9,10	6,20	8,00	0,11
13	332287,37	6419263,31	9,40	6,30	7,00	0,10
14	331686,11	6418618,66	9,50	6,40	7,00	0,10
15	331010,47	6418023,60	9,80	5,90	8,00	0,10
16	330204,66	6417620,69	10,00	6,00	8,00	0,11
17	329485,63	6417174,40	10,20	6,10	8,00	0,10
18	328717,01	6416814,88	9,80	6,10	7,00	0,16
19	328177,74	6416133,04	10,20	6,00	7,00	0,18
20	327415,32	6415866,50	10,00	5,90	7,00	0,16
21	326671,49	6415519,39	10,30	5,80	7,00	0,14
22	325964,86	6414874,74	10,30	6,10	7,00	0,14
23	325549,56	6414000,74	9,90	5,90	7,00	0,19
24	324625,97	6413678,42	9,90	5,50	8,00	0,17
25	323776,77	6413108,15	10,00	5,50	7,00	0,17
26	323088,73	6412376,73	10,00	5,20	7,00	0,16
27	341529,40	6422746,89	10,80	5,90	6,00	0,35
28	340599,62	6422294,39	10,60	5,60	6,00	0,33
29	319527,26	6411441,56	10,60	5,00	6,00	0,33
30	318539,94	6411346,11	11,10	5,00	6,00	0,33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla v: Registro de variables (Continuación I).

Muestreo	UTM		Temperatura del agua [°C]	pH del agua	Oxígeno disuelto en el agua [mg/l]	Caudal [m ³ /s]
	X	Y				
31	317801,45	6410761,82	11,10	5,00	6,00	0,33
32	316925,39	6410481,35	10,90	5,10	5,70	0,35
33	315964,90	6410240,48	10,80	5,20	5,90	0,36
34	315015,19	6410391,61	10,90	5,50	5,40	0,34
35	314071,00	6410721,55	10,80	5,50	5,50	0,38
36	313099,36	6410763,95	10,60	5,40	5,80	0,35
37	312067,16	6410625,94	10,80	5,50	5,60	0,30
38	311151,01	6410540,93	11,00	5,60	5,40	0,35
39	310145,07	6410209,05	11,30	5,60	5,10	0,33
40	309415,45	6410990,38	11,00	5,80	5,50	0,38
41	308399,00	6411358,65	11,10	5,80	5,30	0,42
42	307446,01	6411448,31	11,10	5,60	5,10	0,38
43	306415,77	6411177,37	11,00	5,90	5,20	0,35
44	305544,46	6410851,57	11,30	6,10	5,10	0,36
45	304620,13	6410429,31	11,10	6,20	5,40	0,39
46	303932,56	6409677,73	11,00	6,10	5,30	0,41
47	303006,82	6409012,96	11,20	6,00	5,10	0,42
48	302389,50	6408277,71	10,70	6,20	5,80	0,40
49	301972,82	6407415,78	11,20	6,10	5,50	0,42
50	301493,66	6406585,46	11,10	5,90	4,90	0,39
51	301041,86	6405744,53	11,20	6,00	5,20	0,45
52	300458,63	6405045,83	11,30	6,20	4,50	0,40
53	299603,09	6404488,10	11,00	6,30	4,30	0,41
54	298863,30	6403842,68	11,20	6,20	3,80	0,42
55	295312,79	6404385,83	11,00	6,30	2,80	0,40
56	295253,76	6405334,70	10,90	6,40	2,80	0,41
57	294689,59	6406109,75	10,80	6,00	3,10	0,42
58	293856,24	6406550,56	10,90	5,90	2,90	0,43
59	293085,82	6407223,88	10,80	6,10	3,00	0,44
60	293085,82	6407223,88	11,20	6,10	3,00	0,46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla vi: Registro de variables (Continuación II).

Muestreo	UTM		Temperatura del agua [°C]	pH del agua	Oxígeno disuelto en el agua [mg/l]	Caudal [m ³ /s]
	X	Y				
61	292394,71	6407992,05	11,60	5,90	3,30	0,61
62	291506,69	6408448,93	11,90	5,80	5,70	0,64
63	290581,11	6408886,44	11,60	5,80	5,90	0,57
64	289606,00	6408474,31	11,60	5,70	5,40	0,56
65	288703,32	6408524,87	11,70	5,70	5,50	0,50
66	287718,44	6408595,36	11,70	5,60	5,80	0,51
67	286818,58	6408594,61	11,80	5,50	5,60	0,52
68	285913,47	6408533,64	11,70	5,60	5,40	0,57
69	284981,26	6408105,62	11,80	5,40	5,10	0,60
70	284165,13	6408333,45	11,80	5,40	5,50	0,61
71	283446,30	6408255,58	11,70	5,40	5,30	0,62
72	282700,80	6407969,34	11,60	5,30	5,10	0,63
73	281984,35	6408049,24	11,70	5,20	5,20	0,65
74	281070,15	6408478,66	11,80	5,20	5,10	0,66
75	280110,72	6408140,12	11,70	5,40	5,40	0,67
76	279277,68	6408488,97	11,80	5,10	5,30	0,68
77	278537,90	6408917,03	11,70	5,00	5,10	0,69
78	277722,19	6409529,07	11,80	5,00	5,80	0,70
79	277067,54	6410304,80	11,90	4,90	5,50	0,71
80	276431,90	6410000,34	11,60	4,80	5,40	0,72
81	275610,70	6410318,79	11,50	4,80	5,50	0,73
82	274779,50	6410856,08	11,30	4,70	5,40	0,75
83	273971,56	6411477,54	11,70	4,70	5,50	0,76
84	273390,87	6411175,12	11,70	4,60	5,50	0,77
Punto Final	272891,51	6411410,72	11,80	4,50	5,50	0,78

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3: DIVISIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO LA LIGUA.



Figura i: Fotografía espacial cuenca río La Ligua. Sector Alicahue – Cabildo.
Fuente: Elaboración propia.



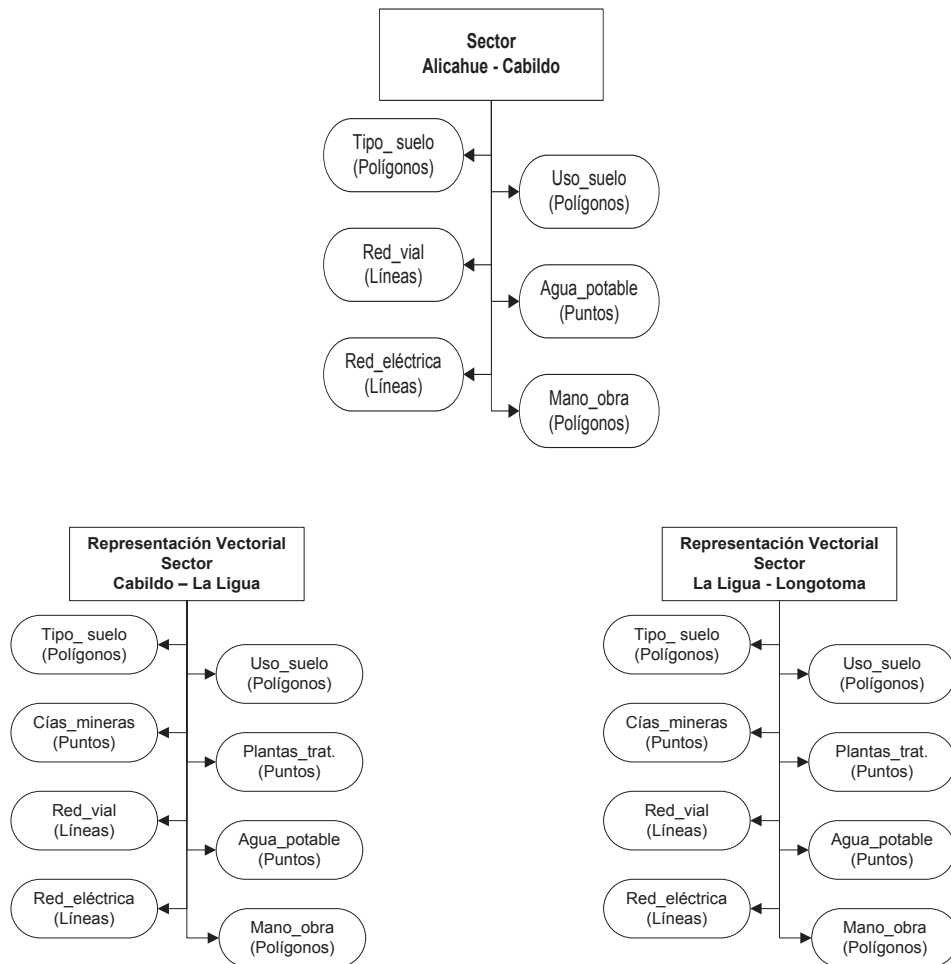
Figura ii: Fotografía espacial cuenca río La Ligua. Sector Cabildo – La Ligua.
Fuente: Elaboración propia.



Figura iii: Fotografía espacial cuenca río La Ligua. Sector La Ligua - Longotoma.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4: REPRESENTACIÓN DE VARIABLES DISCRETAS EN CAPAS TEMÁTICAS

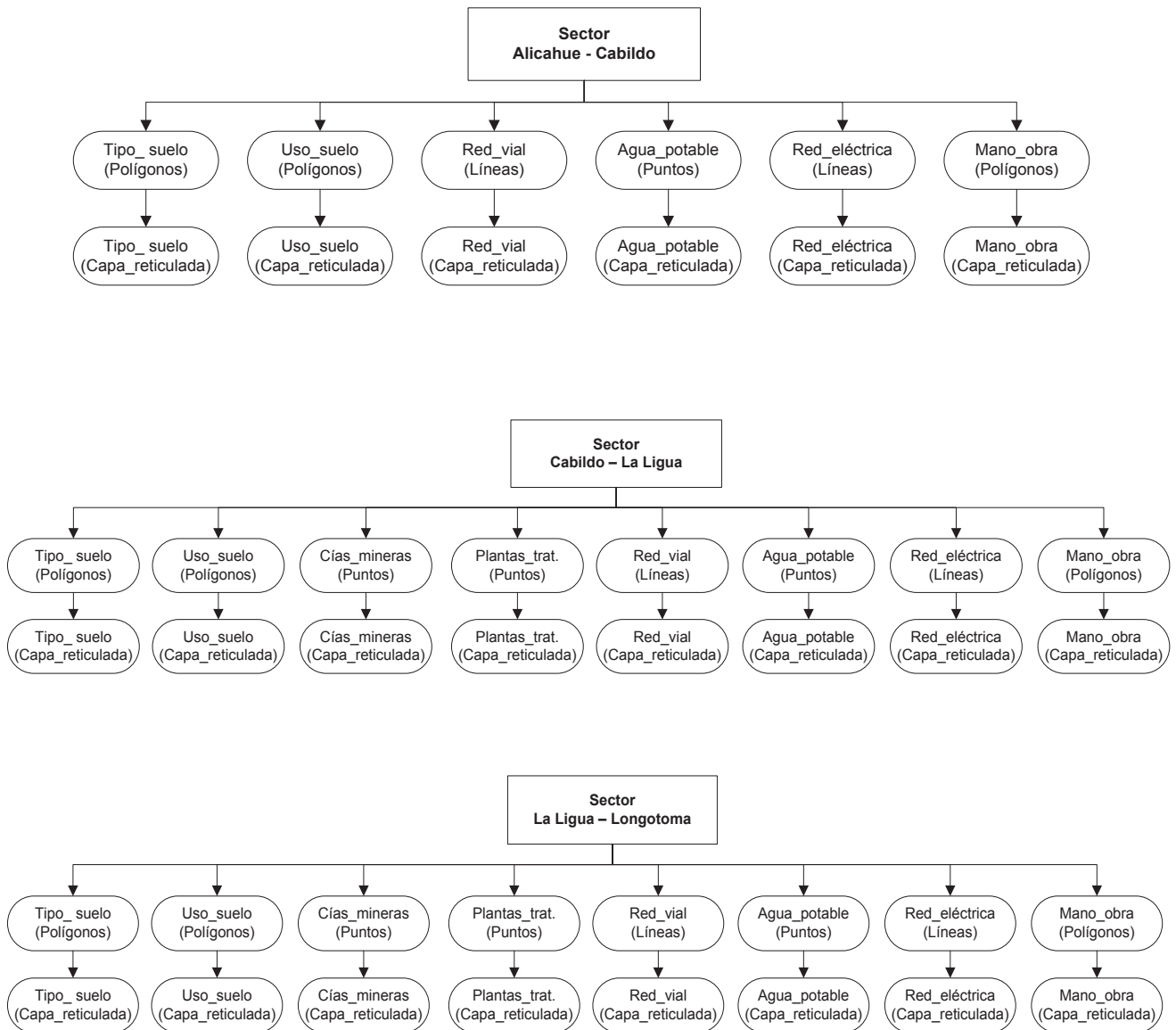
Figura iv: Representación de variables discretas.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 5: RETICULADO DE CAPAS TEMÁTICAS (VARIABLES DISCRETAS).

Figura vii: Reticulado de variables discretas.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6: SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO DE VARIABLES CONTINUAS.

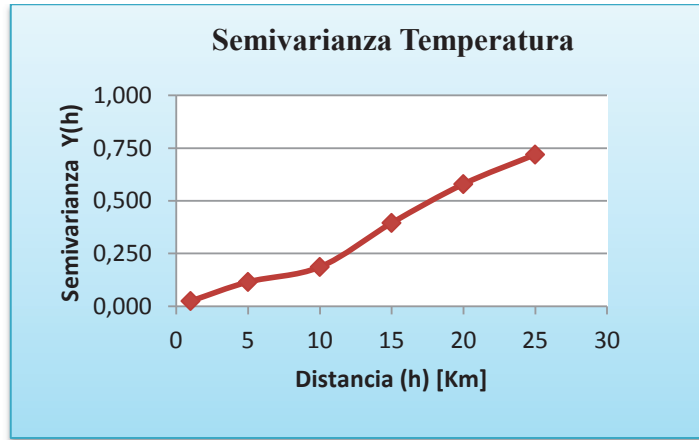


Figura x: Semivariograma temperatura del agua. Sector Alicahue – Cabildo.
Fuente: Elaboración propia.

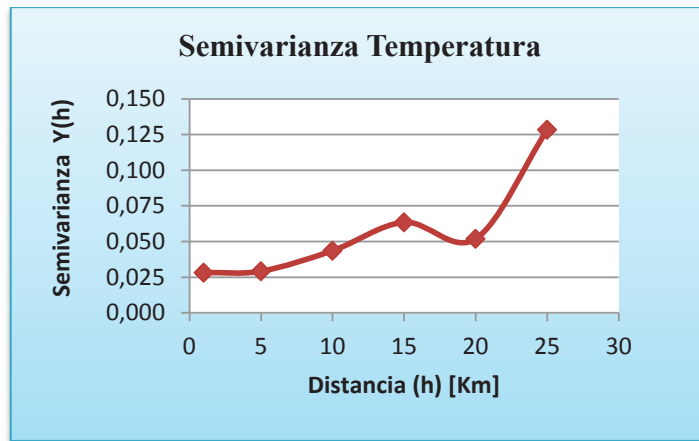


Figura xi: Semivariograma temperatura del agua. Sector Cabildo – La Ligua.
Fuente: Elaboración propia.

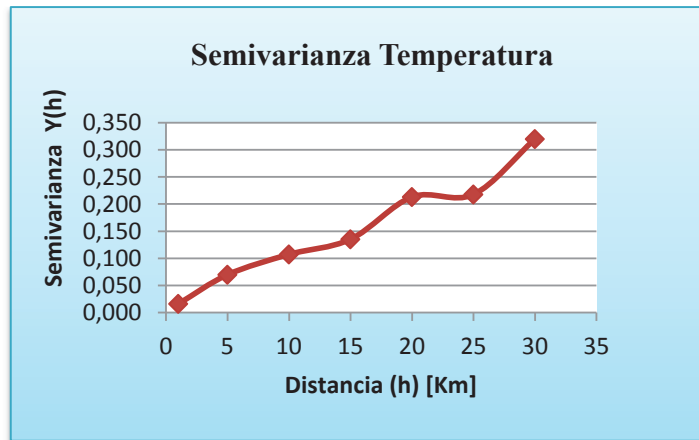


Figura xii: Semivariograma temperatura del agua. Sector La Ligua - Longotoma.
Fuente: Elaboración propia.

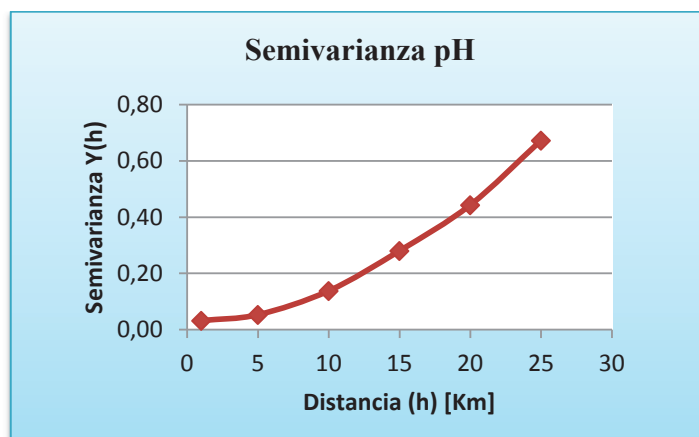


Figura xiii: Semivariograma pH del agua. Sector Alicahue – Cabildo.
Fuente: Elaboración propia.

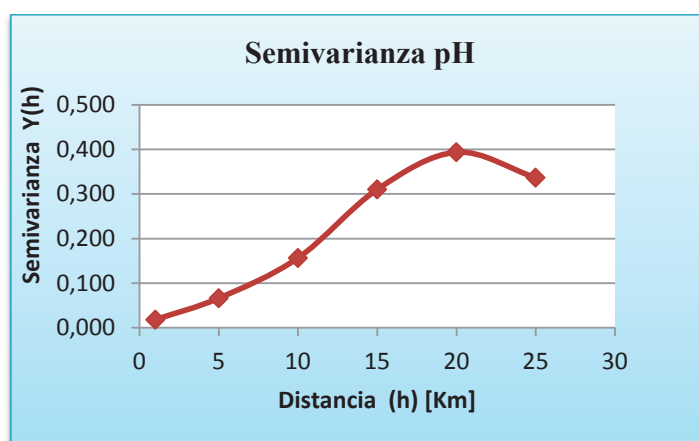


Figura xiv: Semivariograma pH del agua. Sector Cabildo – La Liga.
Fuente: Elaboración propia.

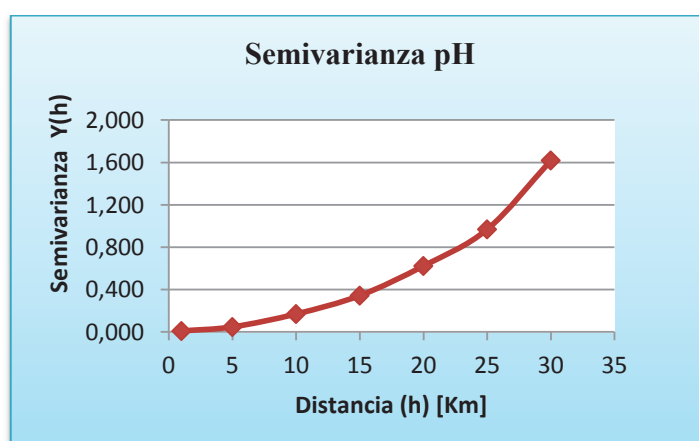


Figura xv: Semivariograma pH del agua. Sector La Liga - Longotoma.
Fuente: Elaboración propia.

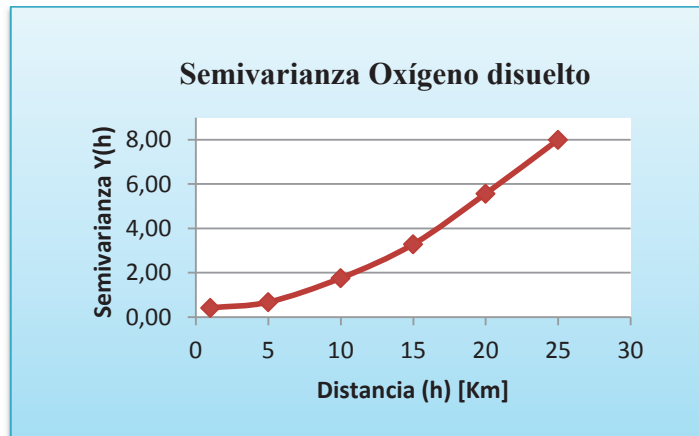


Figura xvi: Semivariograma Oxígeno disuelto en el agua. Sector Alicahue – Cabildo.
Fuente: Elaboración propia.

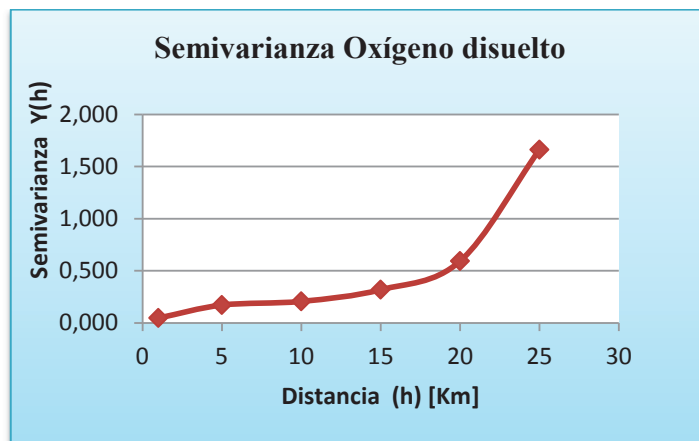


Figura xvii: Semivariograma Oxígeno disuelto en el agua. Sector Cabildo – La Ligua.
Fuente: Elaboración propia.

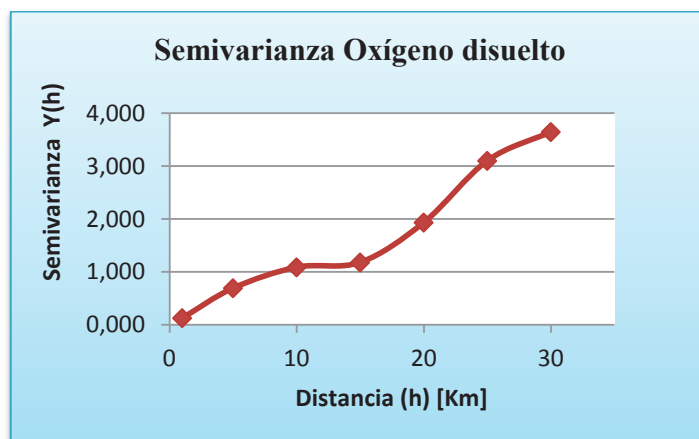


Figura xviii: Semivariograma Oxígeno disuelto en el agua. Sector La Ligua - Longotoma.
Fuente: Elaboración propia.

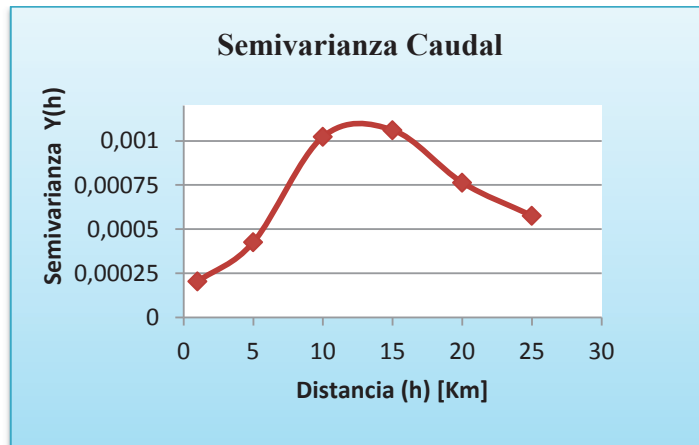


Figura xix: Semivariograma caudal necesario. Estación Alicahue – Cabildo.
Fuente: Elaboración propia.

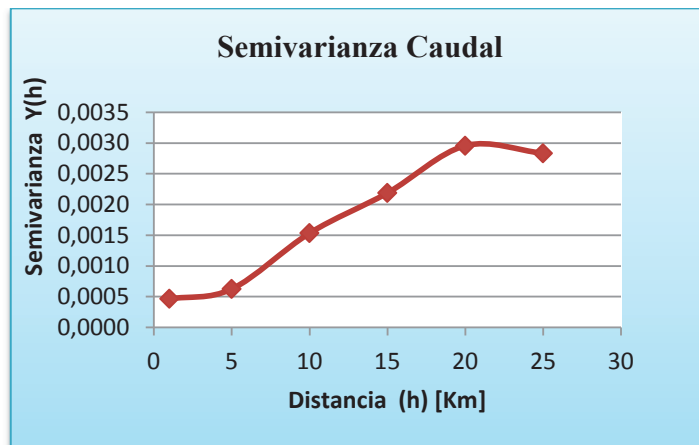


Figura xx: Semivariograma caudal necesario. Estación Cabildo – La Ligua.
Fuente: Elaboración propia.

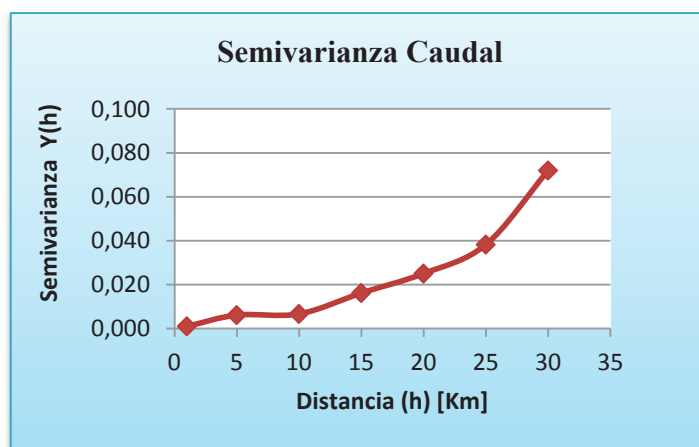


Figura xxi: Semivariograma caudal necesario. Sector La Ligua - Longotoma.
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7: VARIABLES CONTINUAS INTERPOLADAS Y RETICULADAS.

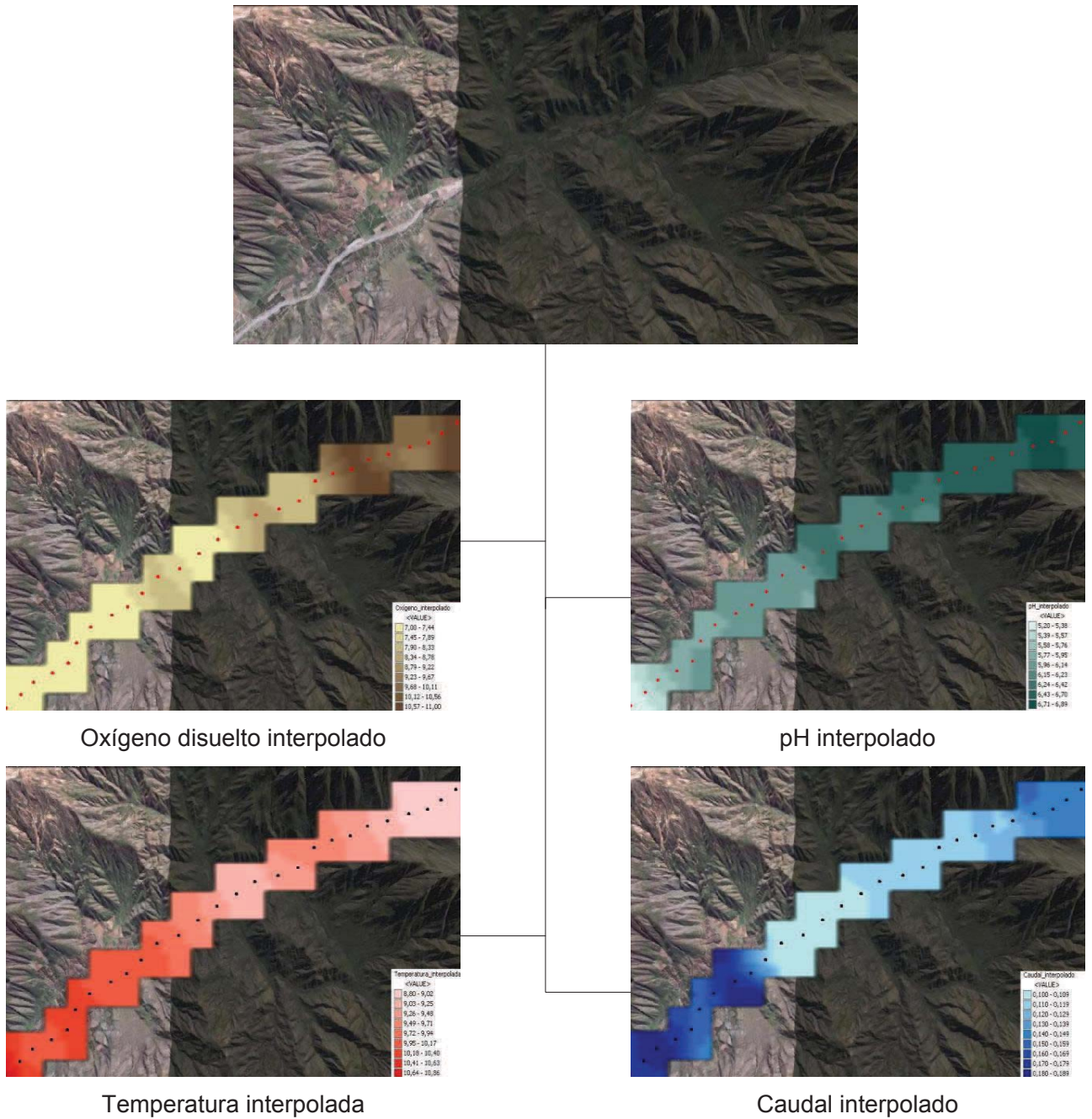
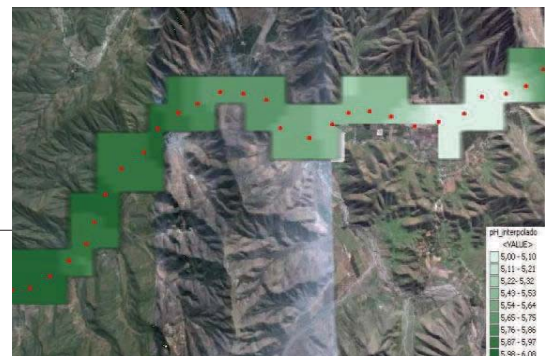


Figura xxii: Variables continuas interpoladas y reticuladas. Sector Alicahue – Cabildo.

Fuente: Elaboración propia.



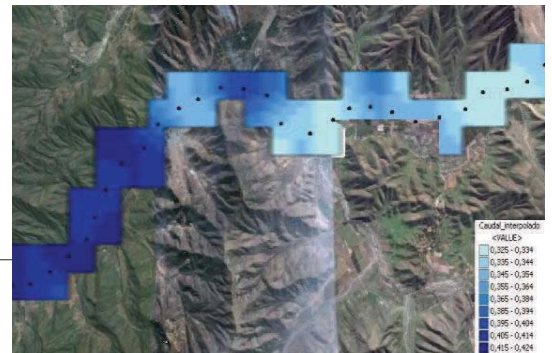
Oxígeno disuelto interpolado



pH interpolado



Temperatura interpolada



Caudal interpolado

Figura xxiii: Variables continuas interpoladas y reticuladas. Sector Cabildo – La Ligua.

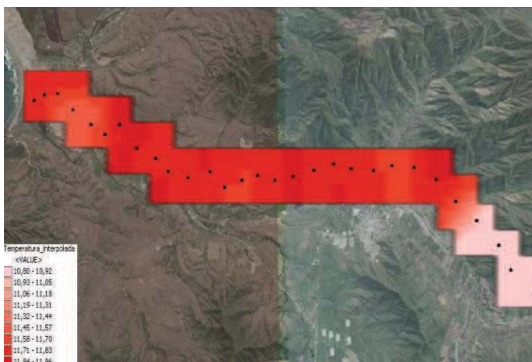
Fuente: Elaboración propia.



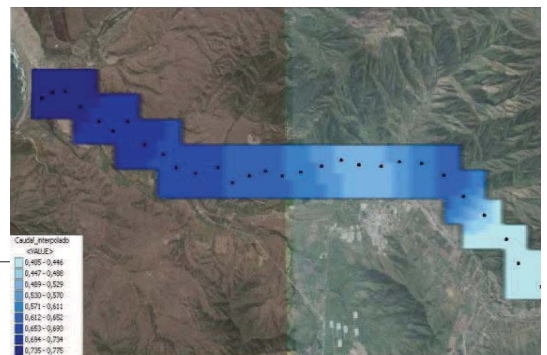
Oxígeno disuelto interpolado



pH interpolado



Temperatura interpolada



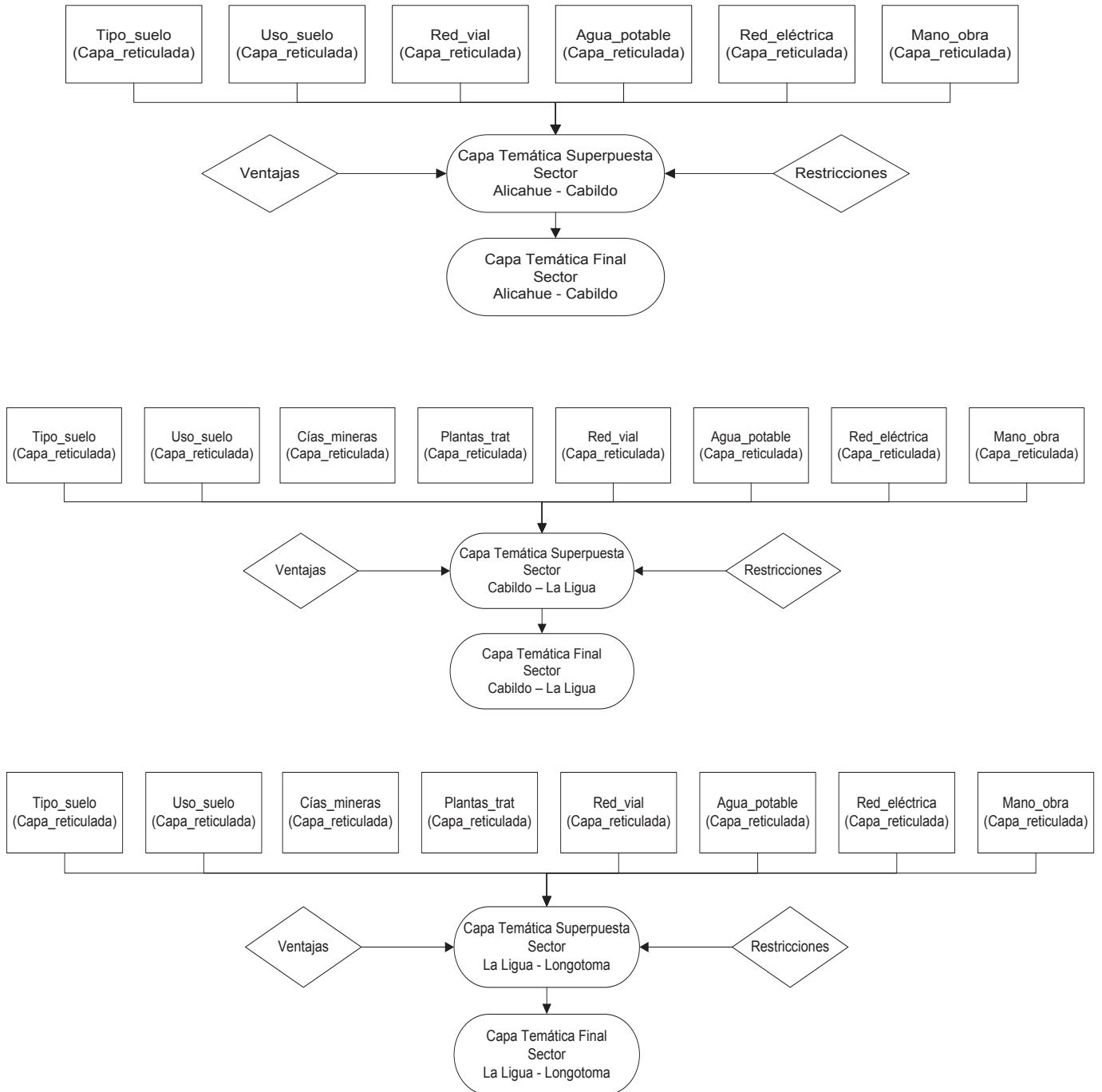
Caudal interpolado

Figura xxiv: Variables continuas interpoladas y reticuladas. Sector La Liga – Longotoma.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8: SUPERPOSICIÓN DE CAPAS TEMÁTICAS RETICULADAS

Figura xxv: Capas temáticas reticuladas superpuestas.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 9: CONSULTAS SOBRE CAPAS TEMÁTICAS FINALES.

Tabla vii: Set de consulta en sector Alicahue – Cabildo.

Variable	Consulta
Tipo de suelo	Tipo suelo = Mollisol \geq Inceptisol
Uso de Suelo	Uso suelo = Praderas \geq Áreas sin vegetación \geq Terrenos agrícolas
Oxígeno disuelto en el agua	$O_2 = (5,8 - 6,2) \geq (5,4 - 5,8) \geq (5,0 - 5,4)$ [mg/l]
pH del agua	$pH = (6,0 - 7,0) \geq (5,0 - 6,0)$
Temperatura del agua	Temperatura = $(16 - 22) \geq (10 - 16) \geq (22 - 28)$ [°C]
Accesibilidad a red vial	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Caudal necesario	Caudal = $(0,008 - 0,014)$; (Mayor a 0,014) [m ³ /s]
Disponibilidad a agua potable	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Cercanía a red eléctrica	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Disponibilidad de mano de obra	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla viii: Set de consulta en sector Cabildo – La Ligua.

Variable	Consulta
Tipo suelo	Tipo suelo = Mollisol
Uso suelo	Uso suelo = Praderas Terrenos agrícolas \geq Asentamiento humano
Cía. minera	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Oxígeno disuelto	$O_2 = (5,8 - 6,2) \geq (5,4 - 5,8) \geq (5,0 - 5,4)$ [mg/l]
pH	pH = $(6,0 - 7,0) \geq (5,0 - 6,0)$
Planta tratamiento	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Temperatura	Temperatura = $(16 - 22) \geq (10 - 16) \geq (22 - 28)$ [°C]
Red vial	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Caudal	Caudal = $(0,008 - 0,014) \geq$ (Mayor a 0,014) [m ³ /s]
Agua potable	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Red eléctrica	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Mano obra	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla ix: Set de consulta en sector La Ligua - Longotoma.

Variable	Consulta
Tipo suelo	Tipo suelo = Mollisol \geq Alfisol
Uso suelo	Uso suelo = Praderas \geq Terrenos agrícolas
Cía. minera	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Oxígeno disuelto	$O_2 = (5,8 - 6,2) \geq (5,4 - 5,8) \geq (5,0 - 5,4)$ [mg/l]
pH	pH = $(6,0 - 7,0) \geq (5,0 - 6,0)$
Planta tratamiento	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Temperatura	Temperatura = $(16 - 22) \geq (10 - 16) \geq (22 - 28)$ [°C]
Red vial	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Caudal	Caudal = $(0,008 - 0,014) \geq$ (Mayor a 0,014) [m ³ /s]
Agua potable	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]
Red eléctrica	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]]
Mano obra	Crear (Buffer = 1) ; (Buffer = 3) ; (Buffer = 5) [Km]

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10: ÁREAS IDENTIFICADAS PARA EL CULTIVO DE LISA EN LA CUENCA DEL RÍO LA LIGUA.

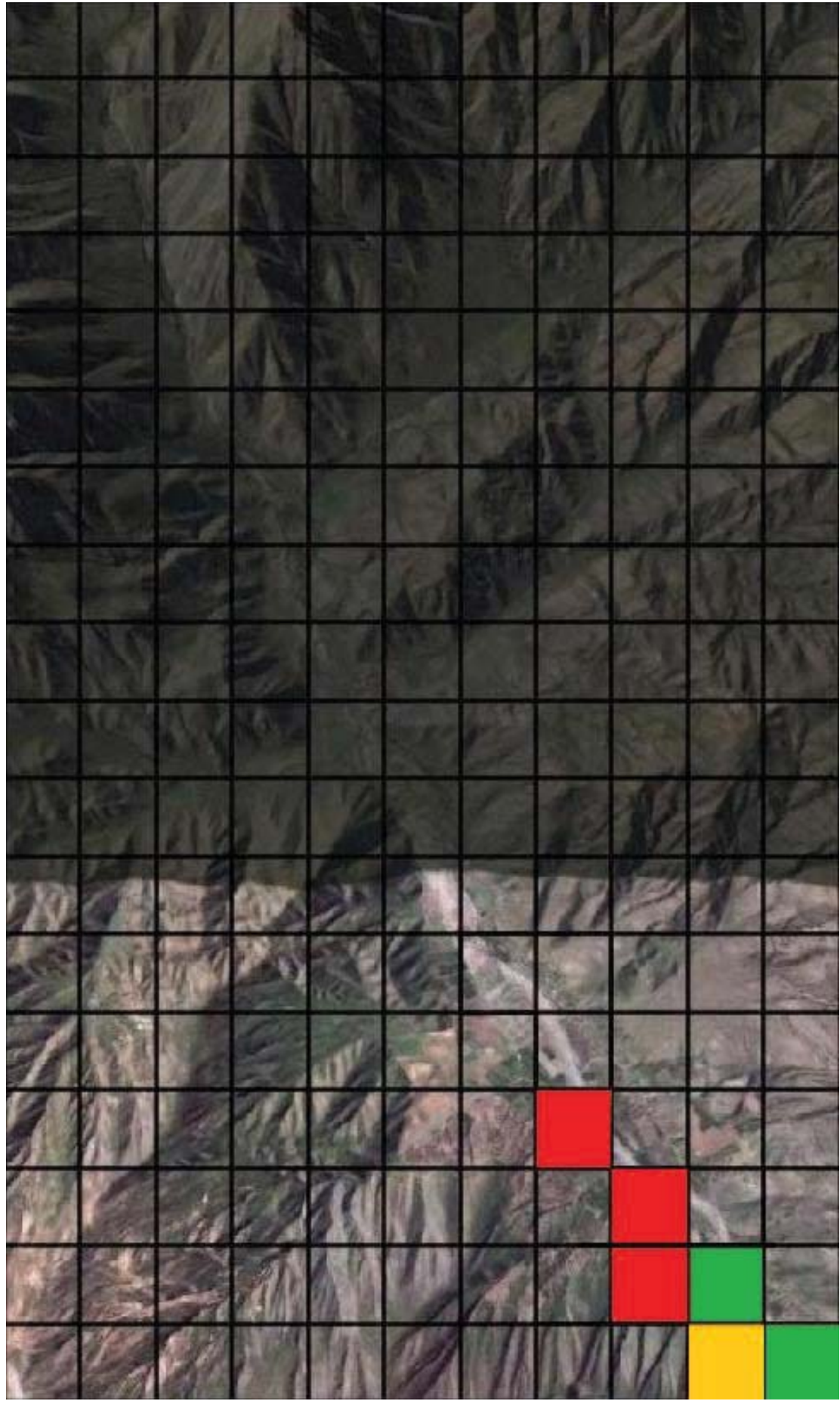
Areas Potenciales Sector Alicahue - Cabildo



Proyección: WGS84

Huso Horario: 19

Fecha Mapa: Octubre 2011

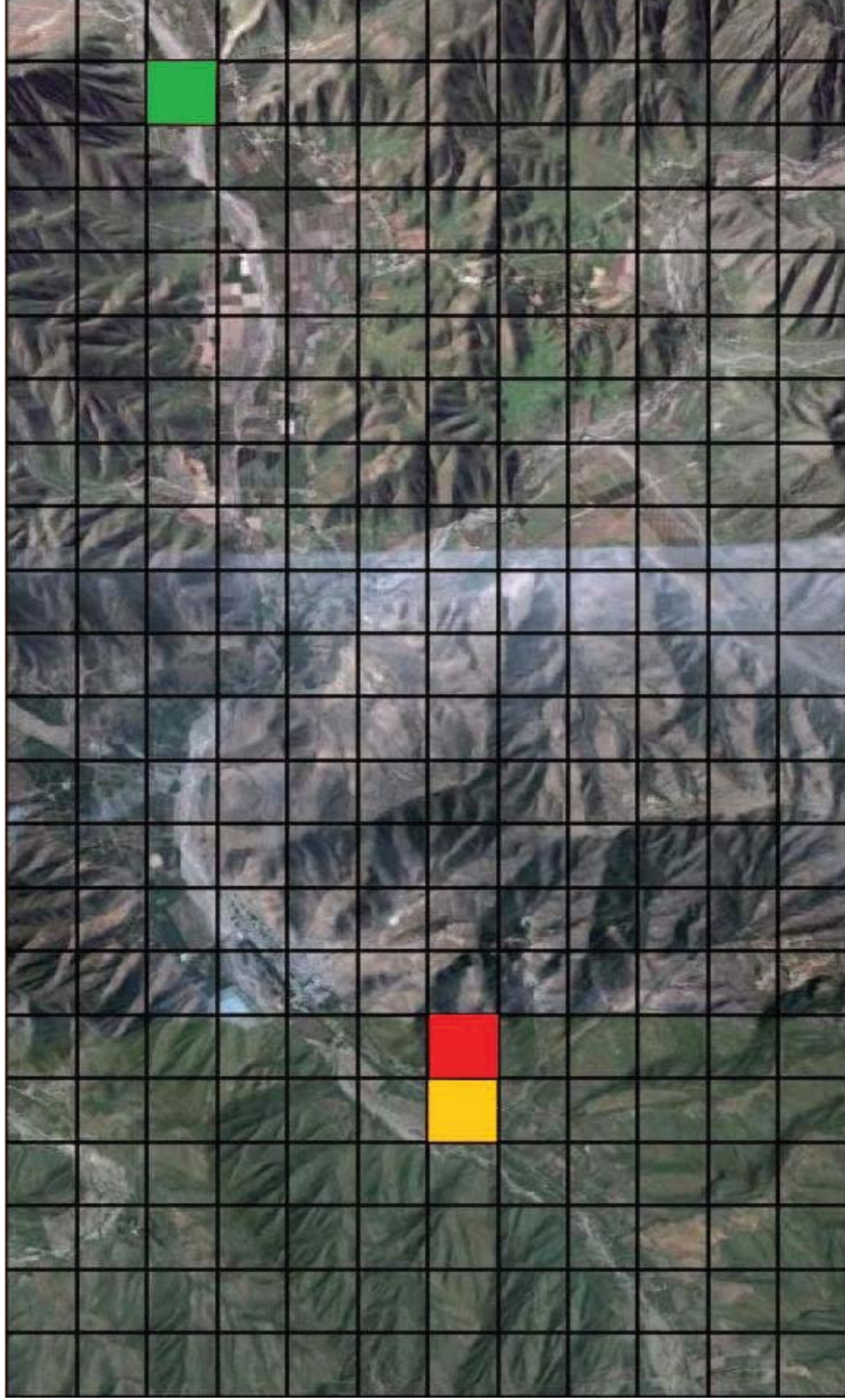


Puntaje Final	Color
5,767	Green
5,729	Yellow
5,691	Red

1 : 100.000

Fuente: Elaboración Propia

Areas Potenciales Sector Cabildo - La Ligua



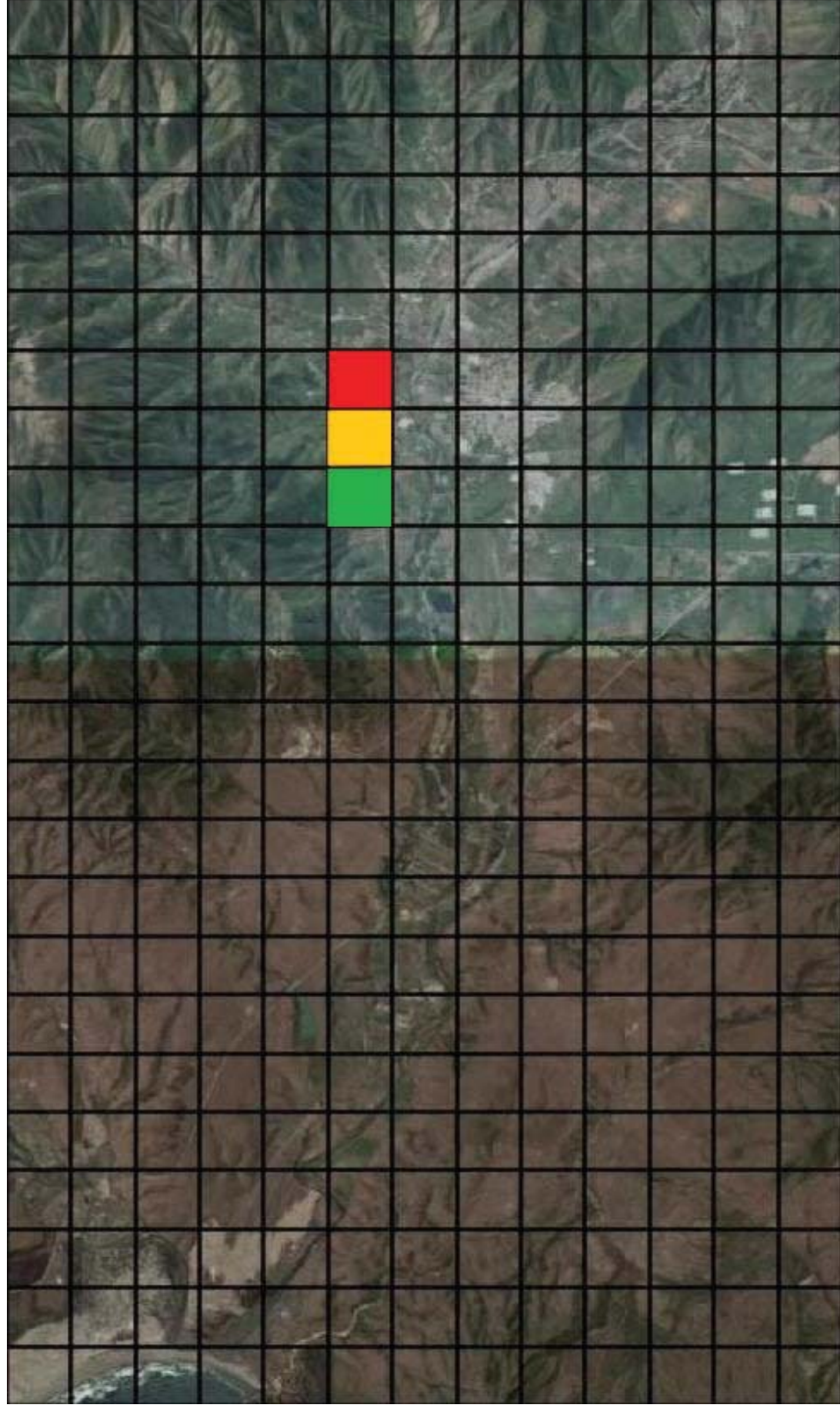
Proyección: WGS84
Huso Horario: 19
Fecha Mapa: Octubre 2011

Puntaje Final
5,492
5,404
5,276

1 : 100.000

Fuente: Elaboración Propia

Areas Potenciales Sector La Ligua - Longotoma



Proyección: WGS84

Huso Horario: 19

Fecha Mapa: Octubre 2011

Puntaje Final

6,490

6,024

6,016

1 : 100.000

Fuente: Elaboración Propia