



# Universidad de Concepción

**DIRECCIÓN DE POSGRADO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES  
PROGRAMA DE MAGÍSTER EN CIENCIAS REGIONALES**

## **PROPUESTA DE INDICADORES PARA IDENTIFICAR Y JERARQUIZAR LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO**

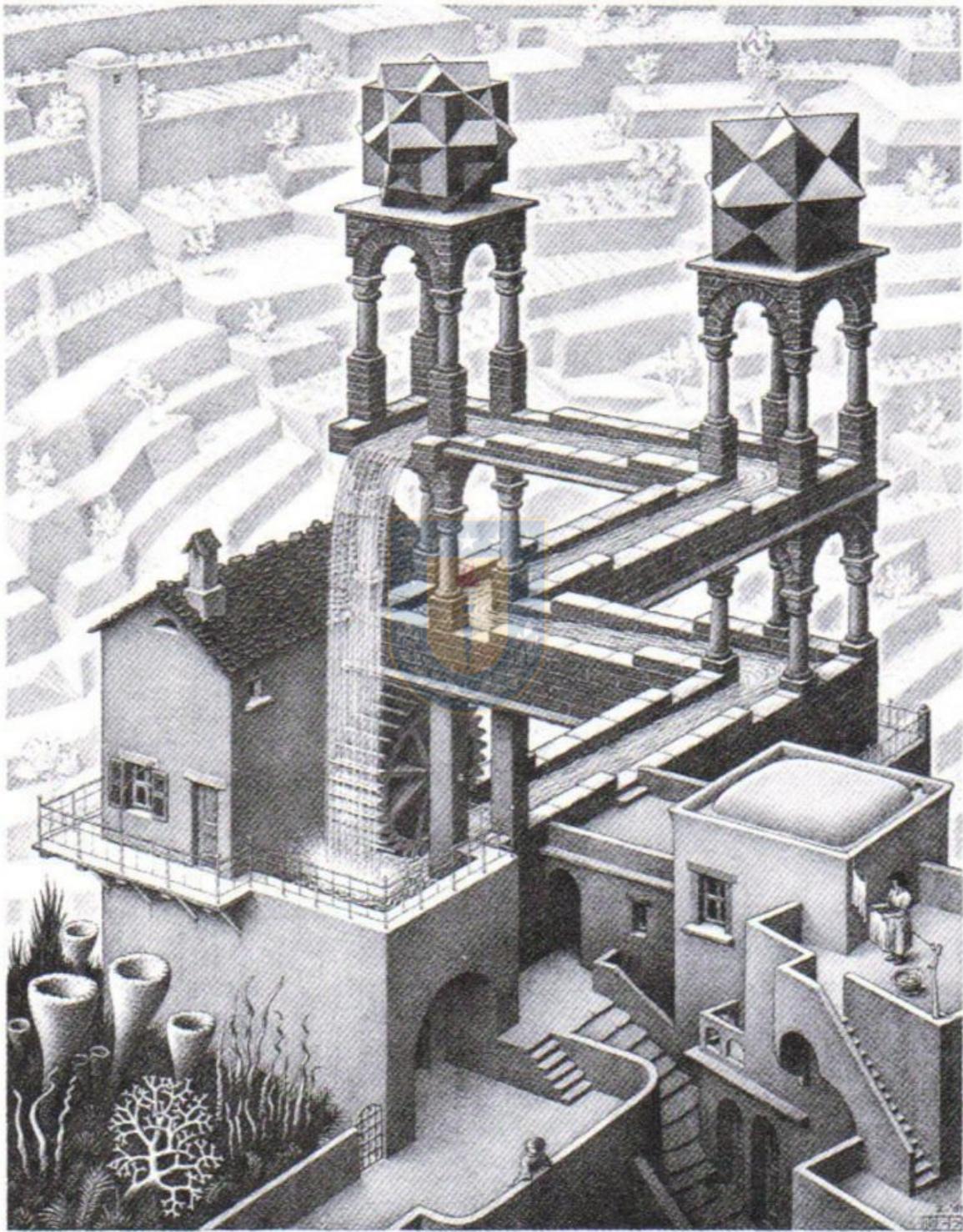


**Tesis para optar al Magíster en Ciencias Regionales  
RODRIGO PEÑA SEBALD**

**Profesor Guía: Gerardo Azócar García  
Dpto. de Planificación Territorial, Facultad de Ciencias Ambientales  
Universidad de Concepción**

**Profesor Co-Guía: Ana Carolina Baeza Freer  
Dpto. de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales  
Universidad de Concepción**

**Concepción, Marzo 2021**



Waterfall (1961), M. C. Escher

# ÍNDICE



## RESUMEN

La disponibilidad de agua potable cada día tiene mayor incertidumbre, la demanda de agua es creciente y la oferta del recurso hídrico es limitada por la sobreexplotación y el cambio climático. Esto nos lleva a plantear la siguiente interrogante: ¿Qué tan lejos estamos de sobrepasar la capacidad medioambiental para la generación de agua potable? Indudablemente, una pregunta compleja difícil de responder y que requiere, según el contexto territorial, geográfico, ecológico y económico, un enfoque metodológico integrado y la construcción de indicadores o índices que permitan evaluar, en el caso de esta tesis, la sostenibilidad de las Áreas de Captación de Agua Potable (en adelante ACAP) de un territorio en particular, como es la región del Biobío.

En este trabajo se realiza una propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad de las ACAP, para lo cual se aplicó Análisis Multicriterio<sup>1</sup>, Sistema de Información Geográfico<sup>2</sup>, actividades de terreno y consulta a expertos. El punto medular de esta metodología es la forma de combinar varios criterios, variables y supuestos para formular un solo índice de evaluación de las ACAP.

Teniendo en cuenta estos elementos, para la Región del Biobío se proponen nueve indicadores o índices que permitieron evaluar, de manera integrada, la sustentabilidad de las ACAP frente a diversos factores forzantes asociados, cada uno de ellos, al sistema económico, productivo, social y de infraestructura regional. La elección de estos índices se ha basado en la revisión de literatura asociada a esta materia<sup>3</sup>. Estos índices son los siguientes:

1. Índice de Uso del suelo (US)
2. Índice de Tamaño del área captación de agua potable (TA)
3. Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE)
4. Índice de Densidad de Viviendas (VIV)
5. Índice de Actividades Antropogénicas (AA)
6. Índice de Densidad Vial (DV)
7. Índice de Derechos de Agua (DA)
8. Índice de Área Protegidas (AP)
9. Índice Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (GOD)

---

<sup>1</sup> AMC en inglés Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA)

<sup>2</sup> SIG: Sistema de Información Geográfico.

<sup>3</sup> Se consideraron los 6 criterios empleados en Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination, A. Alvarado <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1239-4>

El principal resultado, es la clasificación de los 177 ACAP en 5 rangos de prioridad:

Tabla 1. Vulnerabilidad de las ACAP

RANGO DE PRIORIDAD	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	6	3,39
Baja	47	26,55
Media	66	37,29
Alta	35	19,77
Muy Alta	23	12,99
<b>TOTAL</b>	<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

## 1. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua, se reconoce desde hace algún tiempo, como un derecho humano<sup>4</sup>. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible<sup>5</sup>, en su ODS N° 6, señala Agua limpia y Saneamiento<sup>6</sup>.

La meta 4 del ODS N° 6, plantea aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua<sup>7</sup>.

En el caso de Chile, la Constitución<sup>8</sup>, en su artículo 19, numeral 8 indica: “*El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza*”. Asimismo, el numeral 24 señala en su primer párrafo, “*El derecho de propiedad en sus diversas especies sobre toda clase de bienes corporales o incorporales*”, finalmente en el último párrafo “Los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos o constituidos en conformidad a la ley, otorgarán a sus titulares la propiedad sobre ellos.

El Código de Aguas de 1981, establece que “La transferencia<sup>9</sup>, transmisión y la adquisición o pérdida por prescripción de los derechos de aprovechamiento se

<sup>4</sup> [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts\\_and\\_figures\\_human\\_right\\_to\\_water\\_spa.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts_and_figures_human_right_to_water_spa.pdf)

<sup>5</sup> <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>

<sup>6</sup> ODS: Objetivos para el Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

<sup>7</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

<sup>8</sup> [https://www.oas.org/dil/esp/Constitucion\\_Chile.pdf](https://www.oas.org/dil/esp/Constitucion_Chile.pdf) y <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=242302>

<sup>9</sup> Artículo 21, [https://leyes-cl.com/codigo\\_de\\_aguas.htm](https://leyes-cl.com/codigo_de_aguas.htm) y <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=5605>

efectuará con arreglo a las disposiciones del Código Civil, salvo en cuanto estén modificadas por el presente Código”, de este modo los derechos de aprovechamiento, se consideran un bien económico susceptible de privatizar y que no está sujeto, por ley, a ningún orden de prelación en su uso.

La Mesa Nacional del Agua<sup>10</sup> plantea entre otros puntos la ‘*gestión sustentable de los acuíferos*’, sobre la cual se menciona que, “La regulación existente fue diseñada para la gestión de las aguas superficiales, que tiene la característica de ser agua observable, medible y de fácil reasignación en tiempos de escasez (alícuotas). Muy diferente es el caso del agua subterránea que es compleja de medir y donde la extracción de agua puede afectar a un tercero o a bienes ambientales en forma no observable ni fácilmente medible. Esta política hídrica debe entregar lineamientos para avanzar hacia el uso sustentable de los acuíferos, lo que requiere modelación, información, monitoreo y fiscalización, e incentivos adecuados para el uso y la infiltración artificial”. Otro aspecto importante es la Protección de los ecosistemas, “Una política hídrica debe entregar lineamientos para la adecuada protección y restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua, a través del monitoreo de la salud de los ecosistemas, que alerte de los casos en riesgo y que oriente la intervención directa para su conservación y restablecimiento en donde se pueda alcanzar el mayor impacto”.



**Figura 1.** Izquierda, estanque sistema APR DOH Huallerehue, Comuna de Santa Juana. Derecha, captación, sistema de APR Externo Curalí, comuna de Santa Juana. Fotografías del autor.

En relación con la disponibilidad del recurso hídrico, “Chile posee 101 cuencas hidrográficas que incluyen 1.251 ríos y 12.784 cuerpos de agua correspondientes a lagos y lagunas. A ellas se suman 24.114 glaciares, los que aportan caudal de escorrentía en el estiaje<sup>11</sup>. Se han delimitado 137 acuíferos y 375 sectores hidrológicos de aprovechamiento común (SHAC) a lo largo del territorio nacional, de los cuales un 47% se encuentra bajo restricción o prohibición. En términos

<sup>10</sup> Página 7, <https://www.mop.cl/MesaAgua/index.html>  
[https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa\\_Nacional\\_del\\_Agua\\_2020\\_Primer\\_Informe\\_Enero.pdf](https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf)

<sup>11</sup> Atlas del Agua, DGA (2016), <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/1382>

generales existe un bajo conocimiento del grado de interconexión de los acuíferos, su extensión vertical y horizontal, y su nivel de recarga”.

El agua es un recurso natural renovable, pero muy fácil de contaminar y del cual la humanidad es absolutamente dependiente. A pesar de ello, hay graves deficiencias en cómo podemos aprovechar de manera más eficiente el agua sin afectar la sustentabilidad de esta en el largo plazo. La falta de datos sistemáticos limita una evaluación exacta y detallada del alcance del problema y es un obstáculo serio para la gestión de los recursos hídricos. En la actualidad existen áreas del territorio nacional donde no se dispone de información de calidad del agua<sup>12</sup>.

Los desafíos relacionados con el conocimiento<sup>13</sup> formal e informal del agua, sobre cómo lograr la sustentabilidad en el manejo integrado de cuencas<sup>14</sup>, es una pugna de muy larga data, pero de escasos resultados.

De acuerdo con el informe de la OCDE<sup>15</sup>, habrá una creciente presión sobre los recursos hídricos existentes, lo que amenazaré la seguridad del acceso al agua en Chile. En Chile, al igual que en muchos países de la OCDE, existen cuatro tipos de desafíos hídricos:

1. Demasiada agua
2. Muy poca agua
3. Agua contaminada
4. Cobertura universal de servicios hídricos

Si bien en Chile se ha logrado el acceso casi universal a servicios básicos, el acceso al suministro de agua y al saneamiento en algunos asentamientos rurales sigue siendo un desafío. De acuerdo con el *Joint Monitoring Programme* desarrollado por WHO/UNICEF<sup>16</sup>, actualmente el 7% de la población rural de Chile carece de acceso a fuentes de agua potable de calidad y el 9% a servicios de saneamiento e higiene adecuados<sup>17</sup>. Por otro lado, la insuficiencia de datos e información también obstaculizan la eficiencia de las inversiones en el Programa APR<sup>18</sup>.

<sup>12</sup> Página 14, <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/452181468216298391/Chile-Diagn-243-stico-de-la-gesti-243-n-de-los-recursos-h-237-dricos>

<sup>13</sup> Banco Interamericano de Desarrollo (BID), <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6771/Manejo%20sostenible%20del%20agua.pdf?sequence=4>

<sup>14</sup> <https://www.iagua.es/blogs/axel-dourojeanni/instrumentos-gestion-integrada-intervenciones-cuencas-y-agua>

<sup>15</sup> Página 14, <https://www.oecd.org/gov/budgeting/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile.pdf>

<sup>16</sup> <http://www.unwater.org/new-publication-whounicef-joint-monitoring-programme-2017-report/>

<sup>17</sup> Página 15, <https://www.oecd.org/gov/budgeting/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile.pdf>

<sup>18</sup> Página 374, [https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile\\_9789264286948-es](https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile_9789264286948-es)

Como enfoque, la gestión de cuencas productoras de agua potable en Chile, posee un muy escaso desarrollo, únicamente INFOR<sup>19</sup> y la ASCC<sup>20</sup>, han realizado algunos avances, sin embargo, la escasa disponibilidad de información básica, limita el conocimiento y divulgación de la gestión del agua.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1.- Políticas públicas, recursos hídricos y agua potable

La toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas eficientes, en materia de recursos hídricos, deben sustentarse en un sistema adecuado de indicadores; por tanto el establecimiento de índices e indicadores es básico para evaluar la situación de las aguas subterráneas y orientar las acciones para proteger su calidad, resultando conveniente considerar también aspectos sociales, económicos y ambientales<sup>21</sup>. Para tomar las mejores decisiones, basadas en información concisa y con sustento científico, resulta trascendental la tarea de identificar y definir los indicadores idóneos. La selección de indicadores está en función de los objetivos perseguidos, por lo tanto es esencial definirlos en el contexto de la protección de las aguas subterráneas o superficiales y evaluarlos en la escala espacial adecuada. En el proceso de selección de indicadores se recomienda incorporar ideas e intereses de los sectores académicos, gubernamentales y de la sociedad civil<sup>22</sup>.

Hoekstra<sup>23</sup> (1999), realiza una descripción de algunas de las principales controversias actuales entre los hidrólogos y la gestión política. Estas controversias se refieren a preguntas como: ¿qué factores determinan la demanda de agua, cuál es el posible papel de la tecnología, cuánta agua hay disponible, qué es la escasez de agua y qué tipo de política adoptar en condiciones de escasez de agua? Este autor sostiene que la fijación de precios del agua, por ejemplo, es solo una forma particular de apreciar el agua en la sociedad; es decir, a través de los mecanismos de mercado. Como punto de partida en la búsqueda de puntos de vista coherentes, utilizó las cuatro "perspectivas" de la teoría cultural de Thompson: el jerárquico, el igualitario, el

---

<sup>19</sup> <http://www.bosquesyagua.cl/index.php/modulos/2016-01-11-03-01-56> (descontinuado)  
<http://www.bosquesyagua.cl/>

<sup>20</sup> [http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos\\_voluntarios\\_para\\_la\\_gestion](http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos_voluntarios_para_la_gestion)

<sup>21</sup> Vrba, J. y Lipponen, A. (2007). Groundwater Resources Sustainability Indicators. IHP-VI, Serie Agua subterránea No. 14. UNESCO. Paris.123 pp.

<sup>22</sup> SEMARNAT (2005). Indicadores básicos de desempeño ambiental 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 240 pp.

<sup>23</sup> Hoekstra, Arjen Y. (2000) Appreciation of water: four perspectives,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366701799000136>

individualista y el fatalista. Parece que las controversias actuales en el campo de la gestión del agua pueden entenderse bien desde estas cuatro perspectivas.

Una característica típica de los jerarquistas es considerar la escasez como un problema de oferta. Su estrategia de gestión es ver cómo pueden gestionar sus recursos. La escasez de agua se traduce en un problema de cómo aumentar la oferta para satisfacer la demanda. La demanda de agua se considera como una necesidad dada, que emana de hechos como el tamaño de la población, el desarrollo económico y la necesidad de riego.

Los igualitarios, que perciben la naturaleza como frágil, son prudentes al evaluar los recursos hídricos y tienen en cuenta la variabilidad temporal y espacial. El funcionamiento estable en áreas habitadas puede ser una medida adecuada de la disponibilidad de agua, pero además son esenciales los indicadores de uso excesivo de agua, como por ejemplo la disminución real de los niveles freáticos y la cantidad restante de agua de alta calidad.

En la perspectiva de los individualistas el agua es un bien económico y debe gestionarse como tal. Los individualistas consideran que todas las opciones para mejorar las condiciones de suministro de agua son realistas, siempre que sean rentables. Las mejoras de eficiencia que reducen la demanda suelen ser rentables, ya que ahorran agua y también dinero. Sin embargo, la ampliación de la base de recursos, por ejemplo, mediante la explotación de acuíferos intactos o el aumento de la capacidad de desalinización, también puede ser rentable. La combinación correcta de suministro de agua y gestión de la demanda será una función de las circunstancias que son diferentes en el tiempo, por región y por usuario.

Según los fatalistas, hay tantas incertidumbres que los cambios en el ciclo hidrológico en la práctica pueden considerarse impredecibles. Si incluso los científicos no están de acuerdo sobre la capacidad de carga global y las posibilidades de crecimiento, y si los formuladores de políticas proponen medidas contradictorias, hay pocas razones para creer que las personas puedan mejorar su propio futuro a sabiendas.

Una razón es que las incertidumbres acerca de las diversas interacciones entre el hombre y el medio ambiente son todavía muy grandes, lo que deja espacio para diferentes interpretaciones de los datos disponibles. Sin embargo, hay evidencia científica de sobre-explotación de recursos hídricos, su escasez y los factores que estarían provocando esta menor disponibilidad y, en algunos casos, agotamiento total. Otra razón es que la mayoría de los problemas del agua de hoy no son

meramente técnicos sino que *están fuertemente cargados de valores*<sup>24</sup>. Por lo tanto, desde un punto de vista científico, sería aconsejable involucrar diferentes perspectivas en cualquier estudio de desarrollo. Una perspectiva interesante es saber cómo y por qué el agua se distribuye de la manera que lo hace en la sociedad, esto se denomina ciclo hidro-social del agua, en oposición al ciclo hidrológico o físico.



**Figura 2.** Izquierda, captación superficial (punteras) estero Chaimávida, sistema APR DOH Chaimávida Soto, Comuna de Concepción. Derecha, puntera APR Externo Pissis, comuna de Tomé. Fuente: Fotografías del autor.

Dickson et al. (2016)<sup>25</sup> señalan que el año 2010 se había logrado el Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM) que era reducir a la mitad el número de personas sin acceso a agua potable mejorada, meta fijada para 2015<sup>26</sup>. Sin embargo, más de 740 millones de personas permanecen aún sin acceso a agua potable mejorada, y el objetivo de saneamiento no se cumplió, dejando a 2,4 mil millones de personas sin saneamiento mejorado. Los que quedan atrás, sin agua y saneamiento básico, tienden a ser pobres y vulnerables, las poblaciones rurales en los países de ingresos bajos y medios<sup>27</sup>.

<sup>24</sup> En relación con los valores, en enero de 2020 el Senado rechazó modificar el Código de Aguas, <https://www.senado.cl/senado-rechaza-consagrar-el-agua-como-bien-de-uso-publico-en-la/senado/2020-01-07/200731.html>

<sup>25</sup> Dickson, S.E., Water Security Assessment Indicators: The Rural Context <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1254-5>

<sup>26</sup> OMS y UNICEF 2012, Progress on drinking water and sanitation: 2012 Update. Retrieved September 18, 2012, from <http://www.mondialisations.org/medias/pdf/drinkingwateren.pdf>

<sup>27</sup> OMS, UNICEF (2015) Progress on Sanitation and Drinking Water; 2015 Update and MDG Assessment. UNICEF y OMS. Disponible en: [http://www.wssinfo.org/fileadmin/user\\_upload/resources/JMPUpdate-report-2015\\_English.pdf](http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMPUpdate-report-2015_English.pdf). Accessed Aug 2015

El estado de los recursos hídricos se ha caracterizado mediante el uso de términos como "*hidrocidio*"<sup>28</sup>, la degradación de la calidad del agua hasta el punto en que el agua ya no es apta para un propósito, "sostenibilidad", "vulnerabilidad", "estrés", "escasez" y "pobreza". El término "*seguridad del agua*" también ha crecido la frecuencia de su uso<sup>29</sup>. Existen varias definiciones en la literatura, cada una reflejando la perspectiva y el propósito de sus diferentes aplicaciones.

A gran escala las estrategias de protección del agua tienen que ser promovidas por los entes reguladores del agua o del ambiente (o aquellas agencias, departamentos u oficinas de gobierno nacionales, regionales o locales, encargados de realizar esta función). Sin embargo, es importante que la atención se focalice a la escala y nivel de detalle de evaluación y protección de fuentes de abastecimiento de agua específicas<sup>30</sup>.

Muy a menudo, en el pasado, los recursos hídricos subterráneos han sido, en efecto, abandonados a su suerte. Con frecuencia, quienes dependen de estos recursos para el suministro de agua potable no han adoptado acción significativa alguna para asegurar la calidad natural del agua, ni han realizado esfuerzos adecuados para evaluar los peligros potenciales de contaminación.

Las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente desde la superficie del suelo. Como consecuencia, las '*actividades humanas*' en la superficie constituyen una amenaza a la calidad del agua subterránea y superficial. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes (Figura 3).

Los perfiles naturales del subsuelo atenúan muchos contaminantes en forma activa, e históricamente han sido considerados potencialmente eficaces para la

---

<sup>28</sup> Falkenmark M, Lundqvist J (1998) Towards water security: political determination and human adaptation crucial. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/210-98TO-14852.pdf>

<sup>29</sup> Cook C, Bakker K., (2012) Water security: debating an emerging paradigm. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378011001804>

<sup>30</sup> Foster, S (1987) Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. In: Van Duijvenbooden, W. and Van Waegeningh, H.G., Eds., Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, Committee on Hydrological Research, The Hague, 69-86. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf>

‘disposición segura’ de excretas humanas y aguas residuales domésticas<sup>31</sup>. La autoeliminación de contaminantes durante el transporte subterráneo en la zona vadosa (no saturada) es resultado de la degradación bioquímica y de la reacción química, pero los procesos de retardo de contaminantes por fenómenos de ‘adsorción’ son igualmente importantes, ya que aumentan el tiempo disponible para los procesos que conducen a su eliminación.

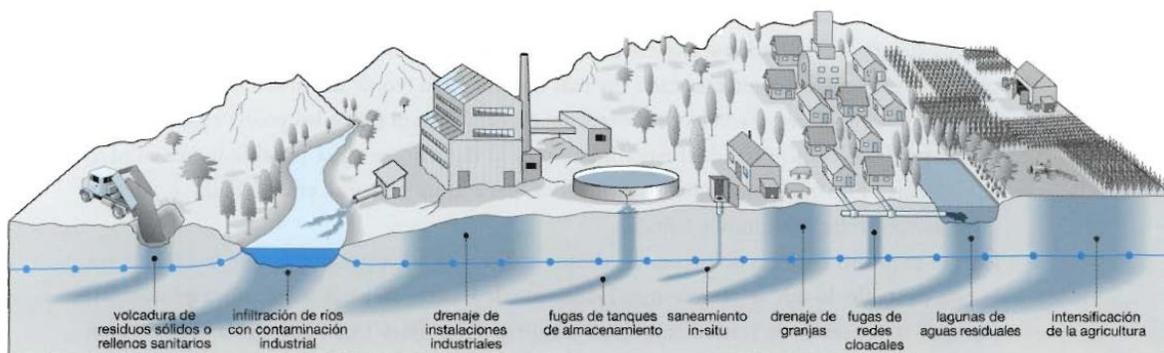


Figura 3. Procesos comunes de contaminación del agua subterránea. Fuente: [http://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10B\\_OX0334116B01PUBLIC1.pdf](http://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10B_OX0334116B01PUBLIC1.pdf)

Sin embargo, no todos los perfiles del subsuelo y estratos subyacentes son igualmente eficaces en la atenuación de contaminantes, y los acuíferos son particularmente vulnerables a la contaminación cuando, por ejemplo, se encuentran rocas consolidadas altamente fisuradas. El grado de atenuación también varía ampliamente según el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en un ambiente determinado.

La preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se refiere principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo, pero un peligro de contaminación significativo puede estar presente también en los acuíferos semiconfinados, si las capas acuitardas confinantes son relativamente delgadas y permeables.

La actividad humana en la superficie del terreno modifica los mecanismos de recarga de los acuíferos e introduce otros nuevos, cambiando la distribución, frecuencia, tasa y calidad de la recarga del agua subterránea. Esto se da especialmente en climas áridos pero también ocurre en regiones más húmedas.

<sup>31</sup> DS 46, Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=206883>

La comprensión de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios resultan críticos para la evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea.

Si bien hay muchos marcos para la seguridad del agua, la mayoría incorpora los elementos básicos de los recursos hídricos, el medio ambiente, la economía, los desastres relacionados con el agua y las necesidades humanas. Por ejemplo, Cook y Bakker (2012) identificaron cuatro temas complementarios en los marcos de seguridad del agua: disponibilidad; peligros relacionados con el agua y vulnerabilidad a esos peligros; necesidades humanas; y, sostenibilidad ambiental. En dicho artículo, se compilan y evalúan una lista de indicadores para evaluar la seguridad del agua a escala comunitaria, particularmente en contextos de países de ingresos bajos y medios.

La naturaleza holística de la seguridad del agua en comunidades Rurales, Remotas o Marginadas (RRM)<sup>32</sup> ha hecho que los indicadores y los índices sean una opción frecuente para las evaluaciones de sustentabilidad. Sin embargo, el uso de tales indicadores generalmente se ha restringido a los investigadores y responsables políticos.

El Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente<sup>33</sup>, en su informe, *Perspectiva del Medio Ambiente Mundial*<sup>34</sup>, plantea que el *crecimiento demográfico*, la *urbanización*, la *contaminación del agua* y el *desarrollo insostenible* están aumentando la presión sobre los recursos hídricos en todo el mundo, y esa presión se ve exacerbada por el cambio climático.

También, existe evidencia que la calidad del agua ha empeorado significativamente desde 1990, debido a la contaminación orgánica y química ocasionada por, entre otros, agentes patógenos, fertilizantes, plaguicidas, sedimentos, metales pesados, desechos plásticos y microplásticos, contaminantes orgánicos persistentes y salinidad. Unos 2.300 millones de personas (1/3 de los habitantes del mundo) no tienen aún acceso a servicios de saneamiento adecuados<sup>35</sup>.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura<sup>36</sup> (FAO), a través de la Gestión Forestal Sostenible (GFS), sostiene que el agua es

---

<sup>32</sup> RRM: rurales, remotas o marginadas

<sup>33</sup> UNEP: United Nations Environment Programme

<https://www.unenvironment.org/es/resources/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-6>

<sup>34</sup> UNEP, Global Environment Outlook (GEO-6) <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>

<sup>35</sup> UNEP, *Perspectivas del Medio Ambiente*, GEO-6 (2019), Página 16

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM\\_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

<sup>36</sup> FAO, <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-and-water/basic-knowledge/es/>

un elemento esencial de la gestión forestal sostenible, y que los bosques son cruciales para regular el *ciclo del agua*. Uno de los retos a los que se enfrentan los gestores forestales es aprovechar al máximo los beneficios de los bosques conservando al mismo tiempo los recursos hídricos.

La relación positiva entre los bosques y la calidad del agua<sup>37</sup> ya se está explotando para ayudar a suministrar agua potable a millones de personas en todo el mundo. Un estudio de las 105 ciudades más grandes del mundo, realizado en 2003 para el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el Banco Mundial, reveló que una tercera parte de las mismas obtiene una cantidad sustancial de su agua potable de cuencas de captación forestales protegidas<sup>38</sup>. Incontables ciudades y pueblos más pequeños hacen lo mismo, y las industrias que necesitan agua limpia muchas veces están deliberadamente situadas en las zonas de captación de los bosques naturales.



**Figura 4.** Izquierda, estanque sistema APR Externo Los Sapos, Comuna de Cabrero. Derecha, estanque sistema APR Externo Los Notros, comuna de Santa Bárbara. Fotografías del autor.

<sup>37</sup> FAO, Los Bosques y el Agua, página 48, <http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s00.pdf>

<sup>38</sup> Banco Mundial, Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Los siguientes ejemplos<sup>39</sup> exponen una variedad de formas en que los bosques protegen el suministro de agua potable:

1. **Quito (Ecuador):** Alrededor del 80% de la población de 1,5 millones de personas recibe agua potable de las reservas ecológicas Antisana (120.000 hectáreas) y Cayambe Coca (403.103 hectáreas).
2. **São Paulo (Brasil):** El agua potable para los 18 millones de habitantes de la ciudad procede de los bosques de seis zonas protegidas. La más importante es el parque estatal de Cantareira (categoría II de la UICN<sup>40</sup>, 7.900 hectáreas), que suministra la mitad del agua para la zona metropolitana
3. **Singapur:** La mitad del agua de la isla procede del parque nacional Bukit Timah, categoría IV de UICN, 2.796 hectáreas.
4. **Tokio (Japón):** La ciudad toma casi toda su agua de dos paisajes protegidos: el parque nacional de Nikko (categoría V, 140.698 hectáreas) y el parque nacional de Chichibu-Tama (Titibu Tama) (categoría V, 121.600 hectáreas).
5. **Nairobi (Kenya):** Gran parte del agua de la ciudad procede de ríos que nacen en los Aberdares (incluido el parque nacional de Aberdares, categoría II de la UICN, 76.619 hectáreas) y la cuenca de captación del parque nacional del monte Kenya.
6. **Ciudad de Nueva York (Estados Unidos de América):** En vez de financiar, a través de impuestos, la construcción de una nueva central de purificación del agua, los ciudadanos de Nueva York votaron por subsidiar la protección forestal como la forma más económica y aceptable para mantener un suministro de agua potable. El parque estatal Catskill (categoría V de la UICN, 99.788 hectáreas) protege gran parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Catskill, Delaware y Croton, principales fuentes de abastecimiento de agua de la ciudad.
7. **Estocolmo (Suecia):** Los lagos Mälaren y Bornsjön suministran el agua potable para Estocolmo. La empresa del agua, la Stockholm Vatten, controla la mayor parte de la cuenca hidrográfica de 5.543 hectáreas del lago Bornsjön, de cuya superficie, unas 2.323 hectáreas, en torno al 40%, son un bosque productivo certificado por el Consejo de Manejo Forestal.

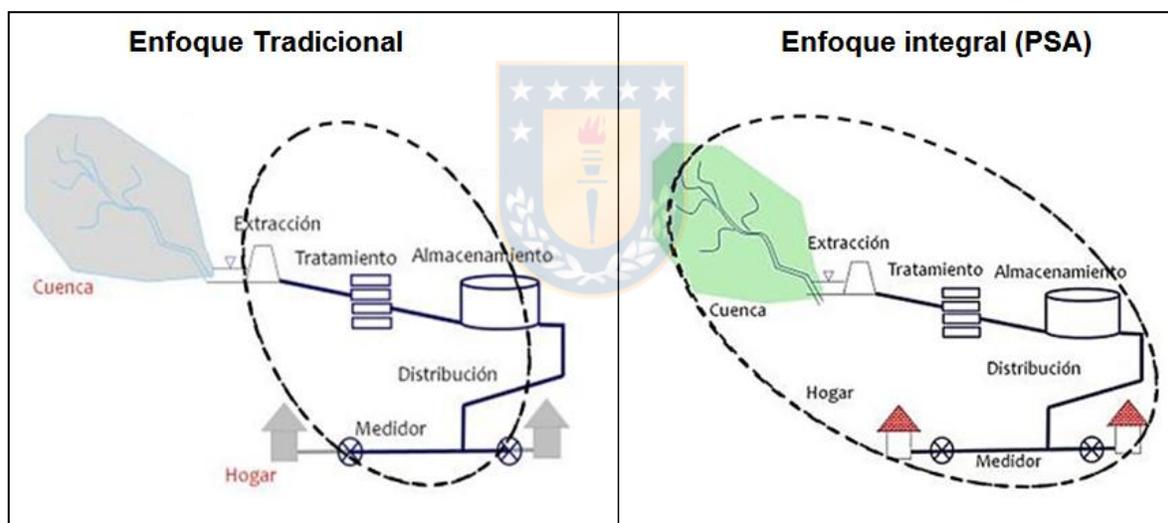
---

<sup>39</sup> Los Bosques y el Agua, páginas 48, 49 y 50, <http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s00.pdf>

<sup>40</sup> UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, <https://www.iucn.org/es>

8. **Santiago<sup>41</sup> (Chile):** El PRMS<sup>42</sup> clasificó el ecosistema de Piedmont de Santiago como un "Área de Conservación Ecológica", para ser "preservado en condiciones naturales, a fin de garantizar y contribuir al equilibrio y la calidad del medio ambiente". El área propuesta es de unas 12.900 ha, la que se gestiona a través de la *Asociación Parque Cordillera*<sup>43</sup>.
9. **Penco (Chile):** El Parque Nacional Nonguén<sup>44</sup> de 3.036 hectáreas de extensión suministra agua potable a la ciudad de Penco.

La Organización Mundial de la Salud<sup>45</sup> (OMS), promueve el *Plan Seguridad del Agua*, como la *forma más eficaz* de garantizar el abastecimiento de agua potable, aplicando un planteamiento integral de *evaluación y gestión de riesgos* que considere *todos los elementos del sistema de abastecimiento*. La inclusión de la cuenca en el análisis supondría un paso gigantesco en la gestión del agua en Chile. En la Figura 5 se aprecia la diferencia entre el enfoque tradicional e integral (PSA).



**Figura 5.** Esquema enfoque tradicional y enfoque integral Plan Seguridad de Agua (PSA). Fuente: [https://www.paho.org/meX/index.php?option=com\\_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499](https://www.paho.org/meX/index.php?option=com_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499)

<sup>41</sup> Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water, páginas 32 y 40 <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<sup>42</sup> PRMS: Plan Regulador Metropolitano de Santiago

<sup>43</sup> <http://asociacionparquecordillera.cl/red-de-parques-naturales/>

<sup>44</sup> CONAF, <https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-nonguen/>

<sup>45</sup> Organización Mundial de la Salud (OMS), Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad, [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/publication\\_9789241562638/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/publication_9789241562638/es/)

## 2.2.- Situación en Chile, vulnerabilidad de las captaciones de agua potable

Alvarado<sup>46</sup> (2016) publicó un trabajo basado en el *análisis de decisión de criterios múltiples*<sup>47</sup> como una herramienta de decisión para facilitar el proceso de priorización de pozos de agua potable que necesitarían más protección ante el riesgo de contaminación. En ese estudio, se tomaron en cuenta tres aspectos y criterios básicos para la protección de la calidad del agua subterránea: natural, antrópico y técnico.

- \* El agua subterránea constituye la fuente de suministro más segura e importante para las necesidades humanas.
- \* Sin embargo, los acuíferos son vulnerables a la contaminación y los principales son: tierras de cultivo, usos industriales y urbanos.
- \* Se deben proteger las fuentes de agua potable, conformando “*áreas de protección de pozos*”, y definiendo que actividades antrópicas son posibles de desarrollar, con un riesgo aceptable para el acuífero.

Alvarado, además, señala que es necesaria una planificación previa para establecer qué pozos tienen prioridad cuando deben ser protegidos y se enfrentan a posibles procesos de contaminación de aguas subterráneas. Esta planificación previa, según el autor, justifica la necesidad de fijar algunos criterios para definir este orden de prioridad.

Por otro lado, Kaly et al<sup>48</sup> publicaron en 1999 un Índice de Vulnerabilidad Ambiental (EVI)<sup>49</sup>, este se calculó como un *promedio ponderado* de puntajes asignados en el rango de 0-7 derivado de un total de 57 indicadores. Muchos de los indicadores seleccionados inicialmente se descartaron porque *no tenían datos disponibles*.

En Chile la *vulnerabilidad* de las captaciones de agua potable, cada día se hace más evidente, registrándose en los últimos años, varios eventos que han afectado seriamente la provisión de agua potable en varias localidades del país:

- a. Río Mapocho<sup>50</sup>
- b. Región Metropolitana<sup>51</sup>

---

<sup>46</sup> Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination, A. Alvarado  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1239-4>

<sup>47</sup> MCDA, por sus siglas en inglés

<sup>48</sup> Kaly et al (1999), Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/27406>

<sup>49</sup> EVI: Environmental Vulnerability Index

<sup>50</sup> <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17366.html>, <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17022.html>, <http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/w3-propertyvalue-3457.html>

<sup>51</sup> <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-12161.html>

- c. Osorno<sup>52</sup>
- d. Florida<sup>53</sup>

Debido a una serie de factores, se observa actualmente en Chile un serio problema de escasez y de acceso seguro al agua potable. Es por ello que el Ministerio del Interior publicó en 2015 la Política Nacional de Recursos Hídricos<sup>54</sup>, cuyo principal objetivo es: “*garantizar a las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad y acceso al agua en estándares de calidad y cantidad adecuados mediante el uso racional y sustentable de los recursos hídricos, privilegiando en primer lugar el consumo humano*”. En dicha política, en su objetivo específico 2, se establece la necesidad de adoptar medidas alternativas de reordenamiento institucional, vinculadas con:

- a) La sustentabilidad y protección del agua tanto desde el punto de vista de la *cantidad* como de la *calidad*.
- b) La articulación de la gestión de los recursos hídricos con el *uso del suelo*.
- c) La gestión de los recursos hídricos a nivel de *cuencas hidrográficas*.

### 2.3.- Planteamiento del Problema

El volumen de agua usado durante el año 2015 en Chile<sup>55</sup> alcanzó un estimado de 10.900 millones de m<sup>3</sup>, proveniente tanto de fuentes de agua superficial como subterránea. A su vez, sólo el 6% es consumido como agua potable, un 73% se utiliza en la agricultura, 12% industria y 9% en minería<sup>56</sup>.

La crisis hídrica ha obligado a los gobiernos, en las últimas dos décadas, a adoptar una serie de medidas de gestión de corto y mediano plazo, incluyendo medidas de *emergencia* que se han perpetuado a través de los años, como la distribución de agua potable en la región del Biobío, con camiones aljibes desde el año 2012<sup>57</sup>. En las actuales regiones de Biobío y Ñuble, durante el año 2012 el gasto en camiones aljibe alcanzó unos \$2.000 millones, en 2017 superó los \$10.900 millones (Figura 4). La cantidad de viviendas beneficiadas con la distribución de agua potable por camión aljibe en la región del Biobío durante el

<sup>52</sup> <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17538.html> y <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17535.html>

<sup>53</sup> <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-11576.html>

<sup>54</sup> [https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos\\_hidricos.pdf](https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf)

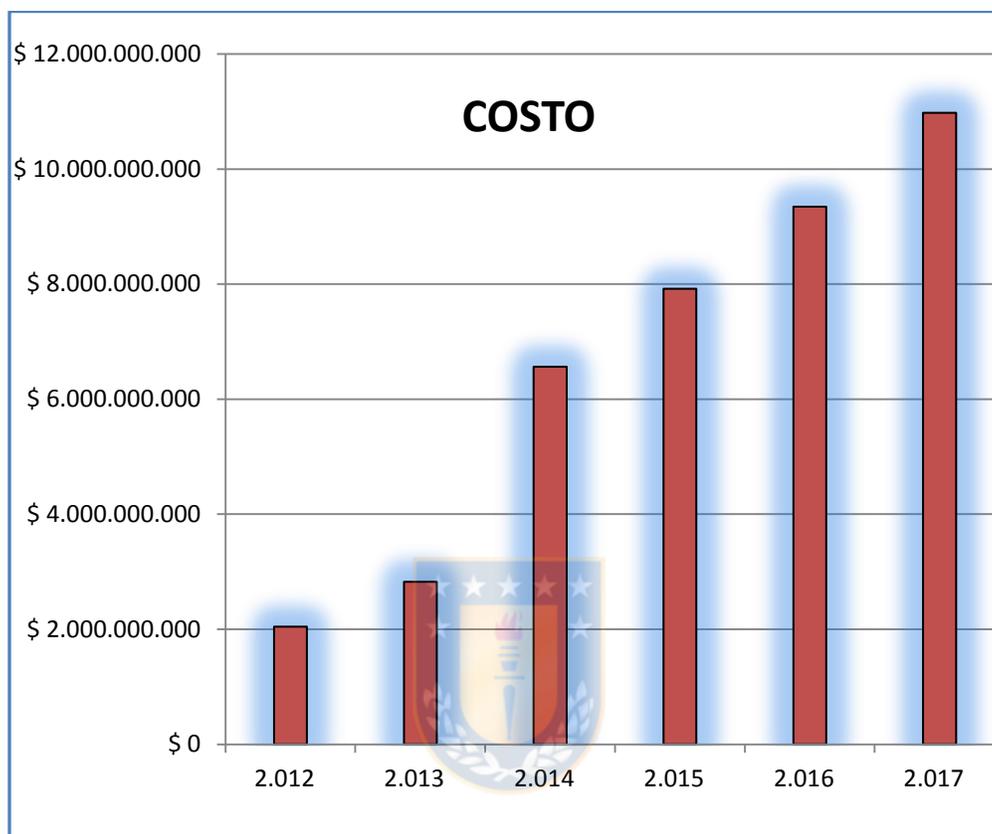
<sup>55</sup> MOP, DGA,

<http://sad.dga.cl/ipac20/ipac.jsp?session=154430707E156.5559963&profile=cirh&uindex=BAW&term=Uni%C3%B3n%20Temporal%20de%20Proveedores%20H%C3%ADdrica%20Consultores%20SPA%20y%20Aquaterra%20Ingenieros%20Ltda.&aspect=subtab13&menu=search&source=-!biblioteca>

<sup>56</sup> MOP, [https://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf), página 13

<sup>57</sup> Ministerio del Interior, [https://www.interior.gob.cl/media/2014/04/recursos\\_hidricos.pdf](https://www.interior.gob.cl/media/2014/04/recursos_hidricos.pdf)

año 2020 supera las 8 mil viviendas y los 27 mil habitantes, la mayoría rurales. Además otras 47 mil viviendas rurales no cuentan con un sistema de agua potable rural<sup>58</sup>, abasteciéndose de manantiales, vertiente, pozo, noria, punteras y otros medios que hoy se encuentran en riesgo.



**Figura 6.** Evolución del gasto Región del Biobío (y Ñuble) en camiones aljibe.  
Fuente: Gobierno Regional del Biobío

Los problemas relacionados con la provisión y dotación del agua potable, cuestionan la sostenibilidad de las diversas instalaciones de agua potable<sup>59</sup>.

La selección del área de estudio posee un criterio eminentemente administrativo y está referido a las captaciones de agua potable de la región del Biobío, sin embargo y debido a la extensión de las cuencas de los ríos Pingueral y Biobío en las regiones de Ñuble y La Araucanía, se ha incluido la porción correspondiente de esas regiones en el área de estudio.

<sup>58</sup> MOP, DOH, <http://www.doh.gov.cl/APR/Paginas/Inicio.aspx>

<sup>59</sup> SISS, <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6430.html>

### 3. HIPÓTESIS

Las Áreas de Captación de Agua Potable (ACAP) en la región del Biobío están sometidas a diversas *presiones de uso* que condicionan su capacidad, actual y futura de producción hídrica de agua potable.

#### Preguntas de Investigación

- 1.- ¿Cuáles son los *factores* o variables más importantes que determinan la capacidad de producción de agua potable de las ACAP en la región del Biobío?
- 2.- ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad de las ACAP frente a esos factores forzantes?



**Figura 7.** Izquierda, captación superficial, sistema APR DOH Pichiarauco, Comuna de Curanilahue. Derecha, vista panorámica de la misma captación. Fotografías del autor.



**Figura 8.** Izquierda, captación superficial (vertiente) APR Externo El Pino, comuna de Concepción. Derecha, captación superficial (río) APR DOH Antihuala - Temuco Chico - La Araucana, comuna de Los Álamos. Fuente: Fotografías del autor.

## 4. OBJETIVOS

### Objetivo General

Caracterizar y evaluar la *vulnerabilidad* de las *Áreas de Captación de Agua Potable* (ACAP) de la Región del Biobío, frente a diversas presiones de uso o factores forzantes.

### Objetivos Específicos

- A. Identificar, describir y representar *espacialmente* las ACAP de la región del Biobío.
- B. Construir un índice integrado que mida la vulnerabilidad de las ACAP de la región del Biobío y permita su jerarquización en términos de propuestas de gestión.
- C. Proponer medidas que reduzcan la vulnerabilidad de las ACAP y mejoren su gestión sostenible.



Figura 9. Izquierda, sistema APR DOH Antihuala-Temuco Chico-La Araucana, comuna de Los Álamos. Derecha, sistema APR Villa Los Ríos, comuna de Los Álamos. Fotografías del autor.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1.- Área de estudio

El área de estudio está conformada por 177 ACAP que conforman las captaciones de agua potable de los sistemas concesionados<sup>60</sup>, los sistemas de Agua Potable



Figura 10. Área de Estudio. Fuente: INE y Elaboración propia.

Rural<sup>61</sup> y los denominados sistemas de Agua Potable Externos<sup>62</sup>.

<sup>60</sup> Los sistemas concesionados son gestionados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6392.html>

Todas las ACAP consideradas en el estudio poseen su captación en la región del Biobío, sin embargo debido a la extensión de las mismas, partes de las regiones de Ñuble y La Araucanía son incluidas en el estudio. La superficie total es de 27.633 km<sup>2</sup>, una extensión mayor que la región del Biobío<sup>63</sup>, o la cuenca del río Biobío<sup>64</sup>.

Por otro lado la superficie de ACAP en La Araucanía es de 8.083 km<sup>2</sup> (29,25%), Ñuble 557 km<sup>2</sup> (2,01%) y 18.990 km<sup>2</sup> (68,73%) en Biobío.

En relación con las cuencas hidrográficas y las ACAP, el ACAP Concepción-San Pedro con 24.091 km<sup>2</sup>, representa el 99% de la cuenca del río Biobío.

En la siguiente tabla, se indican algunos valores.

**Tabla 2. Superficie Cuenca y ACAP**

Nombre Cuenca	Superficie km <sup>2</sup>	Nombre ACAP	Superficie km <sup>2</sup>	Porcentaje
Río Biobío	24.332	Concepción-San Pedro	24.091	99,0
Río Carampangue	1.255	Arauco	1.228	97,8
Río Lebu	855	Lebu	746	87,3
Río Andalién	797	Los Pioneros Andalién	451	56,6
Río Paicaví	1.208	Cañete	308	25,5
Río Pingueral	250	Pingueral	238	95,2

Fuente: Elaboración propia

En la región del Biobío habitan 1.556.805<sup>65</sup> personas, asimismo la porción de La Araucanía alcanza a unos 100 mil habitantes<sup>66</sup> y en Ñuble no supera los 3 mil habitantes.

En relación con las principales actividades productivas esta es coincidente con el principal uso de uso del área de estudio, en dónde el 31% de la superficie es ocupada por plantaciones forestales y cuya presencia es mayoritaria en la cordillera de la costa, valle central y precordillera. Posteriormente toda la gestión y logística de la industria forestal, se procesa en numerosas instalaciones, para finalmente ser exportada desde el sistema portuario regional Pencopolitano. El segundo uso de suelo en extensión es el bosque nativo, el cual se encuentra en

<sup>61</sup> Los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) son gestionados por el Programa de Agua Potable Rural de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), <http://www.doh.gov.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/acercaAPR.aspx>

<sup>62</sup> Los Sistemas de Agua Potable Rural Externos, corresponden a otros Sistemas de APR que no son gestionados por la DOH. Hasta el momento no existe un registro oficial ni completo de los mismos.

<sup>63</sup> Región del Biobío: 24.021 km<sup>2</sup>, <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region8/>

<sup>64</sup> Cuenca del río Biobío: 24.332,1 km<sup>2</sup>, [https://snia.mop.gob.cl/sad/Anexo\\_Cartografico.pdf](https://snia.mop.gob.cl/sad/Anexo_Cartografico.pdf)

<sup>65</sup> <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8>

<sup>66</sup> <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region9/>

constante presión antropogénica y con presencia mayoritaria en la cordillera andina y luego costera. Con el 20% siguen las actividades agropecuarias. El uso de suelo urbano, solo cubre el 0,55% del área de estudio, pero contiene al 90% de los habitantes. Los matorrales cubren otro 10% y finalmente, otros 15 usos se distribuyen el 10% restante.

## 5.2.- Objetivo Específico A. Identificar, describir y representar *espacialmente* las ACAP de la región del Biobío

### 5.2.1.- Identificación y delimitación de las ACAP

De acuerdo con la DGA<sup>67</sup> una cuenca se define como un “Área geográfica cuyas aguas superficiales y subterráneas drenan o vierten a una red hidrográfica común y finalmente hacia un curso mayor o principal que desemboca en el mar o lago”. En el caso de las ACAP se procedió a identificar el punto de captación de agua, superficial o subterránea, que inicia el sistema de agua potable y que forma parte de una cuenca o sub-cuenca.

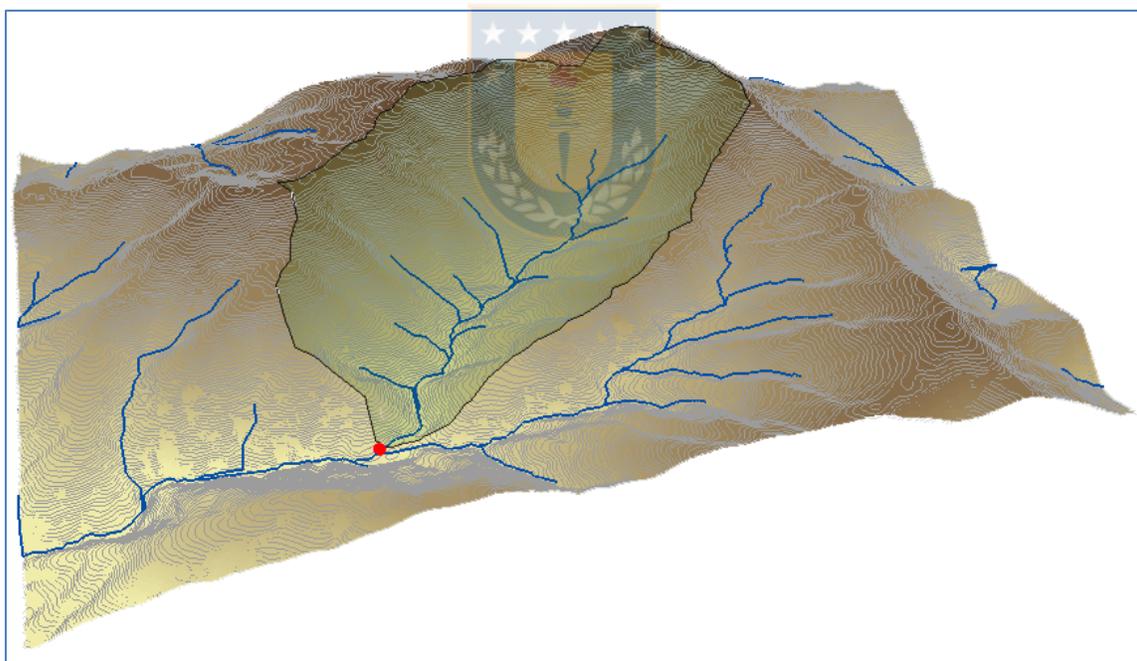


Figura 11. Ubicación punto captación de agua potable y ACAP. Fuente: ArcGeek  
<https://acolita.com/delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrografica-especifica-en-arcgis/>

<sup>67</sup> MOP, DGA, Redefinición de cuencas Página 10  
[http://documentos.dga.cl/Informe\\_Final\\_de\\_la\\_Redefinicion\\_de\\_las\\_Cuencas\\_DGA.pdf](http://documentos.dga.cl/Informe_Final_de_la_Redefinicion_de_las_Cuencas_DGA.pdf)

En este sentido, la ACAP corresponde a un área de drenaje (Figura 11), su delimitación se realizó a partir de información digital de la Dirección General de Aguas (DGA), modelo digital de elevación (MDE<sup>68</sup>) y posterior proceso en ambiente SIG (ArcGIS).



**Figura 12.** Izquierda, captación superficial, sistema APR DOH San José de Colico, Comuna de Curanilahue. Derecha, estanque sistema de APR DOH, El Pino-San Miguel, comuna de Los Ángeles. Fotografías del autor.

Sin embargo, es necesario distinguir las obras de captación de agua potable de acuerdo con la Norma Chilena N° 777, que son de los siguientes tipos:

1. Captación de Aguas Superficiales<sup>69</sup>
  - a. Captación lateral
  - b. Captación en lagos, lagunas y embalses
  - c. Captación flotante
  - d. Captación móvil
  - e. Captación de manantiales
  - f. Captación de alta montaña
  - g. Captación de agua de mar
  - h. Captación de aguas lluvias
  
2. Captación de Aguas Subterráneas<sup>70</sup>
  - a. Pozos profundos (sondajes)
  - b. Punteras

<sup>68</sup> Modelo Digital de Elevación (MDE) o Digital Elevation Model (DEM) <https://acolita.com/descargar-un-modelo-de-elevacion-dem/> [http://shadedrelief.com/3D\\_Terrain\\_Maps/index.html](http://shadedrelief.com/3D_Terrain_Maps/index.html) <https://web.archive.org/web/20110820070537/http://www.intermap.com/en-us/nextmap/digitalelevationmodels.aspx>

<sup>69</sup> Instituto Nacional de Normalización (INN) Nch 777/1, Tipos de captación página 12, <https://www.inn.cl/>

<sup>70</sup> Instituto Nacional de Normalización (INN) Nch 777/2, Tipos de captación página 14, <https://www.inn.cl/>

- c. Drenes
- d. Galerías
- e. Norias

Por otro lado la SISS<sup>71</sup> informa los siguientes tipos de captación:

- a. Captación Río
- b. Captación Embalse
- c. Captación Canal
- d. Captación Punteras
- e. Captación Dren
- f. Captación Sondajes
- g. Captación Norias

Las 3 primeras se pueden considerar “captaciones superficiales” y las siguientes 4 siguientes como “captaciones subterráneas”.

En el caso de los Sistemas de APR de la DOH del Biobío, las captaciones se clasifican en superficial y subterráneo.

Para los APR Externos, no existe información completa y oficial, se han incluido en este estudio aquellos sistemas en los cuales se pudo identificar su captación.

En el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA<sup>72</sup> indica: “En Chile la mayoría de los acuíferos están formados por depósitos aluviales cuaternarios, conectados hidráulicamente a un río. En algunos casos se observa que existe una estrecha relación entre las componentes de origen superficial y subterráneo que integran el caudal de un río. El tipo de conexión hidráulica está definido por la disposición de las formaciones geológicas permeables en relación con el cauce del río, y por la relación relativa de los niveles del río y del agua subterránea en el sector.

Para el análisis de la *interferencia río-acuífero*, es necesario primero estudiar cada situación en particular con el objeto de verificar la ocurrencia de este fenómeno.

Se ha establecido como criterio general, que se realizará análisis de interferencia cuando el cauce superficial presente escurrimiento continuo y cuando la captación en cuestión se encuentre a una distancia igual o menor a 200 metros del mismo”.

---

<sup>71</sup> La SISS respondió a un requerimiento de información del suscrito

<sup>72</sup> DGA, [https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced\\_darh.pdf](https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced_darh.pdf) página 91

Este preámbulo es importante pues, las captaciones subterráneas, en muchos casos (al momento de procesar la información en ArcGIS) no generan un área o ACAP, debido a que la captación se encuentra alejada de un curso de agua, de este modo en el ambiente SIG<sup>73</sup>, no es posible generar un área. Asimismo, otras captaciones subterráneas que se encuentran cerca de un curso de agua, pueden generar un área o ACAP.

Por ejemplo las captaciones ‘subterráneas’ de San Pedro de La Paz, Cochran (Chiguayante), Hualqui, Talcamávida, Santa Juana, San Rosendo, Laja, Nacimiento, Negrete y Santa Bárbara entre otras, corresponden a captaciones subterráneas que generan ACAP, por otro lado, las captaciones ‘subterráneas’ de la ciudad de Los Ángeles, no generaron un ACAP. Un registro de los ACAP considerados en este estudio se incluye en el anexo A.



Figura 13. Izquierda, estanque sistema APR Externo El Pino, Comuna de Concepción. Derecha, captación en río Rafael, ESSBIO, pueblo de Rafael, comuna de Tomé. Fotografías del autor.

### 5.2.2.- Descripción, caracterización y representación de las ACAP

La caracterización de las ACAP se basó en la revisión de documentos y publicaciones científicas de organismos internacionales y nacionales, como asimismo reportes e informes de carácter sectorial público. De esta forma se han seleccionado los elementos más representativos que pueden ser cuantificados con la información disponible y se definieron los siguientes índices, que serán la base del cálculo de la vulnerabilidad de las ACAP:

---

<sup>73</sup> SIG: Sistema de Información Geográfico,  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_geogr%C3%A1fica](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica)  
<https://support.esri.com/es/other-resources/gis-dictionary/term/9f04737b-f242-4131-93b1-921bbbae40b9>

1. Índice de Uso del suelo (US)
2. Índice de Tamaño del área captación de agua potable (TA)
3. Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE)
4. Índice de Densidad de Viviendas (VIV)
5. Índice de Actividades Antropogénicas (AA)
6. Índice de Densidad Vial (DV)
7. Índice de Derechos de Agua (DA)
8. Índice de Área Protegidas (AP)
9. Índice de Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (GOD)

En la Tabla 3, se presenta una síntesis de los 9 índices y en las figuras 23 a 31, un mapa para cada índice.

**Tabla 3. Tabla síntesis criterios**

ÍNDICE	SIGLA	FUENTE	INFORMACIÓN
Índice Uso de Suelo	US	CONAF <sup>74</sup>	Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, de las regiones de Ñuble, Biobío y La Araucanía. Ver figura 23.
Índice Tamaño Área de Captación de Agua Potable	TA	SISS <sup>75</sup> , DOH <sup>76</sup> , IDE <sup>77</sup>	Planilla de coordenadas de las captaciones de agua potable de los sistemas concesionadas (SISS) y de los sistemas APR (DOH). Luego a partir del DEM <sup>78</sup> disponible en la web del IDE se calcula la ACAP de cada captación. Ver figura 24.
Índice de Desarrollo Socio-Económico	IDSE	OCHISAP <sup>79</sup>	Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE) que incluye el componente de economía (ingreso per cápita mensual; y pobreza), educación (años de escolaridad promedio) y vivienda y saneamiento (material bueno y aceptable de la vivienda; y alcantarillado o fosa séptica). Desarrollado por C. Gattini (2002), es un indicador compuesto que se basa en la modalidad de desarrollo del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del PNUD. De esta

<sup>74</sup> Corporación Nacional Forestal (CONAF), <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>

<sup>75</sup> Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>

<sup>76</sup> Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), <http://www.doh.gov.cl/Paginas/default.aspx>

<sup>77</sup> Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), <http://www.ide.cl/>

Ñuble <http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1575-dem-alos-palsar-region-del-nuble>  
 Biobío <http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1572-dem-alos-palsar-region-del-biobio>  
 La Araucanía <http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1566-dem-alos-palsar-region-de-la-araucania>

<sup>78</sup> Digital Elevation Model (DEM) o Modelo Digital del Terreno (MDT), <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm> <http://www.ide.cl/index.php/noticias/item/1474-disponibles-modelos-digitales-de-elevacion-regionales-de-12-5-metros-para-la-descarga-directa>

<sup>79</sup> Observatorio Chileno de Salud Pública (OCHISAP), <http://www.ochisap.cl/>

ÍNDICE	SIGLA	FUENTE	INFORMACIÓN
			manera, se consultó el índice IDSE para las comunas consideradas en este estudio. Ver figura 25.
Índice de Densidad de Viviendas	VIV	INE <sup>80</sup>	Censo 2017, registro de viviendas rurales y urbanas. Ver figura 26.
Índice de Actividades Antrópicas	AA	INFOR <sup>81</sup> , MMA <sup>82</sup> , SUBDERE <sup>83</sup> , MINSAL <sup>84</sup> , ODEPA <sup>85</sup>	Industria forestal primaria (INFOR) <sup>86</sup> , Catastro frutícola CIREN-ODEPA <sup>87</sup> , plantas de tratamiento de aguas servidas rurales <sup>88</sup> , cementerios <sup>89</sup> , rellenos sanitarios <sup>90</sup> , Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) <sup>91</sup> del MMA. Ver figura 27.
Índice de Densidad Vial	DV	INE	Precenso 2016, archivo que contiene todas las vías de comunicación necesarias para realizar la labor censal, incluye tanto las vías de comunicación urbana como rurales. Ver figura 28.
Índice Derechos de Agua	DA	DGA <sup>92</sup>	Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA. Ver figura 29.
Índice Áreas Protegidas	AP	MMA y CONAF	Registro Nacional de Áreas Protegidas del MMA (ICP <sup>93</sup> , APP <sup>94</sup> , Reserva de la Biosfera, Sitios prioritarios y otras designaciones <sup>95</sup> ), Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE <sup>96</sup> ). Ver figura 30.

<sup>80</sup> Instituto Nacional de Estadísticas (INE), <https://www.ine.cl/> y <https://www.censo2017.cl/>

<sup>81</sup> Instituto Forestal (INFOR), <https://www.infor.cl/>

<sup>82</sup> Ministerio de Medio Ambiente (MMA), <https://mma.gob.cl/>

<sup>83</sup> Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), <http://www.subdere.gov.cl/>

<sup>84</sup> Ministerio de Salud (MINSAL), <https://www.minsal.cl/>

<sup>85</sup> Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), <https://www.odepa.gob.cl/>

<sup>86</sup> Ministerio de Agricultura (MINAGRI), <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/economia/>

<sup>87</sup> Catastro frutícola, <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas/catastro-fruticola-ciren-odepa>

<sup>88</sup> Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012, <https://www.yumpu.com/es/document/read/28707209/resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-subdere> <https://docplayer.es/13903694-Resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-de-aguas-servidas-sector-rural-ano-2012.html>

<sup>89</sup> Ministerio de Salud (MINSAL) <https://www.minsal.cl/>

<sup>90</sup> Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables (2019), <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Catastro%20de%20sitios%20septiembre%202019.pdf>

<sup>91</sup> Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), <https://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-agua>

<sup>92</sup> Dirección General de Aguas (DGA), Derechos de Aprovechamiento de Aguas Registrados en DGA [https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)

<sup>93</sup> Iniciativa de Conservación Privada (ICP); <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/conservacion-privada/>

<sup>94</sup> Área Protegida Privada (APP), <http://bdnrap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=1251>

<sup>95</sup> Otras Áreas Protegidas, <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/otras-designaciones/>

<sup>96</sup> SNASPE: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/proteccion-snaspe/>

ÍNDICE	SIGLA	FUENTE	INFORMACIÓN
Índice de Vulnerabilidad del Acuífero	GOD	SERNAGEOMIN <sup>97</sup>	Mapa de Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y sitios prioritarios para la conservación de la Biodiversidad: identificación de zonas críticas. Región del Biobío y La Araucanía. Ver figura 31.

Fuente: CONAF (2015), SISS (2020), DOH (2020), IDE (2020), OCHISAP (2013), INE (2017), INFOR (2016), MMA (2020), DGA (2020), SERNAGEOMIN (2006)



Figura 14. Izquierda, puntera sistema APR Externo Villa Esperanza, Comuna de Florida. Derecha, estanque en APR Externo Villa San Francisco, comuna de Los Ángeles. Fotografías del autor.

En las siguientes figuras 15 a 22, se muestra el esquema unifilar<sup>98</sup> de todos los ACAP.

<sup>97</sup> SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería, <https://www.sernageomin.cl/hidrogeologia/> y <http://tienda.sernageomin.cl/tiendavirtual2/ProductDetail.aspx?pid=2331>

<sup>98</sup> Un esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica simplificada de flujos y/o relaciones entre elementos de un sistema. Se utiliza en Hidrología e Hidrografía para la representación de flujos de agua. Todos los catastros de usuarios de agua de la DGA poseen esquemas unifilares que representan la distribución del flujo de agua en los canales de riego.

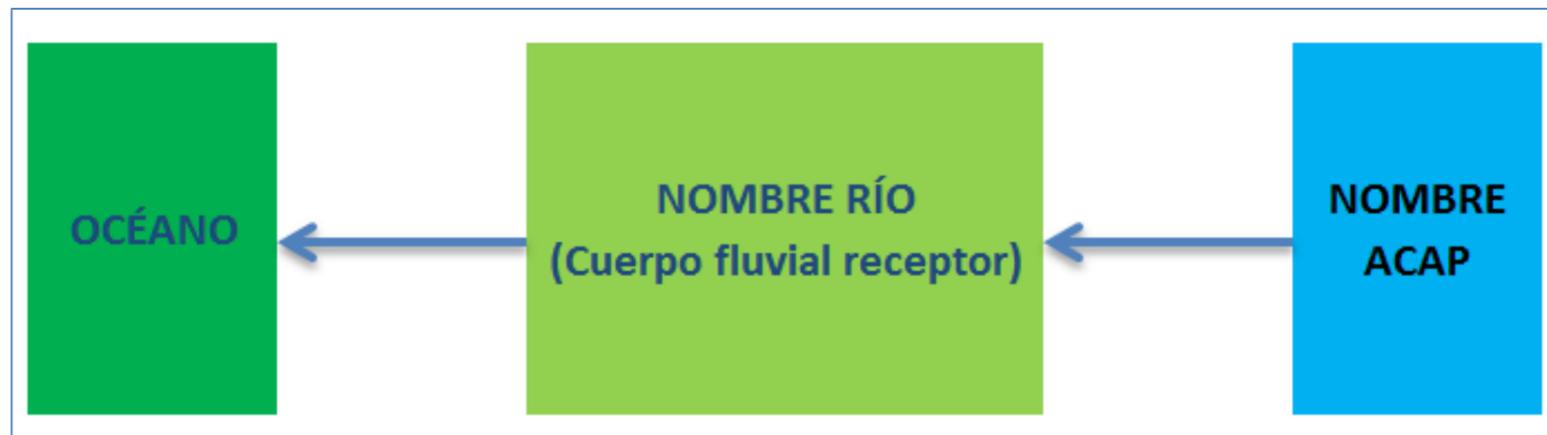


Figura 15. Ejemplo de Esquema unifilar.  
Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Esquema Unifilar del río Itata  
Fuente: Elaboración propia

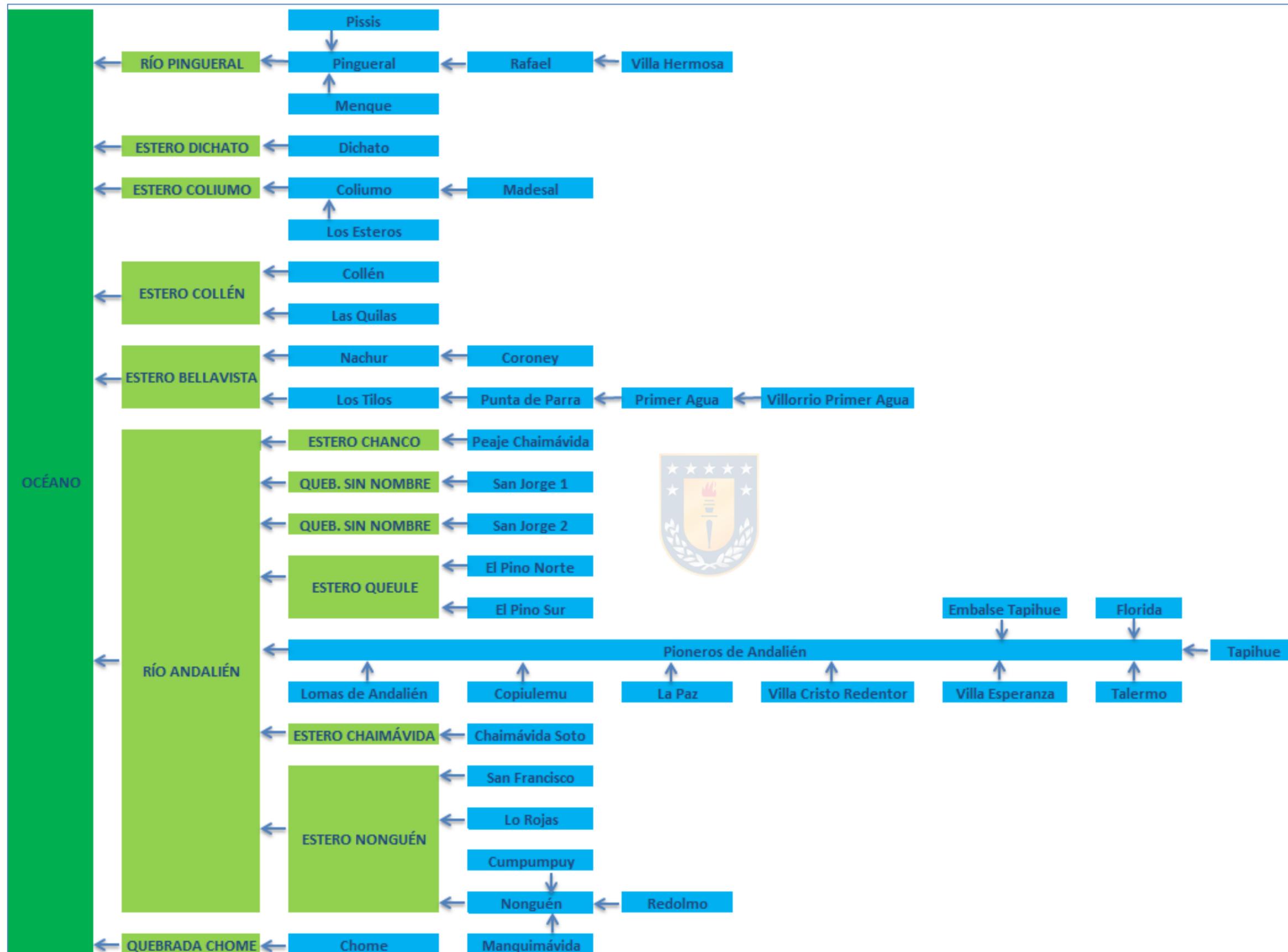


Figura 17. Esquema Unifilar al norte del río Biobío  
Fuente: Elaboración propia

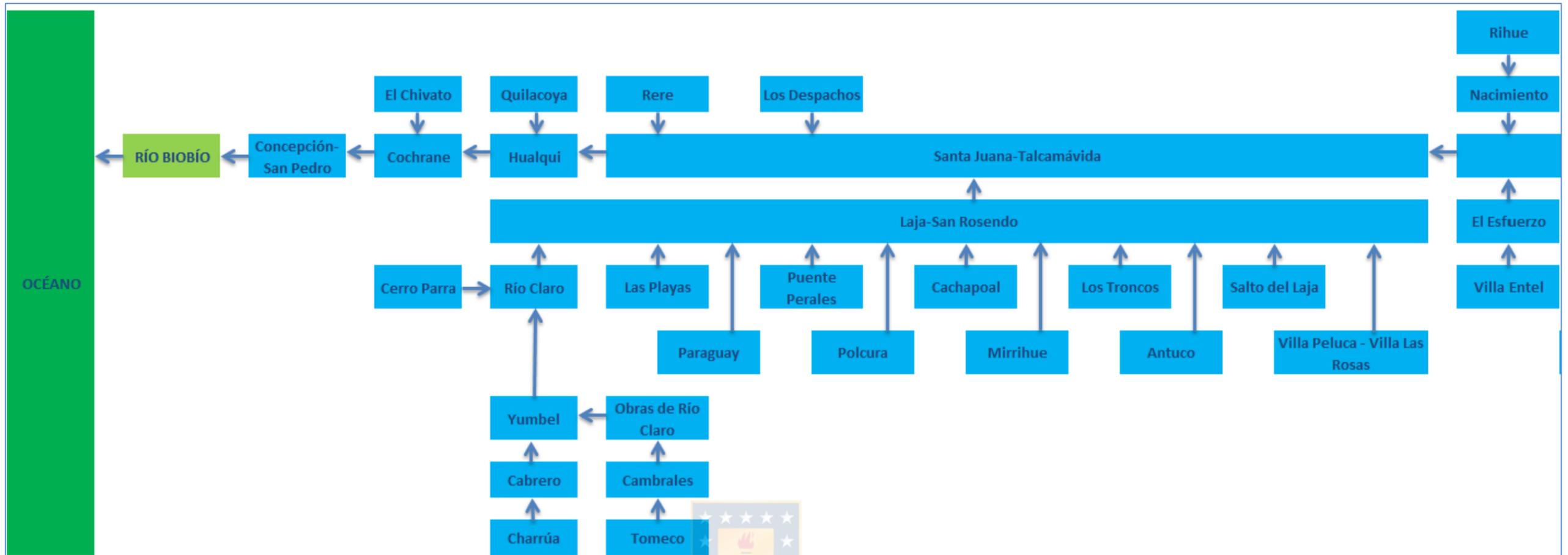


Figura 18. Esquema Unifilar del río Biobío, parte poniente  
Fuente: Elaboración propia

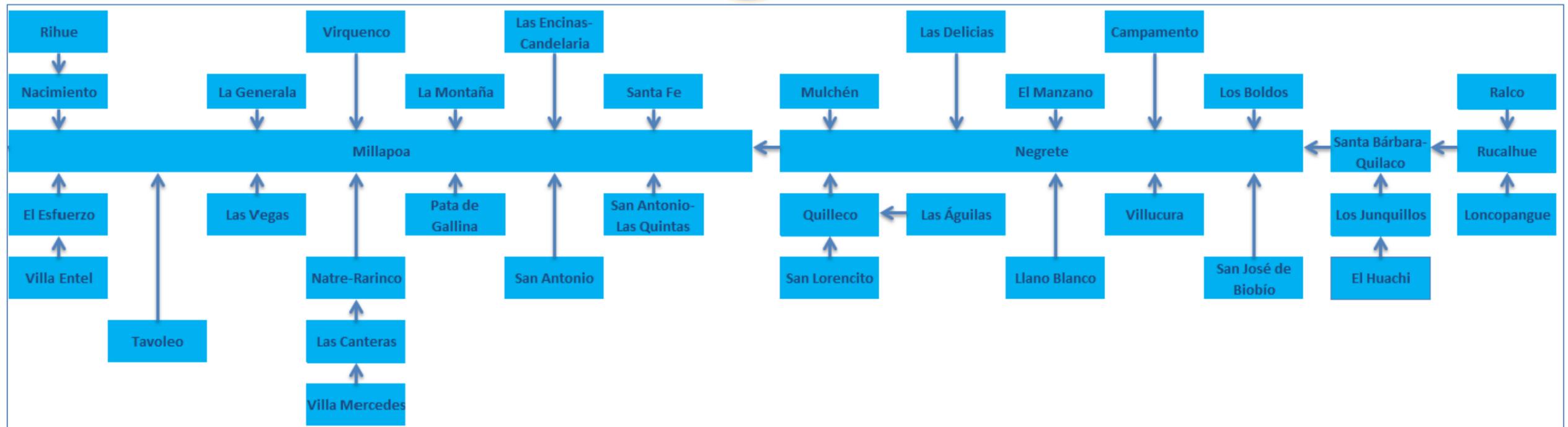


Figura 19. Esquema Unifilar del río Biobío, parte oriente  
Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Esquema Unifilar al sur del río Biobío, hasta estero Pangué  
Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Esquema Unifilar del río Paicaví  
Fuente: Elaboración propia



Figura 22. Esquema Unifilar al sur del río Paicaví, hasta el río Tirúa  
Fuente: Elaboración propia.



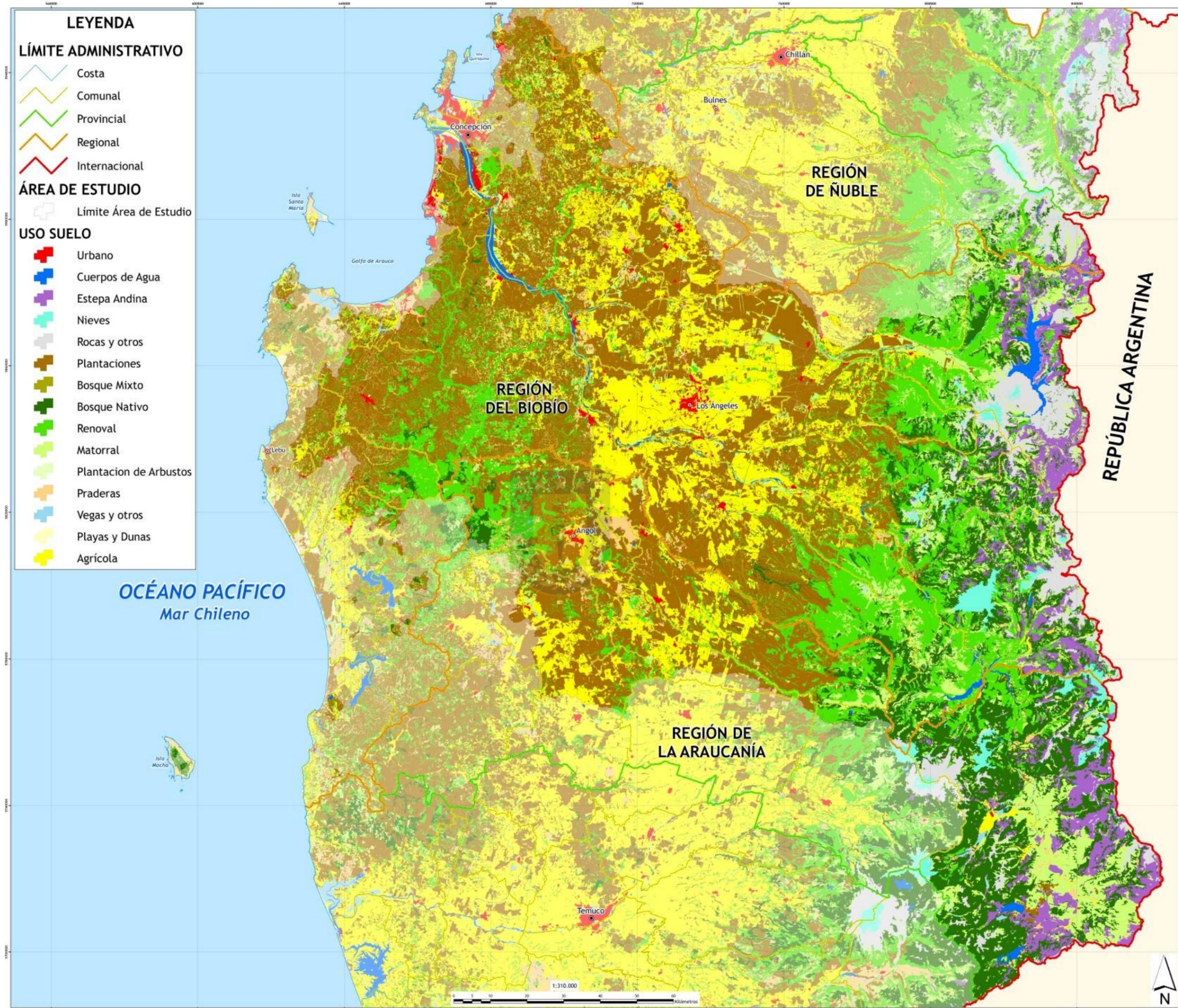


Figura 23. Uso de Suelo del área de estudio. Fuente: Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (2015) CONAF.

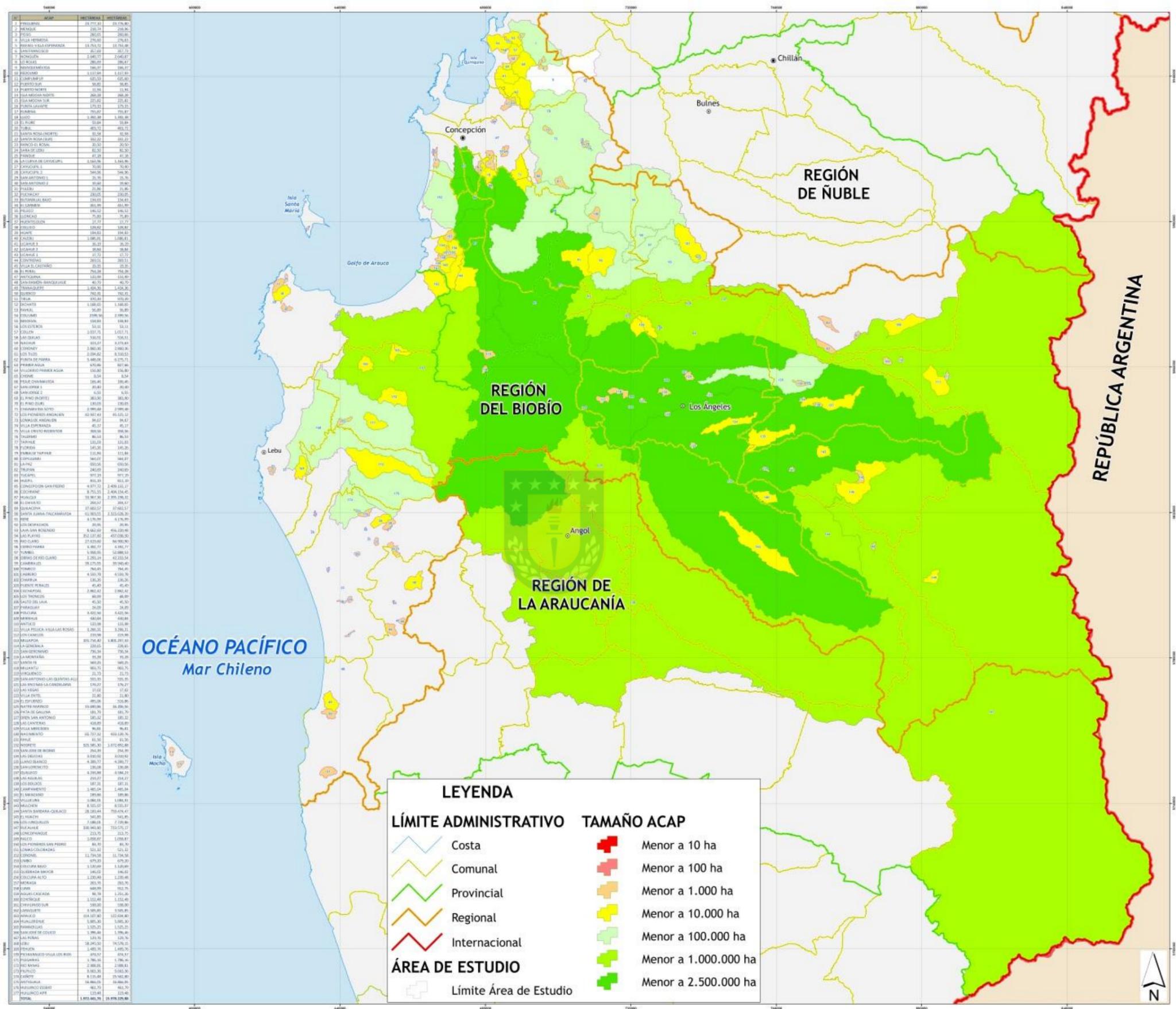


Figura 24. Tamaño de la ACAP. Fuente: Imágenes DEM disponible en IDE Chile de las regiones de Ñuble, Biobío y La Araucanía.

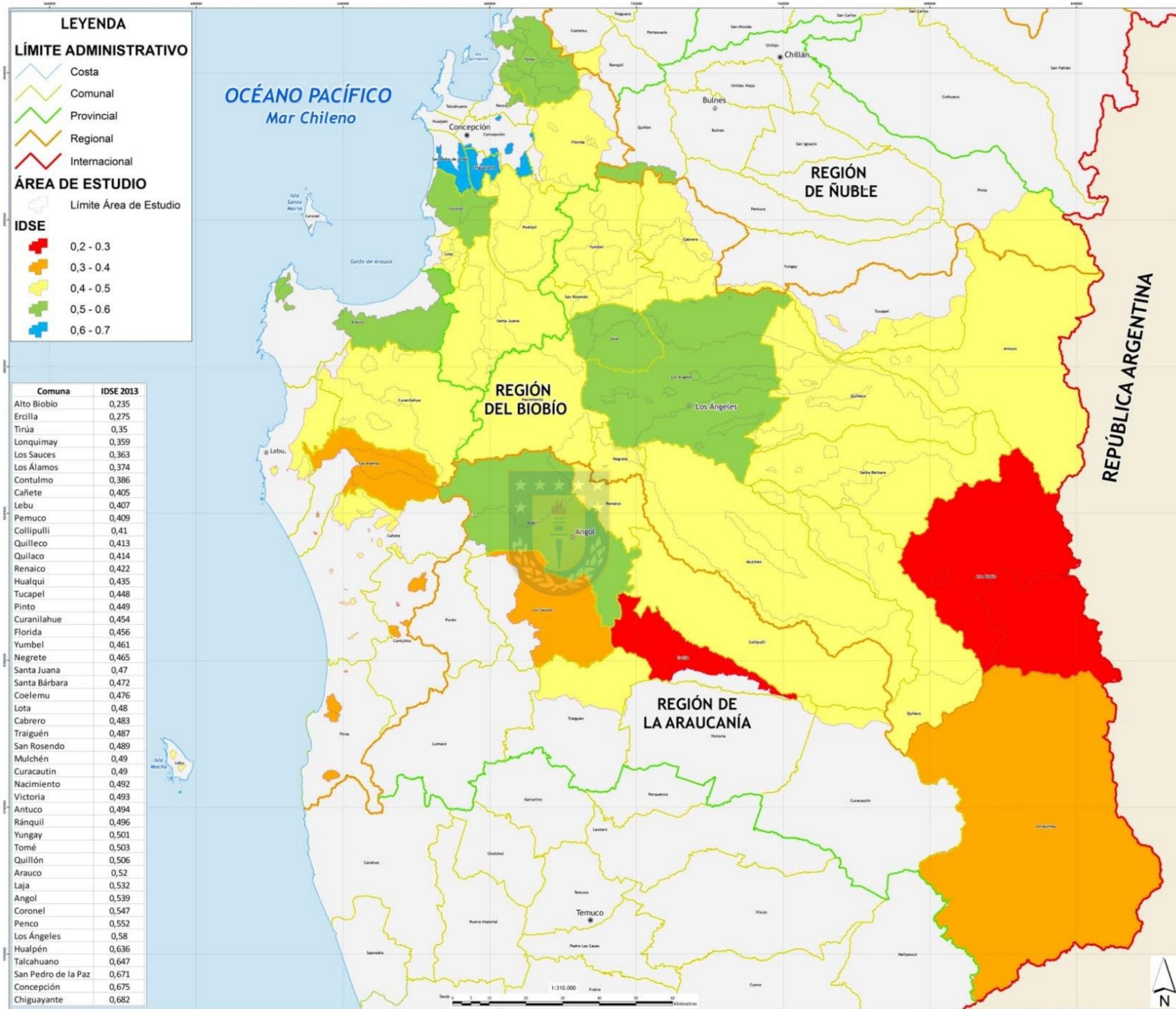


Figura 25. Índice de Desarrollo Socio Económico de la Región del Biobío. Fuente: Observatorio Chileno de Salud Pública (2014).



Figura 26. Viviendas rurales y urbanas del área de estudio. Fuente: INE (2017).

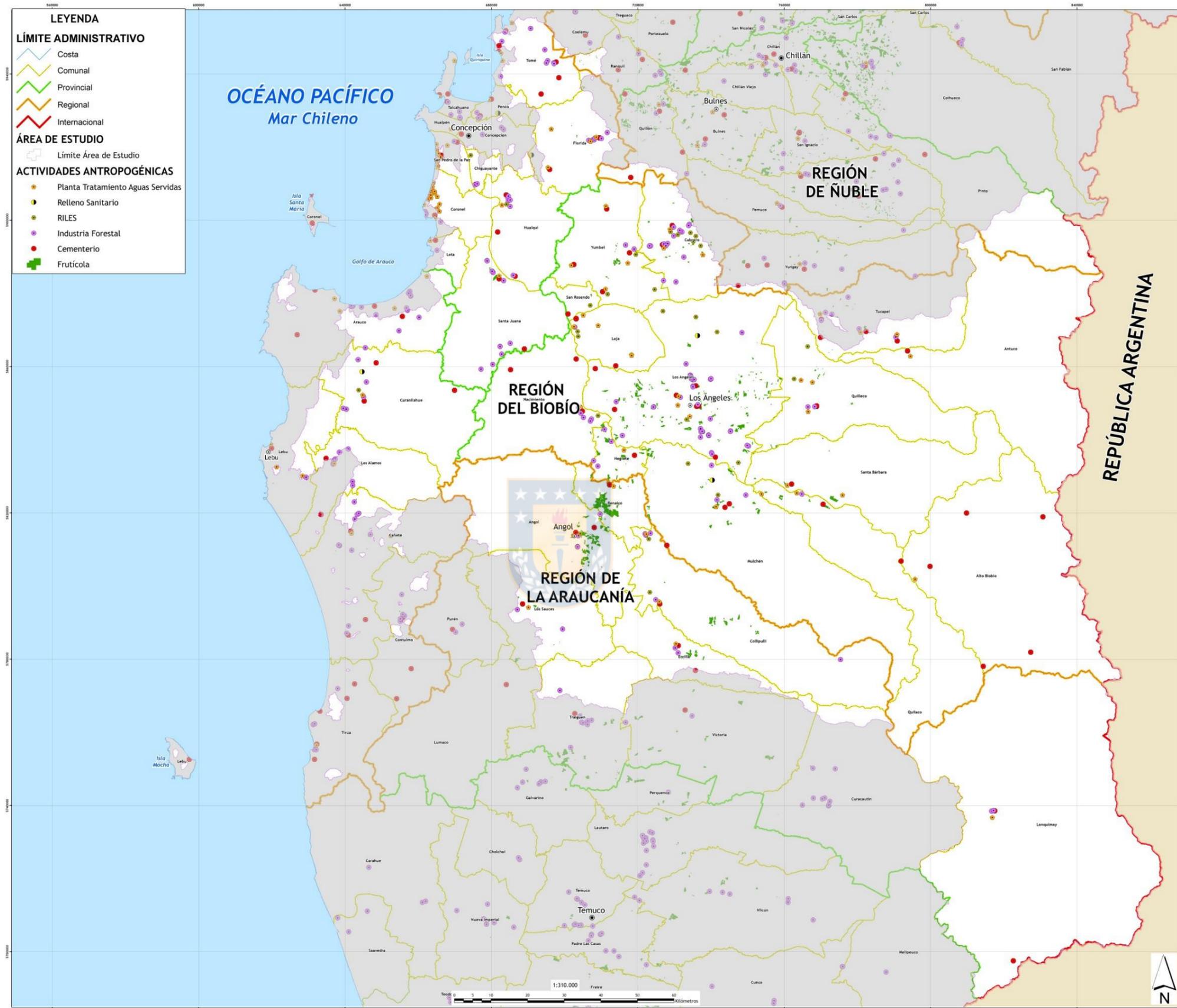


Figura 27. Actividades Antrópicas del área de estudio. Fuente: Registro de la industria forestal primaria de INFOR (2019), Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), Catastro frutícola, Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012, Ministerio de Salud (cementeros), Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables (2019)



Figura 28. Red Vial del área de estudio. Fuente: INE (2017).

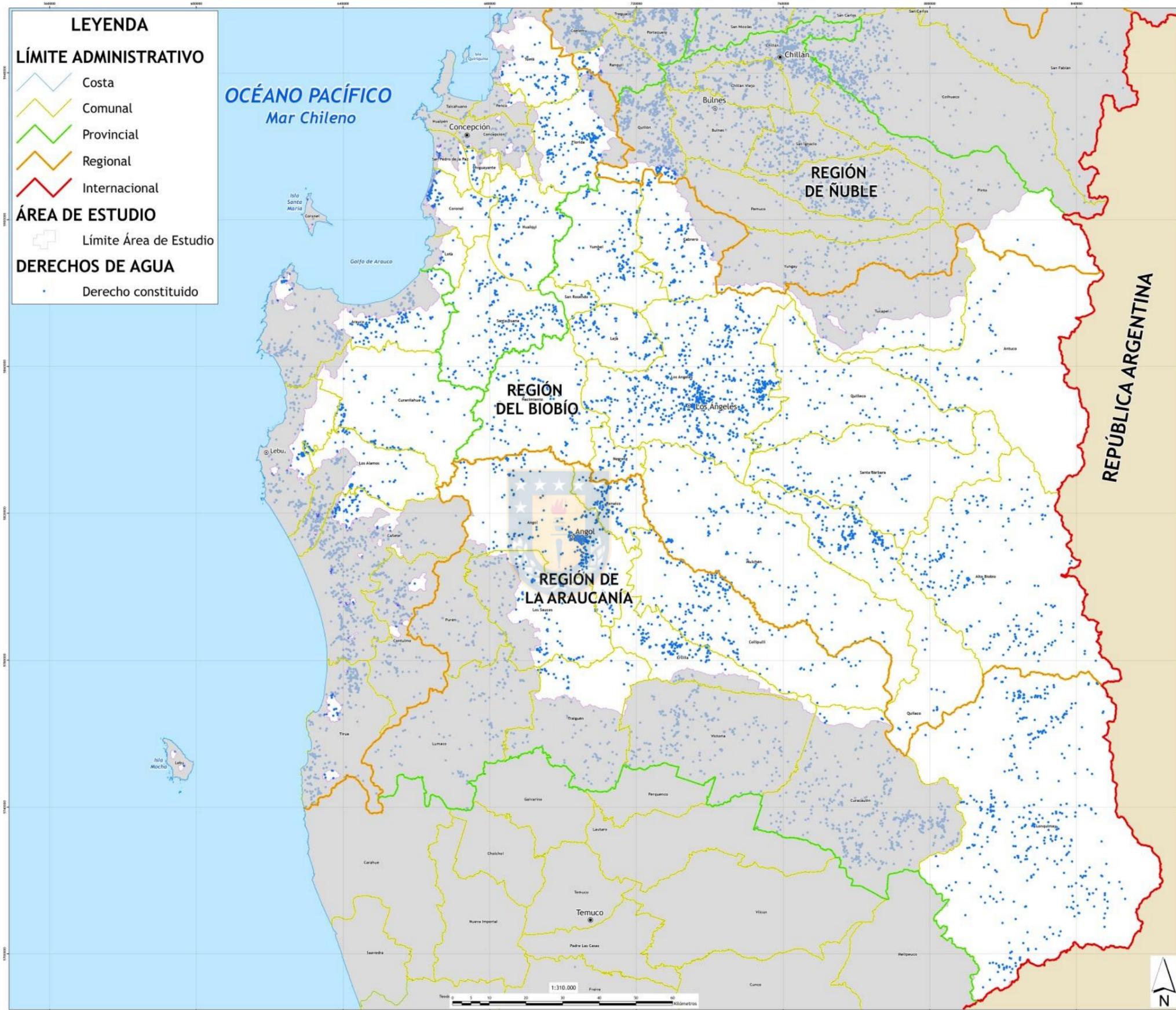


Figura 29. Derechos de Agua constituidos en el área de estudio. Fuente: DGA (2019).

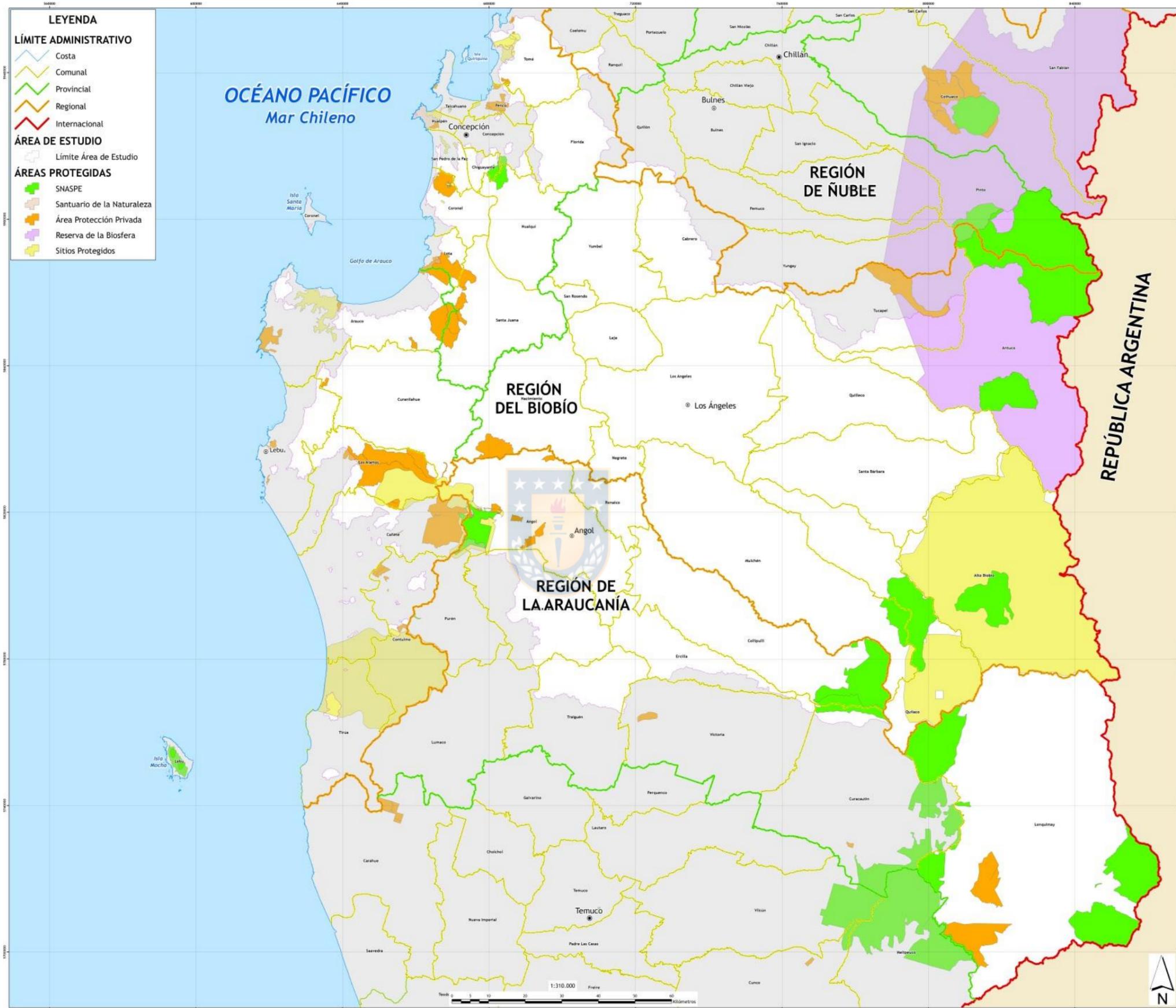


Figura 30. Áreas Protegidas del área de estudio. Fuente: Registro Nacional de Áreas Protegidas del MMA, Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) de CONAF.

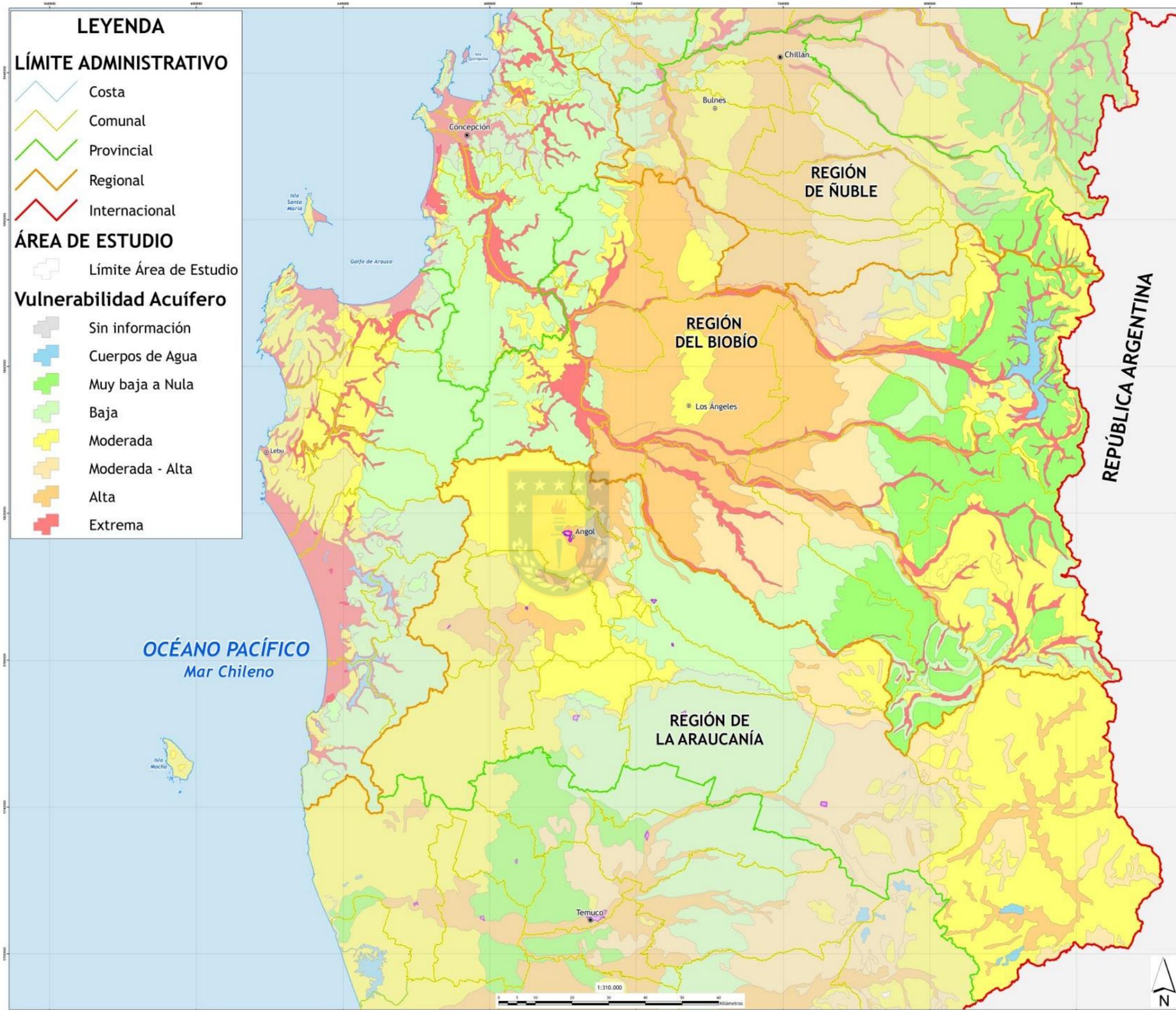


Figura 31. Vulnerabilidad del Acuífero en el área de estudio. Fuente: SERNAGEOMIN (2006).

### 5.2.3.- Actividades de terreno

Desde el año 2015, se llevaron a cabo actividades de recopilación y reconocimiento de los sistemas de agua potable, tanto de la SISS, APR DOH y APR externos, recopilando el tipo de captación (*superficial o subterráneo*), emplazamiento (sistema de coordenadas WGS 84 huso 18 sur), número de arranques, volumen y altura del estanque entre otras características, aun así son sólo unos 100 sistemas de los casi 400 sistemas identificados (de los que sólo en 177 se pudo constituir ACAP), que se ha podido visitar en terreno.

Durante, este período de tiempo, se emplearon varios modelos de fichas, en la siguiente tabla, se muestra la ficha más reciente:

**Tabla 4.** Ficha de registro de Sistemas de APR

		<h2 style="margin: 0;">REGISTRO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL</h2>	
COMUNA			
NOMBRE SISTEMA			
FECHA			
N° RUT			
AÑO CONSTRUCCIÓN			
N° ARRANQUES			
DEMANDA DE ARRANQUES			
TIPO CAPTACIÓN (SUBTERRÁNEA / SUPERFICIAL)			
COORDENADA X		COORDENADA Y	
TIENE COMPUTADOR - TIENE WEB			
CORREO INSTITUCIONAL			
FONO INSTITUCIONAL			
ESTANQUE	TIPO		
	M3		
	ALTURA		
COMITÉ o JJVV			
QUIEN FINANCIÓ			
TIPO DESINFECCIÓN (Hipoclorito de calcio - Hipoclorito de sodio)			

PRODUCCIÓN DE AGUA (M3)	PRODUCIDO	
	FACTURADO	
TIPO PROBLEMA		
CAMIÓN ALJIBE		
RESOLUCION SANITARIA		
ANÁLISIS FISICOQUIMICO		
NÚMERO EXPEDIENTE - INSCRIPCIÓN DERECHOS DE AGUA		
INSCRIPCIÓN CBR Y DOMINIO VIGENTE	CAPTACIÓN	
	ESTANQUE	
	CASETA	
	OFICINA/SEDE	
ENERGÍA	N° CLIENTE o SERVICIO	
	EMPRESA	
	GENERADOR / Marca / Año compra	
	TIPO COMBUSTIBLE (Diesel / Gasolina)	
	CAPACIDAD HORAS FUNCIONANAMIENTO Y VOLUMEN	
PTAS	TIENE	
	TIPO (Lombrifiltro/ Lodo activado / Biodisco)	
PRESIDENTE	NOMBRE	
	FONO	
	MAIL	
SECRETARIO	NOMBRE	
	FONO	
	MAIL	
TESORERO	NOMBRE	
	FONO	
	MAIL	

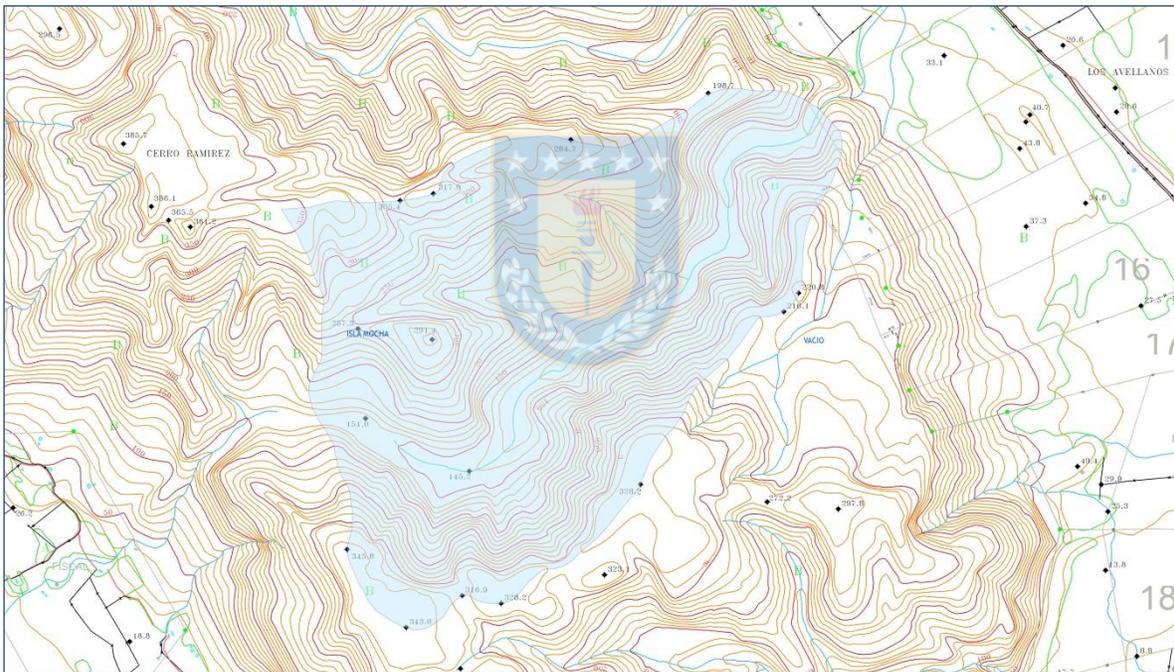
Fuente: DIRPLAN Biobío (2020)

Las actividades se desarrollaron en las provincias de Arauco, Biobío y Concepción.

#### 5.2.4.- Elaboración y representación cartográfica

Mediante el uso de SIG (ArcGIS) se elaboró cartografía que permitiera delimitar las ACAP del área de estudio, así como también todos los mapas requeridos. Asimismo, se empleó información digital<sup>99</sup> como cartografía base y se creó una base de datos alfanumérica y gráfica. Toda la información se manejó en ambiente SIG, proceso que facilitó la construcción de los subíndices y el cálculo de la vulnerabilidad de las ACAP.

En la figura N° 32, que corresponde a la ACAP N° 15 Isla Mocha Sur, se muestra en celeste la ACAP delimitada (ver 5.2.1.), haciendo uso de las herramientas SIG. Este proceso se replicó en otras 176 ocasiones, completando 177 ACAP.



**Figura 32.** Delimitación del ACAP de la captación sur del APR Isla Mocha.  
**Fuente:** Plano base 1:10.000 de la Isla Mocha, MBN (1998).

<sup>99</sup> Hidrografía, topografía y toponimia (IGM, carta 1:50.000), límites administrativos, límites urbanos, viviendas rurales, entidades pobladas y red vial (INE), modelo digital de elevación (IDE), Derechos de Agua (DGA), Industria Forestal (INFOR), Catastro Frutícola (ODEPA), Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (MMA), entre otras.

### 5.3.- Objetivo Específico B

Construir un índice integrado que jerarquice la *vulnerabilidad* de las ACAP en la región del Biobío y permita su jerarquización en términos de propuestas de gestión.

#### 5.3.1.- Descripción de componentes o sub-índices

La construcción del Índice de Vulnerabilidad de las ACAP (IV-ACAP) se basó en la integración de una serie de *sub-indicadores* o índices parciales que reflejan la dinámica económica, productiva y socio-demográfica que actúan, de manera conjunta, sobre un determinado territorio o ACAP (Tabla 5).

Luego en las tablas 6 a 15, se especifican para cada uno de los índices, la categorización de cada tipo, comuna, longitud, superficie, densidad y volumen su respectivo valor, factor de ponderación y calificación de priorización.

Una vez definidos los valores que se deben asignar, corresponde calcular para cada ACAP, los valores de cada criterio.

A modo de ejemplo para el cálculo de IDSE, el ACAP “A”, de 1.000 km<sup>2</sup>, con 700 km<sup>2</sup> en comuna “B” y 300 km<sup>2</sup> en la comuna “C” y cuyo factor de ponderación es “B” = 0,1 y “C” = 0,7. En este caso el valor de IDSE es:

$$\text{ACAP A: } B [(700/1000) \times 0,1] + C [(300/1000) \times 0,7] = 0,28$$

El valor 0,28 tiene una calificación de priorización ‘menor’ en el caso del IDSE.

Este procedimiento se aplica en los criterios Área protegidas, GOD y Uso de Suelo, este último es particularmente el más complejo, debido a los 24 tipos de uso de suelo presente en el área de estudio.

Luego en los criterios densidad de viviendas, densidad Vial, actividades antropogénicas y derechos de agua, se debe contabilizar los registros o longitud en cada ACAP y dividir por la superficie de cada ACAP.

Finalmente, en el caso del Tamaño, sólo se requirió calcular la superficie de cada ACAP.

**Tabla 5. Descripción sub-índices cálculo índice vulnerabilidad de ACAP**

Nombre	Objetivo	Descripción	Modo de Cálculo	Datos Requeridos
1.- Índice de Uso del Suelo (US)	Identificar y clasificar la potencialidad contaminante <sup>[1]</sup> de las diversas actividades de uso de suelo que se desarrollan en el área de captación de agua potable (ACAP).	El uso del suelo se representa mediante polígonos de acuerdo a la información aportada por CONAF en el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile <sup>100</sup> de las regiones de Biobío y La Araucanía.	En cada ACAP y en cada polígono de uso de suelo se calcula la superficie (ArcGIS); posteriormente se calcula el <i>valor ponderado</i> asociado a cada uso de suelo, asignando un peso a cada uso de suelo y de acuerdo a superficie de cada categoría. Luego, se suman todos los indicadores ponderados y se obtiene un coeficiente de uso de suelo por cada ACAP. Posteriormente, y a partir de los resultados obtenidos, se clasifica la <i>vulnerabilidad</i> de las ACAP, en términos de uso del suelo, en tres categorías: menor, media y mayor (ver Tabla 4).	Archivo digital de uso de suelo del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de las regiones de Ñuble, Biobío y La Araucanía y archivo ACAP <sup>101</sup> de este estudio.
2.- Índice de Tamaño de captación de agua potable (TA)	Identificar y clasificar la potencialidad contaminante de acuerdo con el tamaño de cada ACAP.	El tamaño se representa mediante polígonos aportado por el archivo ACAP. Este archivo es de construcción propia.	Se calcula en ArcGIS la superficie en hectáreas y km <sup>2</sup> de cada ACAP. Luego, a cada ACAP se le asigna un coeficiente de acuerdo con la superficie obtenida (ver Tabla 5).	Archivo ACAP tipo shapefile que contiene la superficie de cada ACAP. Archivo de construcción propia.

<sup>100</sup> <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/> y <https://sit.conaf.cl/>

<sup>101</sup> El archivo ACAP contiene 177 unidades y cubre una superficie de 2.764.250,27 hectáreas (27.614,25 km<sup>2</sup>).

Nombre	Objetivo	Descripción	Modo de Cálculo	Datos Requeridos
3.- Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE)	Identificar y clasificar el Índice de Desarrollo Socio-Económico de cada ACAP.	Este índice integrado OCHISAP <sup>102</sup> utiliza el Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE) que incluye: ingreso per cápita mensual; pobreza; años de escolaridad promedio, vivienda y saneamiento (materialidad, alcantarillado o fosa séptica). Desarrollado por C. Gattini (2002) <sup>103</sup> , es un indicador compuesto que se basa en el IDH del PNUD	Para representar esta variable y empleando herramientas de ArcGIS, en cada ACAP se calculó la superficie que ocupa cada comuna, posteriormente en una planilla se ponderó el indicador. Finalmente se suman todos los indicadores comunales de cada ACAP que constituyen el coeficiente (ver Tabla 6).	Archivo digital tipo shapefile que representa a cada ACAP, archivo digital de los límites administrativos e IDSE de cada comuna.
4.- índice de Densidad de Viviendas (VIV)	Conocer la densidad de viviendas que se encuentran en cada ACAP.	Se contabilizaron la cantidad de viviendas rurales y/o urbanas que se emplazan al interior de cada ACAP.	Con ArcGIS se contabilizaron las viviendas (rurales y/o urbanas) de cada ACAP, luego en la planilla se calculó la densidad y se obtuvo un coeficiente para cada ACAP (Ver Tabla 7).	Archivo digital ACAP y Censo 2017 <sup>104</sup> .
5.- Índice de Actividades Antrópicas (AA)	Conocer la densidad de actividades antrópicas <sup>105</sup> que se encuentran en cada ACAP.	Contabilizar el número de actividades antrópicas que se emplazan al interior de cada ACAP.	En ambiente ArcGIS se contabilizaron las AA por ACAP, luego en planilla se calculó la densidad y se obtuvo un coeficiente para cada ACAP dividiendo por el número de AA	Archivos digitales de diversas fuentes, como son: INFOR <sup>106</sup> , MINAGRI <sup>107</sup> , MINSAL <sup>108</sup> , Ministerio del Interior <sup>109</sup> y <sup>110</sup>

<sup>102</sup> <http://www.ochisap.cl/>

<sup>103</sup> <http://www.ochisap.cl/index.php/determinantes-y-proteccion-social/diversidad-en-nivel-y-desarrollo-social>

<sup>104</sup> INE (Censo 2017) <http://www.censo2017.cl/resultados-precenso-2016> y <http://resultados.censo2017.cl/Home/Download>

<sup>105</sup> En relación a las actividades antrópicas, se han seleccionado especialmente aquellos registros que están georreferenciados y son relevantes en relación con la vulnerabilidad del agua. Estos están referidos a los cementerios, rellenos sanitarios, plantaciones frutícolas, plantas de tratamiento de aguas servidas y empresas forestales.

<sup>106</sup> INFOR: <http://www.ide.cl/download/capas/item/industria-forestal.html> <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/index.php/descargas?id=43>  
<https://wef.infor.cl/mapa/>

<sup>107</sup> MINAGRI: <http://www.ide.cl/download/capas/item/catastro-fruticola-region-del-biobio-viii-2016.html> y <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/index.php/descargas?id=47>

<sup>108</sup> Ministerio de Salud (MINSAL), <https://www.minsal.cl/>

<sup>109</sup> Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012, <https://www.yumpu.com/es/document/read/28707209/resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-subdere> <https://docplayer.es/13903694-Resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-de-aguas-servidas-sector-rural-ano-2012.html>

Nombre	Objetivo	Descripción	Modo de Cálculo	Datos Requeridos
6.- Índice de Densidad Vial (DV)	Identificar la densidad vial en cada ACAP.	La red vial se representa mediante un archivo digital vectorial de líneas.	En ambiente ArcGIS se calculó el número de metros lineales de vías por cada ACAP, luego en la planilla se ponderó esa extensión por la superficie de cada ACAP, de este modo se obtuvo la densidad vial por km <sup>2</sup> . Posteriormente, y de acuerdo al intervalo, se asignó un coeficiente a cada ACAP (Ver Tabla 9).	Archivo ACAP y archivo digital de red vial del Precenso 2016 <sup>111</sup> .
7.- Índice de Derechos de Agua (DA)	Identificar mediante el registro de aprovechamiento de derechos de aguas <sup>112</sup> el uso consuntivo de agua (litros/segundo) de cada ACAP.	El registro de aprovechamiento de derechos de agua, corresponde a una planilla electrónica que gestiona y publica la DGA. Esta planilla posee las coordenadas del punto de aprovechamiento del recurso.	Una vez cartografiados los derechos de aprovechamiento en el ambiente de ArcGIS y empleando el archivo digital ACAP, se procede a reconocer el volumen de derechos consuntivos (l/s/km <sup>2</sup> ) en cada ACAP, para luego obtener un coeficiente para cada ACAP (Ver Tabla 10).	Planilla de derechos de aprovechamiento de agua en DGA y archivo ACAP.
8.- Índice de Áreas Protegidas (AP)	Identificar las áreas que cuentan con protección oficial y voluntaria <sup>113</sup> en las ACAP.	Las áreas SNASPE y otras áreas similares constituyen una porción dentro de las ACAP, esta información se encuentra disponible como archivo digital.	En cada ACAP se calculó la superficie con algún grado de protección, luego la superficie se traspasó a una planilla en la cual se calculó el peso del indicador que posee cada tipo de protección. Posteriormente, se sumó el indicador con protección y	Archivo digital provisto por CONAF de las áreas SNASPE <sup>114</sup> , sitios prioritarios y área de protección privada del MMA <sup>115</sup> y archivo ACAP.

<sup>110</sup> Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables (2019), <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Catastro%20de%20sitios%20septiembre%202019.pdf>

<sup>111</sup> INE (Preenso 2016) <http://www.censo2017.cl/resultados-precenso-2016>

<sup>112</sup> DGA, [https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)

<sup>113</sup> Registro Nacional de Área Protegidas <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

<sup>114</sup> Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/proteccion-snaspe/>

<sup>115</sup> Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Iniciativa de Conservación Privada (ICP), <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/conservacion-privada/>, Área Protegida Privada (APP), <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=1251> Otras designaciones, <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/otras-designaciones/>

Nombre	Objetivo	Descripción	Modo de Cálculo	Datos Requeridos
			el indicador sin protección, obteniendo un coeficiente ponderado para cada ACAP (Ver Tabla 11).	
9.-Índice de Vulnerabilidad del Acuífero a la Contaminación (GOD)	Determinar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.	Evalúa la vulnerabilidad natural del acuífero, como función de la inaccesibilidad de la zona saturada a la penetración de contaminantes, y la capacidad de atenuación de los estratos localizados sobre la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes.	En cada ACAP se ponderaron los distintos tipos de vulnerabilidad para generar un coeficiente por ACAP, según las formaciones geológicas existentes (Ver Tabla 12).	Archivo digital denominado Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos y Sitios prioritarios para la conservación de la Biodiversidad: identificación de zonas críticas <sup>116</sup> .

Fuente: Elaboración propia.



<sup>116</sup> SERNAGEOMÍN (2006), regiones de Biobío y La Araucanía. <http://tienda.sernageomin.cl/tiendavirtual2/ProductDetail.aspx?pid=2331>

### 5.3.2.- Sub-índices, valores, ponderaciones y calificación

En las Tablas 6 a 14 se presentan los valores con que fueron calificados los diferentes elementos que componen los sub-índices del método de cálculo del índice de vulnerabilidad de las ACAP, como también los valores de ponderación asignados y la calificación de importancia o prioridad. Cabe destacar que esta asignación de valores y ponderación se basó en antecedentes bibliográficos. La calificación “*mayor*” indica que la ACAP es más vulnerable frente a ese factor y la calificación “*menor*”, menos vulnerable.

**Tabla 6. Uso del suelo en regiones del Biobío y La Araucanía (TA)**

Tipo de Uso	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	1	0,125	Menor
Cajas de Ríos	1	0,125	
Nieves	1	0,125	
Ríos	1	0,125	
Otros Terrenos Húmedos	2	0,25	
Vegas	2	0,25	
Marismas Herbáceas	2	0,25	
Bosque Nativo	3	0,375	
Afloramientos Rocosos	3	0,375	
Áreas Sobre Limite Vegetación	3	0,375	
Otros Terrenos sin Vegetación	3	0,375	
Corridas de Lava y Escoriales	3	0,375	
Playas y Dunas	3	0,375	
Matorral	4	0,5	Medio
Matorral-Pradera	4	0,5	
Matorral Arborescente	4	0,5	
Praderas	5	0,625	Mayor
Bosque Mixto	5	0,625	
Derrumbes sin Vegetación	5	0,625	
Plantaciones forestales	6	0,75	
Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales	7	0,875	
Minería Industrial	7	0,875	
Rotación Cultivo-Pradera	8	1	
Terrenos de Uso Agrícola	8	1	

**Fuente:** Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, Región de Biobío (2015) y Región de La Araucanía (2014).

**Tabla 7. Tamaño ACAP, factor de ponderación y vulnerabilidad**

Superficie ACAP (ha)	Superficie ACAP Km <sup>2</sup>	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
-10	-0,1	1	Mayor
-100	-1	0,86	
-1.000	-10	0,71	
-10.000	-100	0,57	Medio
-100.000	-1.000	0,43	Menor
-1.000.000	-10.000	0,29	
1.000.000 o más	10.000 y más	0,14	

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 8. Índice Desarrollo Socio-Económico (IDSE) según comuna**

Comuna	IDSE 2013	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Alto Biobío	0,235	1	Mayor
Ercilla	0,275	0,911	
Tirúa	0,35	0,743	
Lonquimay	0,359	0,723	
Los Sauces	0,363	0,714	
Los Álamos	0,374	0,689	
Contulmo	0,386	0,662	
Cañete	0,405	0,62	
Lebu	0,407	0,615	
Pemuco	0,409	0,611	
Collipulli	0,41	0,609	
Quilleco	0,413	0,602	
Quilaco	0,414	0,6	
Renaico	0,422	0,582	
Hualqui	0,435	0,553	
Tucapel	0,448	0,523	
Pinto	0,449	0,521	
Curanilahue	0,454	0,51	
Florida	0,456	0,506	
Yumbel	0,461	0,494	
Negrete	0,465	0,485	
Santa Juana	0,47	0,474	
Santa Bárbara	0,472	0,47	
Coelemu	0,476	0,461	
Coelemu	0,476	0,461	
Cabrero	0,483	0,445	
Traiguén	0,487	0,436	
San Rosendo	0,489	0,432	

Comuna	IDSE 2013	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Mulchén	0,49	0,43	
Curacautín	0,49	0,43	
Nacimiento	0,492	0,425	
Victoria	0,493	0,423	
Antuco	0,494	0,421	
Ránquil	0,496	0,416	
Yungay	0,501	0,405	
Tomé	0,503	0,4	
Quillón	0,506	0,394	Menor
Arauco	0,52	0,362	
Laja	0,532	0,336	
Angol	0,539	0,32	
Coronel	0,547	0,302	
Penco	0,552	0,291	
Los Ángeles	0,58	0,228	
Hualpén	0,636	0,103	
Talcahuano	0,647	0,078	
San Pedro de la Paz	0,671	0,025	
Concepción	0,675	0,016	
Chiguayante	0,682	0	

Fuente: OCHISAP (2015) y elaboración propia.

**Tabla 9. Índice Densidad de Viviendas (VIV)**

Densidad (Viv/km <sup>2</sup> )	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<2	1	0,125	
<5	2	0,25	
<10	3	0,375	
<25	4	0,5	Medio
<50	5	0,625	Mayor
<100	6	0,75	
<250	7	0,875	
<500	8	1	

Fuente: INE (2017) y elaboración propia.

**Tabla 10. Índice de Actividades Antrópicas (AA)**

Densidad (actividades/km <sup>2</sup> )	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<2	1	0,143	
<5	2	0,286	
<10	3	0,429	Medio
<20	4	0,571	
<50	5	0,714	Mayor
<100	6	0,857	
<200	7	1	

Fuente: INFOR<sup>117</sup>, MINAGRI<sup>118</sup>, MINSAL<sup>119</sup>, Ministerio del Interior<sup>120</sup> y<sup>121</sup>. y elaboración propia.

**Tabla 11. Índice de Densidad Vial (DV)**

Longitud (metros/km <sup>2</sup> )	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<500	1	0,125	
<1.000	2	0,25	
<2.000	3	0,375	Medio
<5.000	4	0,5	
<10.000	5	0,625	Mayor
<15.000	6	0,75	
<20.000	7	0,875	
<50.000	8	1	

Fuente: INE (2017) y elaboración propia.

<sup>117</sup> INFOR: <http://www.ide.cl/download/capas/item/industria-forestal.html> y <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/index.php/descargas?id=43>

<sup>118</sup> MINAGRI: <http://www.ide.cl/download/capas/item/catastro-fruticola-region-del-biobio-viii-2016.html> y <http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/index.php/descargas?id=47>

<sup>119</sup> Ministerio de Salud (MINSAL), <https://www.minsal.cl/>

<sup>120</sup> Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012, <https://www.yumpu.com/es/document/read/28707209/resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-subdere> <https://docplayer.es/13903694-Resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-de-aguas-servidas-sector-rural-ano-2012.html>

<sup>121</sup> Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables (2019), <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Catastro%20de%20sitios%20septiembre%202019.pdf>

**Tabla 12. Índice de Derechos de Agua (DA)**

Volumen (l/s/km <sup>2</sup> )	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<1	1	0,125	
<2	2	0,25	
<5	3	0,375	
<10	4	0,5	Medio
<15	5	0,625	Mayor
<20	6	0,75	
<50	7	0,875	
<100	8	1	

Fuente: DGA (2019) y elaboración propia.

**Tabla 13. Índice Áreas Protegidas (AP)**

Tipo Área Protegida	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Parque Nacional	1	0,125	Menor
Reserva Nacional	1	0,125	
Monumento Nacional	1	0,125	
Sitios Prioritarios	4	0,5	Medio
Reserva de La Biosfera	5	0,625	Mayor
Área Protección Privada	6	0,75	
Santuario de La Naturaleza	7	0,875	
Sin Protección	8	1	

Fuente: SNASPE<sup>122</sup>, MMA<sup>123</sup> y elaboración propia.

**Tabla 14. Índice de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero (GOD)**

Tipo Vulnerabilidad geológica	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Muy Alta en depósitos no consolidados	8	1	Mayor
Alta en depósitos no consolidados	7	0,88	
Moderada a Alta en depósitos no consolidados	6	0,75	
Moderada a Alta en roca	5	0,63	
Moderada en depósitos no consolidados	4	0,5	Media
Moderada en roca	3	0,38	Menor
Moderada a Baja en roca	2	0,25	
Baja en roca	1	0,13	
Cuerpos de Agua	0	0	

Fuente: SERNAGEOMIN (2006) y elaboración propia.

<sup>122</sup> Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/proteccion-snaspe/>

<sup>123</sup> Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Iniciativa de Conservación Privada (ICP), <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/conservacion-privada/>, Área Protegida Privada (APP), <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=1251> Otras designaciones, <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/otras-designaciones/>

### 5.3.3.- Análisis Multicriterio

El AMC<sup>124125</sup> se ocupa de estructurar y resolver problemas de decisión y planificación que involucran múltiples criterios. El propósito es apoyar a los tomadores de decisiones que enfrentan tales problemas. Típicamente, no existe una única solución óptima para tales problemas y es necesario usar las preferencias de un panel de expertos para diferenciar entre distintos criterios. Una de las reglas del análisis multicriterio consiste en ponderar estos criterios para valorar su importancia relativa (*suma ponderada*) a los ojos de los actores. Una vez obtenidos, calculados y representados espacialmente, los sub-índices, se combinó toda esta información por medio del AMC (Figura 27).

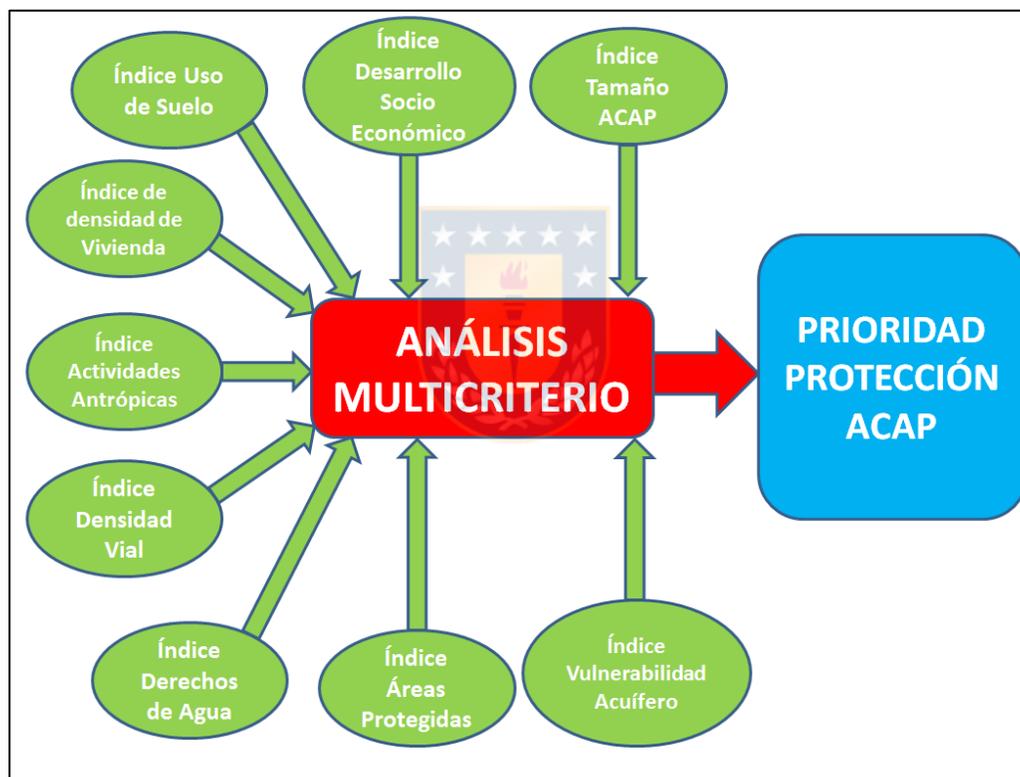


Figura 33. Esquema análisis multicriterio.

Fuente: Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination, A. Alvarado.

<sup>124</sup> Anderson, Sweeney, Williams, Camm y Martin, "Métodos cuantitativos para los negocios", [https://www.researchgate.net/publication/241416054\\_Using\\_the\\_analytic\\_hierarchy\\_process\\_for\\_decision\\_making\\_in\\_engineering\\_applications\\_Some\\_challenges/link/5d4f0456299bf1995b759577/download](https://www.researchgate.net/publication/241416054_Using_the_analytic_hierarchy_process_for_decision_making_in_engineering_applications_Some_challenges/link/5d4f0456299bf1995b759577/download)

<sup>125</sup> Saaty, Thomas (2007), Toma de decisiones con el proceso de jerarquía analítica [https://www.researchgate.net/publication/228628807\\_Decision\\_making\\_with\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/228628807_Decision_making_with_the_Analytic_Hierarchy_Process) y <http://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>

El proceso de la evaluación multicriterio consiste en definir un grupo reducido de criterios involucrados en la problemática. Esos criterios pueden estar expresados en medidas heterogéneas a causa de su índole, posteriormente se asigna el valor o peso relativo de cada criterio según la influencia que tenga para la consecución del objetivo del análisis y se conforma una ‘*matriz de pesos relativos*’. Después mediante un procedimiento de agregación de criterios que considere su peso relativo, se realiza una clasificación jerárquica y se emite un resultado que implica el mejor cumplimiento de los criterios de decisión establecidos, es decir constituye la mejor opción.

En esta investigación se aplicó el AMC como una herramienta para jerarquizar la prioridad de protección de las ACAP, para ello se seleccionaron los *elementos más representativos* que pueden ser cuantificados con la *información disponible*, y que corresponden a los 9 sub-índices descritos en apartados anteriores y calculados para 177 ACAP: Índice Uso de Suelo (US); Índice Tamaño ACAP (TA); Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE); Índice de Densidad de Viviendas (VIV); Índice de Actividades Antrópicas (AA); Índice de Densidad Vial (DV); Índice Derechos de Agua (DA); Índice Áreas Protegidas (AP) e Índice de Vulnerabilidad del Acuífero (GOD<sup>126</sup>).

Posteriormente, se procedió a construir una *matriz de ponderación* de opiniones de un grupo seleccionado de expertos. La ponderación obtenida depende del valor que cada convocado, según sus conocimientos y experiencias, le atribuyó a la importancia relativa de cada criterio en la problemática; es decir, la prioridad de protección de las ACAP frente a cada componente que dio origen a un sub-índice específico de evaluación. La importancia de un factor o componente, colocado en la columna de la matriz, sobre otro ubicado en la fila, se calificó con una escala continua de 9 puntos (Figura 34).

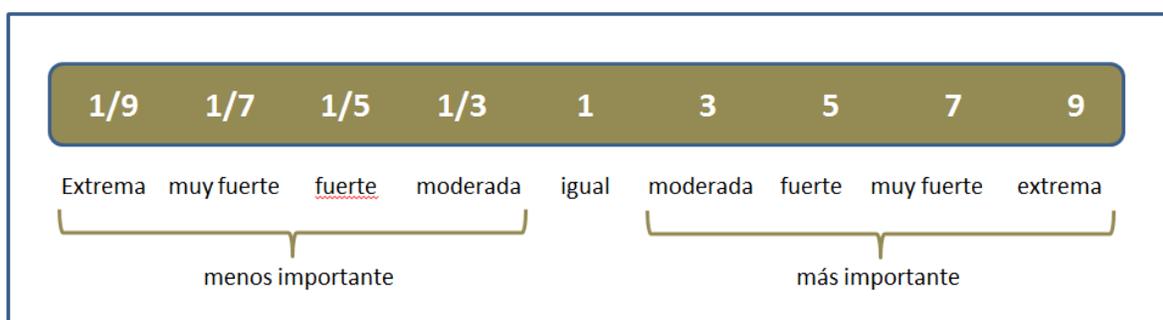


Figura 34. Escala de puntajes

Fuente: Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination, A. Alvarado.

<sup>126</sup> GOD:

<http://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf> y <http://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad>

El proceso de ponderación se inició con la construcción de una *matriz cuadrada* de comparación de criterios, que contiene los criterios al ponderar tanto en filas como en columnas. En esta matriz los valores de la diagonal son “1” porque es la comparación de cada factor en la fila con él mismo en la columna, lo que se interpreta como que tienen la misma importancia. A su vez, la diagonal divide en dos partes la matriz, por lo que sólo se hace la comparación de los pares en la *matriz triangular inferior* pues la superior, en color amarillo, tendría los valores recíprocos de la parte inferior resuelta (Tabla 15).

**Tabla 15. Matriz AMC evaluación experta**

CRITERIO	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD
US	1								
TA		1							
IDSE			1						
VIV				1					
AA					1				
DV						1			
DA							1		
AP								1	
GOD									1

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el criterio de la fila es menos importante para la consecución del objetivo (*prioridad de protección de ACAP*) que el criterio de la columna, el experto coloca una fracción y, en caso contrario, un entero.

**Tabla 16. Ejemplo llenado matriz AMC evaluación experta**

CRITERIO	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD
US	1								
TA	1/5	1							
IDSE	3		1						
VIV				1					
AA					1				
DV						1			
DA							1		
AP								1	
GOD									1

Fuente: Elaboración propia.

De este modo, y de acuerdo al ejemplo de matriz presentado en la Figura 31, en la primera cuadrícula se asignó “1/5”, valor que indica que el peso del criterio

Uso del Suelo (US) es 5 veces mayor que el criterio o componente Tamaño ACAP (TA). A su vez, en la segunda cuadrícula del ejemplo se asignó “3”, valor que indicaría que el componente Índice de Desarrollo Socio-Económico (IDSE) es 3 veces mayor que el criterio Uso del Suelo (US).

Una vez establecido el modelo de matriz, se invitó a 120 ‘expertos’ a completar la matriz, estos se clasificaron en 5 tipos que corresponden a las áreas dónde se desempeñan laboralmente. Se recibieron 39 matrices debidamente completas. El proceso se llevó a cabo entre abril y julio de 2020.

**Tabla 17. Registro de matrices remitidas y respondidas**

Tipo	Total	Respondidas	Doctor	Magister	Profesional
Academia	44	17	6	7	4
Gremiales	9	3	-	-	3
Municipalidad	7	2	-	-	2
Públicos	49	13	1	7	5
ONG	11	4	1	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>120</b>	<b>39</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>16</b>

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que cada uno de los expertos emitió su respuesta, estas se sumaron y se generó una ‘matriz de criterios agrupados’ en la cual se genera para cada cuadrícula un valor que corresponde a la suma de la misma cuadrícula dividida por el número de respuestas. Asimismo, se genera la fila ‘suma’, que corresponde a la suma de las 9 columnas (Figura 32).

**Tabla 18. Matriz de criterios agrupados**

CRITERIO	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	SN	GOD
US	1,00	1,66	1,10	0,78	0,84	2,91	0,50	0,64	0,27
TA	0,60	1,00	1,02	0,82	1,03	2,63	0,55	0,81	0,40
IDSE	0,91	0,98	1,00	0,96	1,03	2,13	0,55	0,81	0,28
VIV	1,28	1,22	1,04	1,00	1,03	2,53	0,47	0,71	0,28
AA	1,20	0,97	1,28	1,12	1,00	2,55	0,62	0,56	0,30
DV	0,34	0,38	0,47	0,40	0,39	1,00	0,42	0,42	0,24
DA	2,02	1,81	1,81	2,15	1,61	2,37	1,00	0,70	0,41
SN	1,55	1,24	1,24	1,42	1,79	2,36	1,43	1,00	0,50
GOD	3,73	2,53	3,52	3,56	3,38	4,14	2,44	1,98	1,00
<b>SUMA</b>	<b>12,64</b>	<b>11,79</b>	<b>12,48</b>	<b>12,20</b>	<b>12,09</b>	<b>22,62</b>	<b>7,98</b>	<b>7,63</b>	<b>3,68</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura, se elaboró la ‘matriz de criterios normalizados’. En este caso el valor de cada cuadrícula se divide por la suma de la columna, obteniéndose un nuevo valor, para cada cuadrícula. Finalmente, se promediaron

los valores de cada fila en la columna ‘PROMEDIO’, luego la suma de esta columna debe ser “1,0000”, lo cual indica que el cálculo de todo el ejercicio es correcto.

**Tabla 19. Matriz de criterios normalizados**

CRITERIO	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	SN	GOD	PROMEDIO
US	0,08	0,14	0,09	0,06	0,07	0,13	0,06	0,08	0,07	<b>0,0876</b>
TA	0,05	0,08	0,08	0,07	0,09	0,12	0,07	0,11	0,11	<b>0,0851</b>
IDSE	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,11	0,08	<b>0,0828</b>
VIV	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09	0,11	0,06	0,09	0,08	<b>0,0883</b>
AA	0,09	0,08	0,10	0,09	0,08	0,11	0,08	0,07	0,08	<b>0,0888</b>
DV	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	<b>0,0422</b>
DA	0,16	0,15	0,15	0,18	0,13	0,10	0,13	0,09	0,11	<b>0,1334</b>
SN	0,12	0,11	0,10	0,12	0,15	0,10	0,18	0,13	0,14	<b>0,1271</b>
GOD	0,30	0,21	0,28	0,29	0,28	0,18	0,31	0,26	0,27	<b>0,2648</b>
<b>SUMA</b>										<b>1,0000</b>

Fuente: Elaboración propia

Luego de este procedimiento los valores obtenidos, para cada uno de los índices del método de cálculo de la vulnerabilidad de las ACAP, fueron los siguientes (Figura 34):

**Tabla 20. Peso de los índices**

ÍNDICE	PROMEDIO	PORCENTAJE
Índice de Uso del Suelo	0,0876	8,76
Índice de Tamaño ACAP	0,0851	8,51
Índice Desarrollo Socio Económico	0,0828	8,28
Índice de Densidad de Viviendas	0,0883	8,83
Índice Actividades Antropogénicas	0,0888	8,88
Índice de Densidad Vial	0,0422	4,22
Índice de Derechos de Agua	0,1334	13,34
Índice de Áreas Protegidas	0,1271	12,71
Índice de Vulnerabilidad del Acuífero a la Contaminación	0,2648	26,48
<b>SUMA</b>		<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia

La tasa de consistencia que se obtuvo fue de 0,0233 lo que hace muy aceptables los valores de la ponderación propuesta. El índice de mayor peso relativo fue el “Índice de Vulnerabilidad del Acuífero”, resaltando así la importancia del ámbito natural, para asignar prioridad de protección y de los aspectos técnicos que lo

reflejan. Por lo tanto, y según el método propuesto, la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación es el factor que más influencia tiene en la solución de la problemática y determina principalmente la prioridad.

El índice de “Derechos de Agua” aparece en segundo lugar, seguido muy cerca por las Áreas Protegidas, la suma de ambas es prácticamente equivalente al peso del criterio de mayor peso. Luego, hay 5 índices con un peso relativo en torno a 8, el peso combinado de ellas alcanza a 43,26. Finalmente, el criterio de la Red Vial, resulto con el menor peso relativo.

#### 5.3.4.- Formulación del método de cálculo Índice de Vulnerabilidad de ACAP

La agregación de los índices se efectuó mediante una combinación lineal ponderada. Se consideraron los pesos relativos de los factores ya obtenidos, para asignar los puntajes de priorización, y los resultados del AMC que entregan los pesos asignados a cada índice. El valor final, entonces, es el resultado de la multiplicación del valor del índice por el factor de ponderación obtenido del AMC. La expresión matemática es la siguiente:


$$\text{IV-ACAP} = 0,0876\text{US} + 0,0851\text{TA} + 0,0828\text{IDSE} + 0,0883\text{VIV} + 0,0888\text{AA} + 0,0422\text{DV} + 0,1334\text{DA} + 0,1271\text{AP} + 0,2648\text{GOD}$$

Dónde IV-ACAP = Índice Vulnerabilidad Área de Captación de Agua Potable

- US = Índice uso del suelo
- TA = Índice tamaño área de captación de agua potable
- IDSE = Índice de desarrollo socio-económico
- VIV = Índice densidad de viviendas
- AA = Índice actividades antropogénicas
- DV = Índice densidad vial
- DA = Índice derechos de agua
- AP = Índice de áreas protegidas
- GOD = Índice vulnerabilidad del acuífero a la contaminación

## 6.- RESULTADOS

**6.1.- Objetivo A.** Identificar, describir y representar *espacialmente* las ACAP de la región del Biobío.

Cada una de las ACAP se puede identificar mediante el criterio de Tamaño de la ACAP, en la Figura 27 se pueden apreciar las 177 ACAP reconocidas en el estudio. Las ACAP presentan diferentes superficies, con una extensión máxima de 24.091 km<sup>2</sup> y la mínima de 0,07 km<sup>2</sup>. Esto dificulta su representación cartográfica en una sola escala de trabajo (Figuras 26 y 27).



Figura 35. Detalle de la figura 18, para resaltar las ACAP 65 (Chome) y 67 (San Jorge).

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 21 se presenta una síntesis de las principales características de las ACAP del área de estudio.

**Tabla 21. Síntesis características relevantes ACAP**

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Índice Uso de Suelo	En el área de estudio se han identificado 24 usos de suelo. Los cinco usos de suelo más abundantes son Plantaciones Forestales con 8.648 km <sup>2</sup> (31,32%), Bosque Nativo 7.838 km <sup>2</sup> (28,38%), Rotación Cultivo-Pradera con 3,130 km <sup>2</sup> (11,33%), Praderas con 1.942 km <sup>2</sup> (7,03%) y Matorral con 1.390 km <sup>2</sup> (5,04%)
Índice Tamaño Área de Captación de Agua Potable	La superficie total de las ACAP es de 27.615 km <sup>2</sup> , asimismo la ACAP de menor extensión sólo tiene 0,07 km <sup>2</sup> (6,55 hectáreas), asimismo la de mayor extensión es de 24.091 km <sup>2</sup> .
Índice de Desarrollo Socio-Económico	Hay 47 comunas consideradas en el área de estudio. De acuerdo con el índice IDSE, 5 comunas (todas del área metropolitana de Concepción) poseen los mejores índices, en rango Alto son 9 comunas, en rango medio 27, en rango bajo 5 y en muy bajo 2.
Índice de Densidad de Viviendas	El total de viviendas en las ACAP es de 268.560 viviendas, de las cuales 75.762 son rurales y 192.798 son urbanas. Las densidades en las ACAP, fluctúan entre 0 y 1870 viviendas/km <sup>2</sup> .
Índice de Actividades Antrópicas	Se ha recopilado información disponible sobre Industria forestal primaria, Catastro frutícola, plantas de tratamiento de aguas servidas rurales, cementerios, rellenos sanitarios, registro de emisiones y transferencias de contaminantes.
Índice de Densidad Vial	En el área de estudio se han contabilizado 18.965 km de red vial. Las densidades varían entre 0 (22 ACAP) y 11,5 kilómetros de red vial por cada km <sup>2</sup> .
Índice Derechos de Agua	Son 6.069 los expedientes considerados en el estudio, por un volumen total de 118.216 l/s y un volumen de 948 l/km <sup>2</sup> . El 81% de este volumen es para uso agropecuario, 11% industrial, 2% minería y sólo el 6% para agua potable <sup>127</sup> .
Índice Áreas Protegidas	Existen en el área de estudio varias categorías que permiten otorgan diversos grado de protección, aún así las áreas con protección no supera los 7.315 km <sup>2</sup> , en SNASPE son 2.128 km <sup>2</sup> , Sitios Protegidos 2.967 km <sup>2</sup> , Reserva de la Biosfera 1.520 km <sup>2</sup> , Área Protección Privada 700 km <sup>2</sup> y Santuario de la Naturaleza con 0,09 km <sup>2</sup> .
Índice de Vulnerabilidad del Acuífero	El área de estudio presenta una configuración de suelos y sustrato geológico caracterizada por la presencia de zonas con grandes depósitos no consolidados que favorecen la infiltración del agua lluvia y que es vulnerable frente a los procesos de contaminación.

Fuente. Elaboración propia

<sup>127</sup> DGA, Atlas del Agua <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/1382>

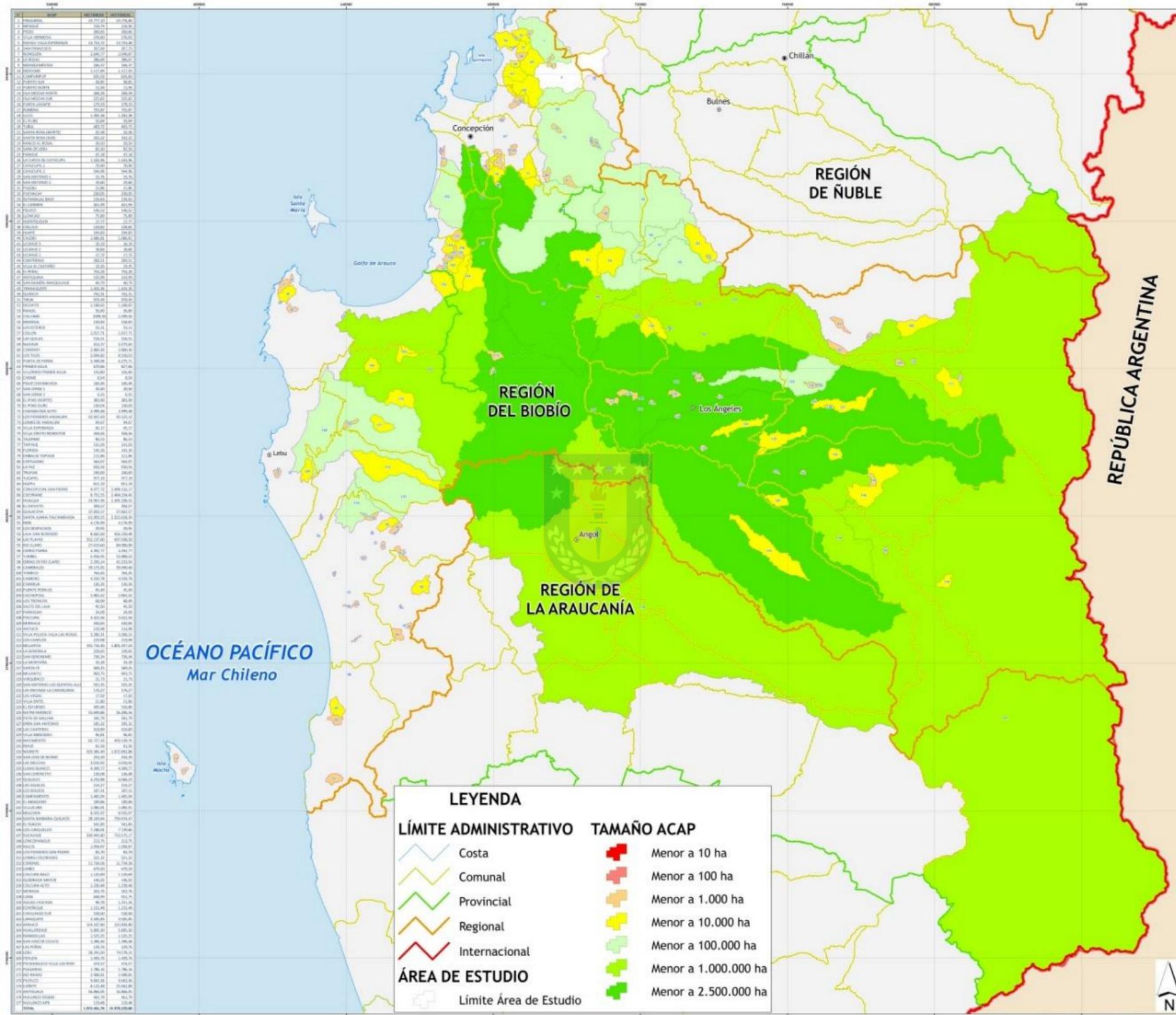


Figura 36. Distribución de las ACAP según rango de tamaño. Fuente: elaboración propia

## 6.2.- Objetivo B

Construir un índice integrado que mida la vulnerabilidad de las ACAP de la región del Biobío y que permita su jerarquización en términos de propuestas de gestión.

Los valores obtenidos fluctúan entre un mínimo de 0,18 y un máximo de 0,78 (ver anexo A). Asimismo, se han agrupado en 5 rangos que permiten jerarquizar los ACAP de acuerdo al valor obtenido para cada uno. De este modo, el rango de prioridad ‘Muy Alta’ identifica las ACAP más vulnerables, asimismo, el rango de prioridad ‘Muy Baja’ identifica las ACAP menos vulnerables.

**Tabla 22.** Índice Vulnerabilidad integrado según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,18 – 0,25	6	3,39
Baja	0,25 – 0,45	47	26,55
Media	0,45 – 0,55	66	37,29
Alta	0,55 – 0,65	35	19,77
Muy Alta	0,65 – 0,80	23	12,99
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

Casi un 13% de los ACAP, posee un rango de prioridad Muy Alto, evidenciando su mayor vulnerabilidad. Luego un 17,5% posee un rango de prioridad Alto. Un 40% posee rango de prioridad Media. El rango Baja es el segundo más numeroso con el 26,5%, finalmente la prioridad Muy Baja, es de sólo el 3%.

### 6.2.1.- Análisis de criterios

#### a.- Índice Uso del Suelo

En la Tabla 24 se muestran los 24 usos de suelo, identificados para el área de estudio, como asimismo, la superficie de cada uso, para los 5 rangos de prioridad (Figura N° 37 y Tabla N° 24).

El uso de suelo predominante, en términos de superficie, corresponde a las ‘Plantaciones forestales’, sin embargo este uso predomina en los rangos de prioridad Alta y Media (Tabla N° 25) es decir, cuanto mayor superficie de plantaciones forestales mayor vulnerabilidad de ACAP. El bosque nativo, es el segundo uso en predominancia, asimismo es predominante en el rango Baja y Muy

Baja, de tal modo que la vulnerabilidad de las ACAP en este tipo de cobertura es menor. El tercer uso en importancia es la rotación cultivo-pradera, este sólo predomina en el rango Muy Alta.

Respecto de la distribución territorial de los 5 rangos asociado al uso de suelo (Tabla N° 23 y Figura N° 28), es posible destacar lo siguiente:

- \* El rango Muy Baja (21 ACAP) se encuentra principalmente en la cordillera de la costa (Estero Nonguén 6 ACAP), sector Nahuelbuta (6 ACAP), sector andino (7 ACAP) e Isla Mocha (2 ACAP). En el valle central no se aprecia este rango.
- \* El rango Baja (36 ACAP) se ubica, en la porción andina norte, en el valle central (menos la porción de la provincia de Malleco) y gran parte de la cordillera de la costa y Nahuelbuta.
- \* El rango Media (77 ACAP) se distribuye en la parte sur del valle central, principalmente en la provincia de Malleco (ACAP Nacimiento), cuencas costeras de los ACAP Lebu, Colcura, Coronel, Copiulemu, Pingueral y Rafael entre otros.
- \* En rango Alta (27 ACAP) hay un gran núcleo en el centro-norte del valle central, asociado a la ‘subsubcuenca’ del río Claro, conformado por 6 ACAP (Cambrales, Tomeco, Charrúa, Obras de Río Claro, Cerro Parra y Río Claro), parte centro-oriente del valle central y 2 en San Pedro de la Paz.
- \* El rango Muy Alta se identificaron 16 ACAP, 3 en el borde costero de Arauco (Collico, San Ramón-Ranquihue y Sara de Lebu), 2 en la precordillera (Tucapel y Huépil) y los restantes 9 en el valle central (7 en la comuna de Los Ángeles, 1 en Yumbel y 1 en Negrete).

**Tabla 23.** Índice Vulnerabilidad Uso de Suelo según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,032-0,044	21	11,86
Baja	0,045-0,055	36	20,34
Media	0,056-0,066	77	43,50
Alta	0,067-0,077	27	15,25
Muy Alta	0,078-0,087	16	9,04
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

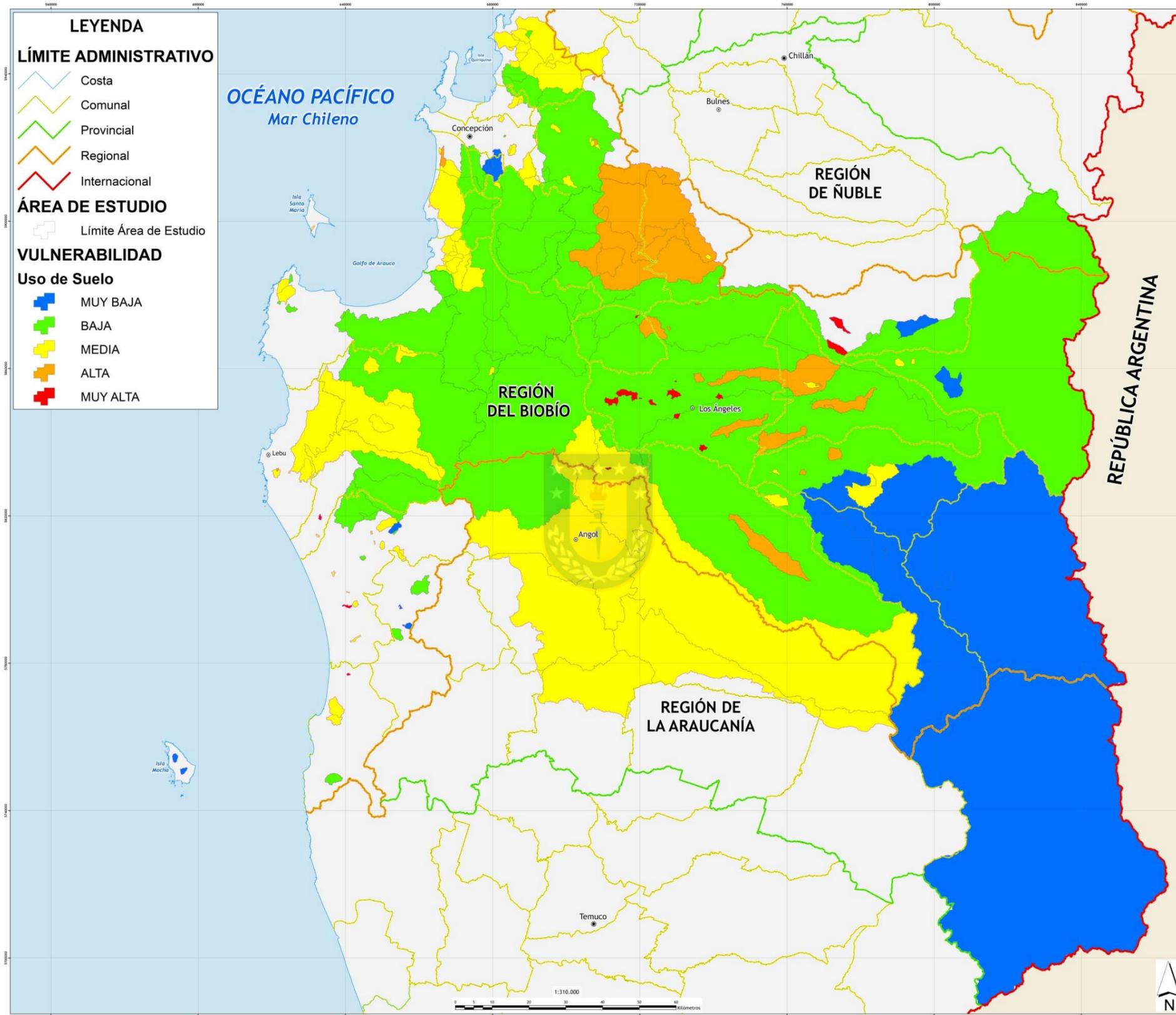


Figura 37. Vulnerabilidad de las ACAP por uso del suelo y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Superficies (ha) promedios para cada uso de suelo y rango de prioridad del índice**

RANGO DE PRIORIDAD	Afloramientos Rocosos	Áreas Sobre Limite Vegetación	Bosque Mixto	Bosque Nativo	Cajas de Ríos	Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales	Corridas de Lava y Escoriales	Derrumbes sin Vegetación	Lago-Laguna-Embalse-Tranque	Marismas Herbáceas	Matorral	Matorral-Pradera	Matorral Arborescente
MUY ALTA	-	-	73,79	74,16	-	615,96	-	-	11,01	-	359,07	139,82	78,34
ALTA	-	-	2.749,66	4.980,75	9,36	2.027,40	-	4,27	593,76	-	4.387,94	2.747,80	4.033,30
MEDIA	32.251,42	12.747,99	40.221,07	376.596,24	2.050,32	12.153,98	10.539,53	500,65	9.681,40	31,99	80.976,99	30.128,02	49.542,28
BAJA	25.695,92	6.548,72	2.531,80	399.854,33	1.176,34	338,71	6.686,91	83,22	5.028,98	-	53.303,98	62.747,44	21.976,74
MUY BAJA	-	-	340,88	2.283,78	-	-	-	-	-	-	28,82	-	19,27
<b>TOTAL</b>	<b>57.947,33</b>	<b>19.296,70</b>	<b>45.917,21</b>	<b>783.789,25</b>	<b>3.236,02</b>	<b>15.136,05</b>	<b>17.226,44</b>	<b>588,14</b>	<b>15.315,15</b>	<b>31,99</b>	<b>139.056,80</b>	<b>95.763,08</b>	<b>75.649,92</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>2,10</b>	<b>0,70</b>	<b>1,66</b>	<b>28,38</b>	<b>0,12</b>	<b>0,55</b>	<b>0,62</b>	<b>0,02</b>	<b>0,55</b>	<b>0,00</b>	<b>5,04</b>	<b>3,47</b>	<b>2,74</b>

Fuente. Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile y elaboración propia.

RANGO DE PRIORIDAD	Minería Industrial	Nieves	Otros Terrenos Húmedos	Otros Terrenos sin Vegetación	Plantaciones	Playas y Dunas	Praderas	Ríos	Rotación Cultivo-Pradera	Terrenos de Uso Agrícola	Vegas	SUPERFICIE TOTAL
MUY ALTA	49,62	-	10,82	40,94	3.783,07	44,00	59,42	-	6.689,82	365,03	4,76	12.399,83
ALTA	149,30	-	216,28	340,84	67.703,08	1,79	4.058,65	167,55	37.746,08	4.174,82	416,78	136.610,66
MEDIA	1.277,90	4.025,97	761,81	5.597,97	741.779,62	857,63	86.296,03	18.424,18	253.933,41	33.909,06	1.978,60	1.806.965,54
BAJA	26,49	28.908,58	242,42	10.939,13	51.242,45	69,10	103.817,77	4.007,16	14.631,79	442,17	1.984,38	802.567,41
MUY BAJA	-	-	-	-	325,85	-	-	-	-	-	-	2.998,60
<b>TOTAL</b>	<b>1.503,31</b>	<b>32.934,55</b>	<b>1.231,33</b>	<b>16.918,88</b>	<b>864.834,08</b>	<b>972,52</b>	<b>194.231,87</b>	<b>22.598,89</b>	<b>313.001,10</b>	<b>38.891,09</b>	<b>4.384,51</b>	<b>2.761.542,04</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>0,05</b>	<b>1,19</b>	<b>0,04</b>	<b>0,61</b>	<b>31,32</b>	<b>0,04</b>	<b>7,03</b>	<b>0,82</b>	<b>11,33</b>	<b>1,41</b>	<b>0,16</b>	<b>100,00</b>

Fuente. Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile y elaboración propia.

**Tabla 25. Usos de suelo predominantes y rangos de prioridad**

RANGO DE PRIORIDAD	USO DE SUELO PREDOMINANTE				
	PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO	CUARTO	QUINTO
MUY ALTA	Rotación Cultivo-Pradera	Plantaciones	Ciudades-Pueblos-Zonas Industriales	Terrenos Uso Agrícola	Matorral
ALTA	Plantaciones	Rotación Cultivo-Pradera	Bosque Nativo	Matorral	Terrenos Uso Agrícola
MEDIA	Plantaciones	Bosque Nativo	Rotación Cultivo-Pradera	Pradera	Matorral
BAJA	Bosque Nativo	Praderas	Matorral	Matorral Pradera	Matorral
MUY BAJA	Bosque Nativo	Bosque Mixto	Plantaciones	Matorral	Matorral Arborescente

Fuente. Catastro de Recursos Vegetacionales de Chile y elaboración propia.

La Tabla 25 presenta una síntesis de las relaciones entre los rangos de prioridad y los usos del suelo predominantes, en términos de superficie, en las ACAP. Estos resultados indican, claramente, la importancia o peso que tienen en la calificación de vulnerabilidad “Muy Alta” y “Alta” algunas coberturas de uso del suelo, principalmente los usos agrícolas, plantaciones forestales, centros urbanos y zonas industriales. A su vez, las vulnerabilidades “Baja” y “Muy Baja” están asociadas a una mayor cobertura de vegetación nativa.

*b.- Índice de tamaño de la ACAP*

Como este es un índice que se relaciona con la extensión de la ACAP, se aprecia una gran distorsión entre la Figura N°30 y la Tabla N°26, pues en el mapa predomina el color azul (rango de prioridad Muy Bajo), sin embargo en la tabla, el rango dominante es Alta (color naranja).

**Tabla 26.** Índice Vulnerabilidad Tamaño según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,012-0,027	12	6,78
Baja	0,028-0,042	17	9,60
Media	0,043-0,057	40	22,60
Alta	0,058-0,072	105	59,32
Muy Alta	0,073-0,086	3	1,69
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

La causa de esta aparente distorsión, tiene relación con el tamaño del rango de prioridad Alta, pues si bien son 105 polígonos, estos poseen superficies entre 10 y 1.000 hectáreas. El ACAP Tirúa (970 ha) se ubica en el extremo sur del borde costero y da una idea del tamaño máximo de este rango.

En cambio el rango Muy Baja, es mayor a 100 mil hectáreas (1 mil km<sup>2</sup>).

Asimismo, los 3 ACAP con rango Muy Alta: Chome (Hualpén), San Jorge 2 (Concepción) y Santa Rosa Norte (Lebu) tienen superficies menores a 10 ha.

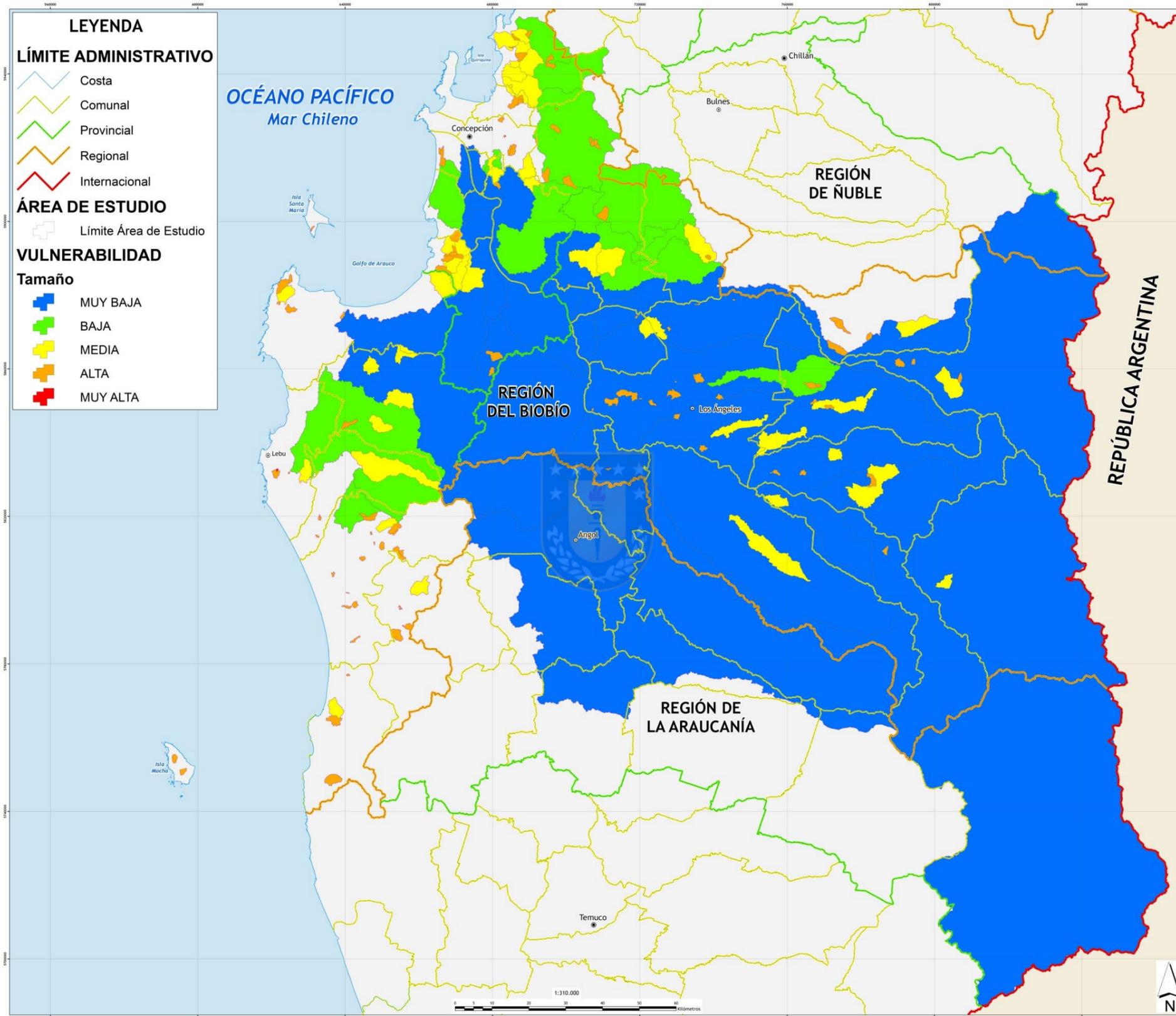


Figura 38. Vulnerabilidad de las ACAP por tamaño y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

### c.- Índice de Desarrollo Socio-Económico

- \* En el rango Muy Baja (color azul en el mapa), hay 17 ACAP, todos relacionados con las 3 comunas con mejor IDSE, Chiguayante, Concepción y San Pedro de La Paz.
- \* En el rango Baja son 29 ACAP, distribuidos en las comunas con índices relativamente buenos (Los Ángeles, Coronel, Penco, Laja y Arauco).
- \* En el rango Media hay 78 ACAP, en comunas con valores intermedios. Ocupan el resto de la provincia de Concepción (Tomé, Hualqui, Lota y Santa Juana), mitad norte de la provincia de Arauco (Curanilahue y Lebu), provincia de Malleco (Angol, Renaico, Collipulli, Ercilla, Los Sauces y Traiguén) y mitad norte de la provincia de Biobío (Cabrero, Yumbel, Antuco y Tucapel).
- \* En el rango Baja, hay 51 ACAP, se encuentran en comunas de valores bajos, mitades sur de la provincia de Arauco (Los Álamos, Cañete, Contulmo y Tirúa) y Biobío (Nacimiento, Mulchén, Quilleco, Santa Bárbara y Alto Biobío).
- \* En el rango Muy Baja, sólo hay 1 ACAP (Ralco) completamente dentro de la comuna de Alto Biobío, la comuna con el IDSE más bajo del área de estudio.

**Tabla 27.** Índice Vulnerabilidad IDSE según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,016	17	9,60
Baja	0,017-0,032	29	16,38
Media	0,033-0,048	78	44,63
Alta	0,049-0,065	51	28,81
Muy Alta	0,066-0,083	1	0,56
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

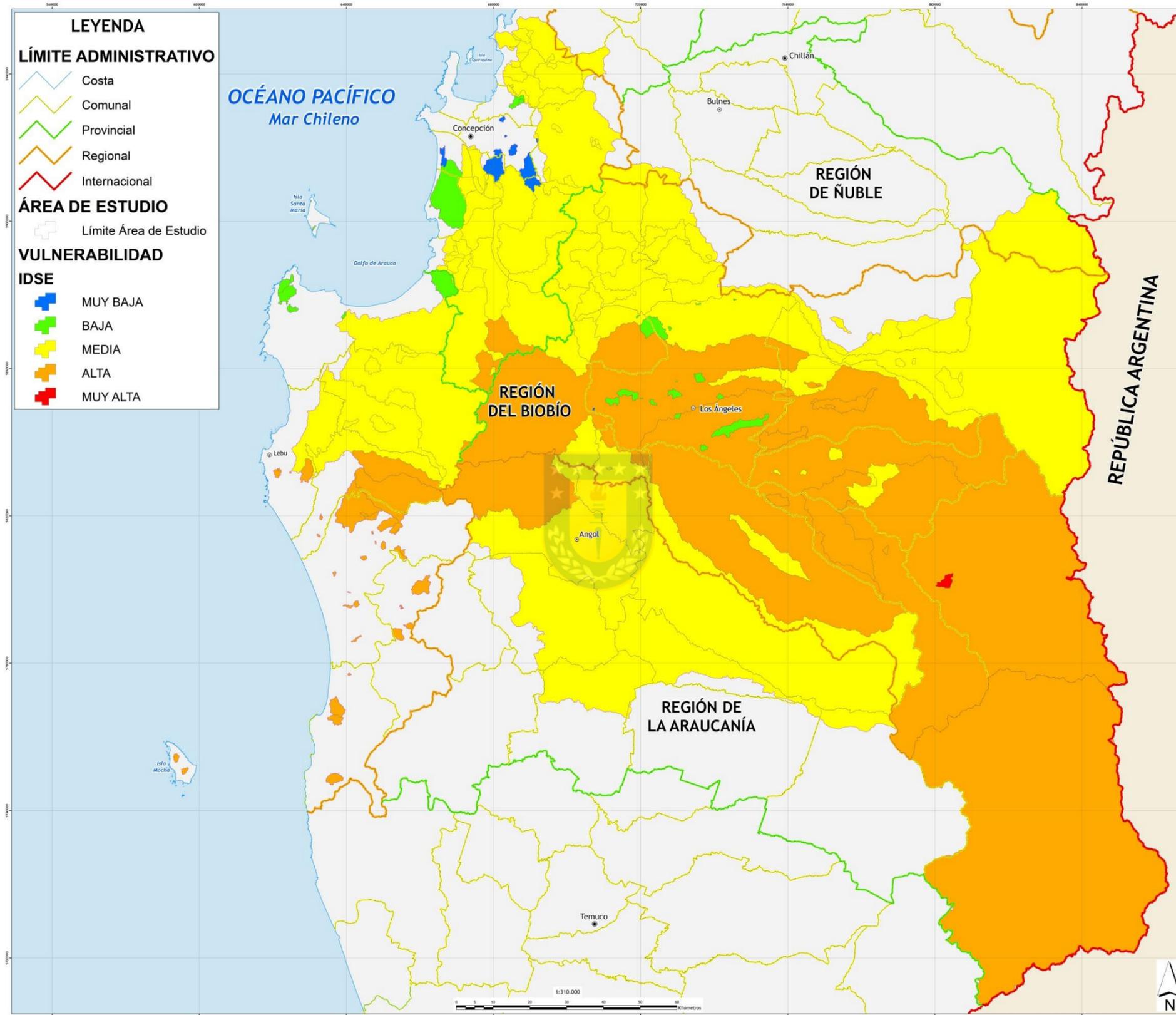


Figura 39. Vulnerabilidad de las ACAP por IDSE y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

#### d.- Índice de densidad de Vivienda

- \* En el rango Muy Baja hay 95 ACAP, principalmente en sector Andino y porción central en el valle central, cordillera de Nahuelbuta y sectores aislados en la cordillera costera de la provincia de Concepción. En 53 de estas ACAP no se registran viviendas y en las 42 restantes la densidad nunca es mayor a 5 viv/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Baja son 49 ACAP, principalmente en el valle central, porción andina norte, cuencas del río Lebu y Paicaví en la provincia de Arauco, cuencas del Andalien y Pingueral en la provincia de Concepción. Las densidades varían entre 5 y 25 viv/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Media hay 17 ACAP, el núcleo mayor en torno al río Claro en las comunas de Cabrero y Yumbel, sumando 7 ACAP en la provincia de Biobío, otros 6 en la provincia de Arauco y 4 en la provincia de Concepción. Las densidades varían entre 25 y 50 viv/km<sup>2</sup>.
- \* En Rango Alta son 13 ACAP, las mayores son Coronel y Coliumo, además de Tapihue y Florida de la provincia de Concepción (4 ACAP), luego hay 7 casos en la provincia de Biobío y 2 en la provincia de Arauco. Las densidades varían entre 50 y 250 viv/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Muy Alta son sólo 3 ACAP, Santa Rosa de Lebu (316 viv/km<sup>2</sup>), Los Pioneros (1.873 viv/km<sup>2</sup>) y Lomas Coloradas (1.200 viv/km<sup>2</sup>), estos dos últimos asociadas al acuífero Coronel o Escuadrón. Las densidades varían entre 250 y 2 mil viv/km<sup>2</sup>.

**Tabla 28.** Índice Vulnerabilidad vivienda según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,017	95	53,67
Baja	0,018-0,034	49	27,68
Media	0,035-0,051	17	9,60
Alta	0,052-0,068	13	7,34
Muy Alta	0,069-0,089	3	1,69
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia

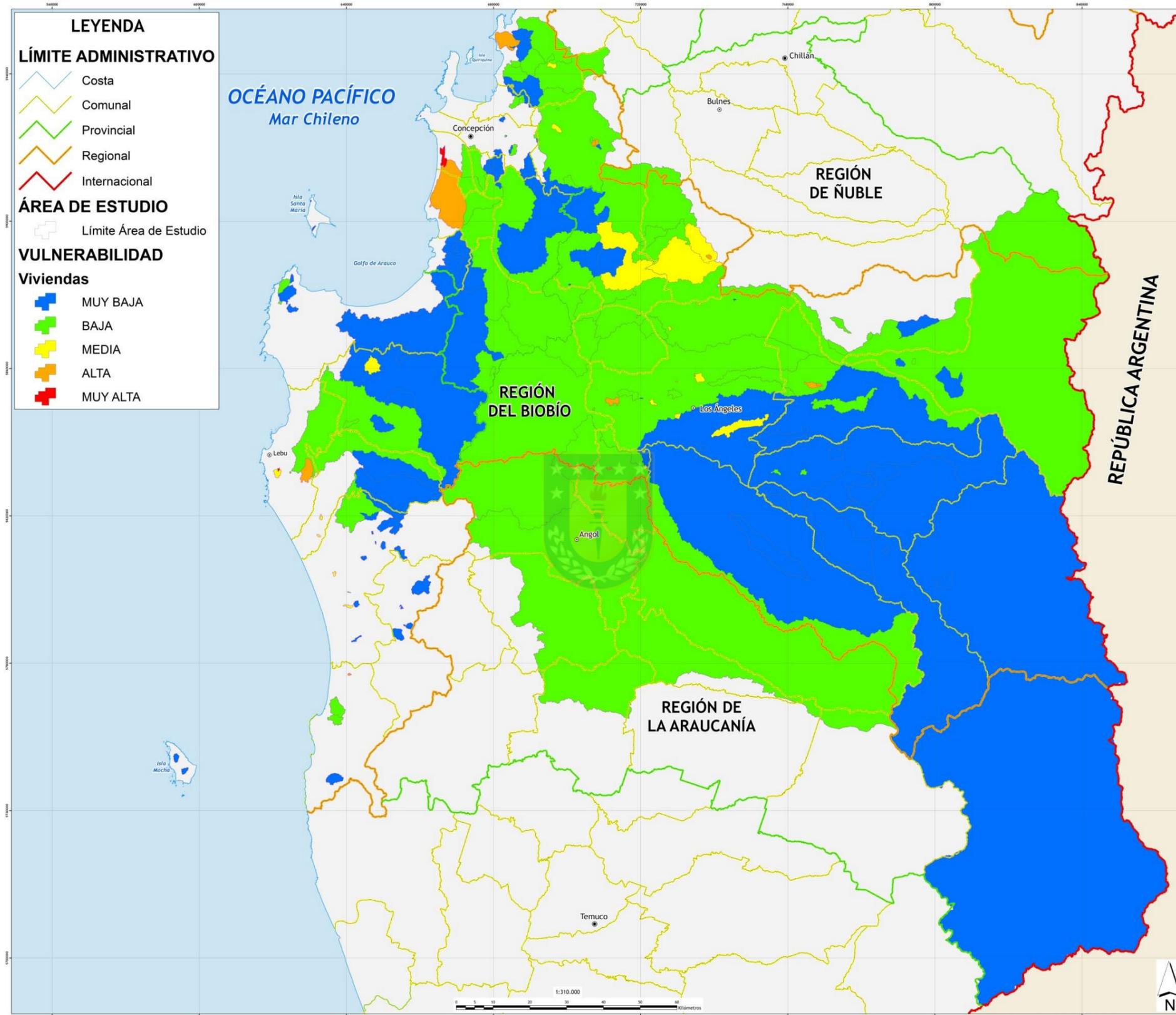


Figura 40. Vulnerabilidad de las ACAP por viviendas y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

### e.- Índice de Actividades Antropogénicas

- \* En rango Muy Baja hay 128 ACAP, la mayoría en porción andina sur, cordillera de Nahuelbuta, sur de la provincia de Arauco y porciones en la provincia de Concepción. En 124 ACAP no hay ningún registro de actividades antropogénicas. En las restantes 4 (Quilacoya, Arauco, Rucalhue y Santa Bárbara-Quilaco) las densidades son menores a 0,1 actividades/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Baja son 18 ACAP, 3 en la provincia de Arauco (Lebu, Cañete y San José de Colico), 7 en provincia de Biobío (Nacimiento y Negrete entre otras) y 8 en la provincia de Concepción (Pingueral, Columo y Hualqui entre otras). Las densidades varían entre 0,1 a 0,2 actividades/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Media hay 19 ACAP, 2 en la provincia de Arauco, 3 en la provincia de Concepción y 12 en la provincia de Biobío. Las densidades varían entre 0,2 a 0,5 actividades/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Alta son 11 ACAP, Sara de Lebu en la provincia de Arauco, 3 en la provincia de Concepción (Florida, Tapihue y Talermo) y 7 en la provincia de Biobío (Cabrero, Cerro Parra y Millantú entre otros). Las densidades varían entre 0,5 a 2 actividades/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Muy Alta hay sólo una ACAP, Virquenco en la comuna de Los Ángeles, con una densidad de 4,6 actividades/km<sup>2</sup>.

**Tabla 29.** Índice Vulnerabilidad actividades antropogénicas según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,018	128	72,32
Baja	0,019-0,037	18	10,17
Media	0,038-0,059	19	10,73
Alta	0,060-0,074	11	6,21
Muy Alta	0,075-0,088	1	0,56
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente. INFOR, MINAGRI, MINSAL, SUBDERE, MMA y elaboración propia

Por otro lado se aprecia que hay una subestimación significativa de las actividades antropogénicas con potencial contaminante, el Parque Industrial Escuadrón no posee ningún registro relacionado con emisión a cuerpos de agua (riles) o industria forestal. Igualmente, se aprecia que los datos recopilados entregan indicios importantes, una base de datos más amplia y completa debiera arrojar resultados más sólidos.

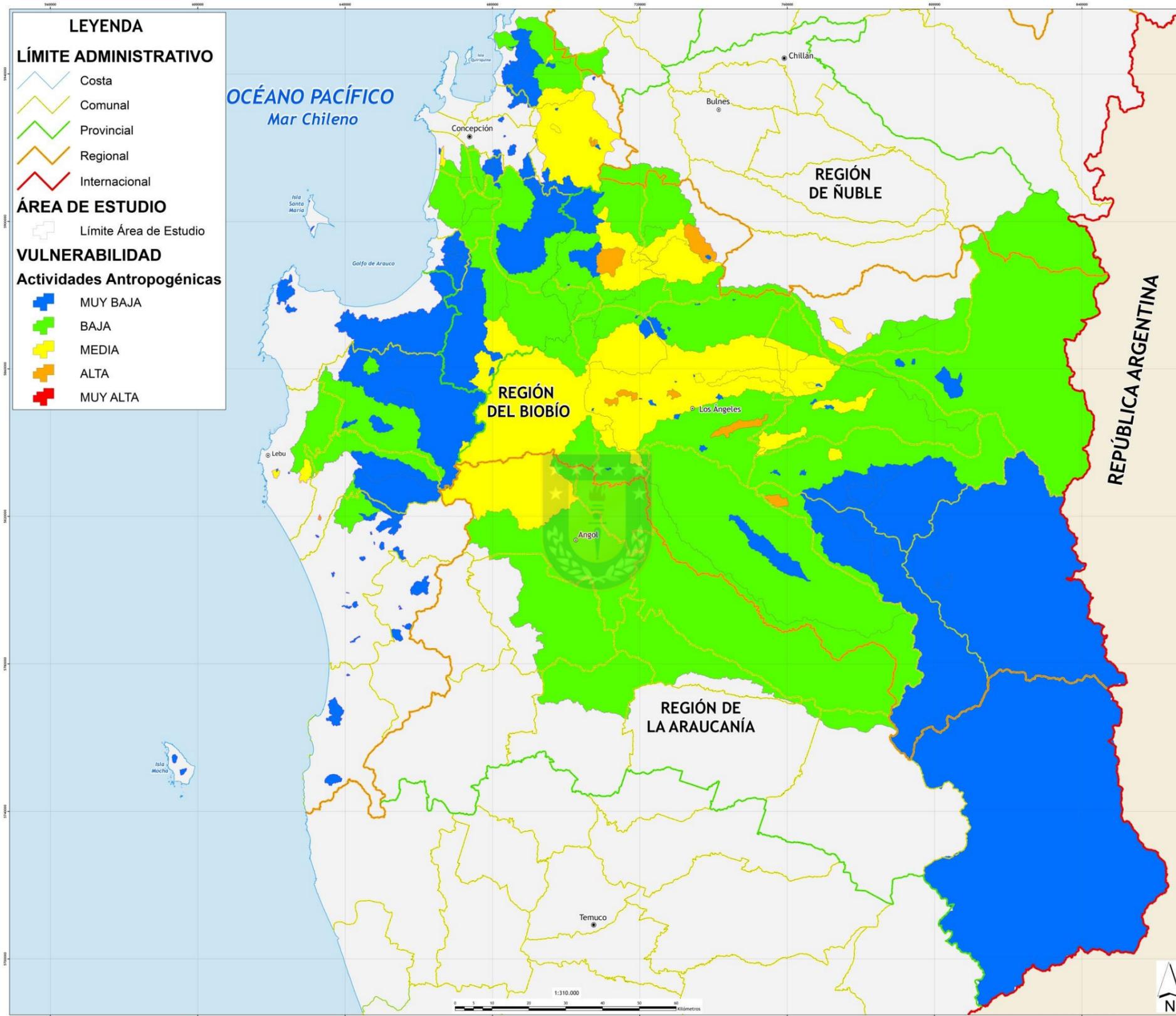


Figura 41. Vulnerabilidad de las ACAP por actividades antropogénicas y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

## f.- Índice de Densidad Vial

- \* En rango Muy Baja hay 49 ACAP, en 22 de las cuales no registra red vial y en los restantes 28, la densidad es menor a 500 metros/km<sup>2</sup>. Se encuentra en todo el margen andino y sectores puntuales de la cordillera de la costa y Nahuelbuta.
- \* En Rango Baja hay 33 ACAP, mayormente en el valle central y porción sur de la cordillera de la costa y Nahuelbuta. La densidad es menor a 1 km/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Media son 42 ACAP, predomina en la porción norte de la cordillera de la costa y sectores puntuales de la provincia de Arauco, su densidad es entre 1 a 2 km/km<sup>2</sup>
- \* En rango Alta hay 41 ACAP, los mayores se encuentran en la provincia de Concepción (Coronel, Rafael y Coliumo) y la mayoría en Biobío (Cabrero, Tucapel y Huépil entre otras) y sólo 4 en Arauco. La densidad varía entre 2 y 5 km/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Muy Alta son 11 ACAP, 4 en Arauco, 4 en Biobío y 3 en Concepción, de los cuales 2 son los más significativos, Los Pioneros de San Pedro y Lomas coloradas superan los 10 km/km<sup>2</sup>, las restantes 9 ACAP, poseen densidades entre 5 y 6,9 km/km<sup>2</sup>.

**Tabla 30.** Índice Vulnerabilidad red vial según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,008	50	28,25
Baja	0,009-0,018	33	18,64
Media	0,019-0,027	42	23,73
Alta	0,028-0,034	41	23,16
Muy Alta	0,035-0,042	11	6,21
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

La base de datos asociada a la red vial es amplia y muy sólida, sin embargo es la de menor peso.

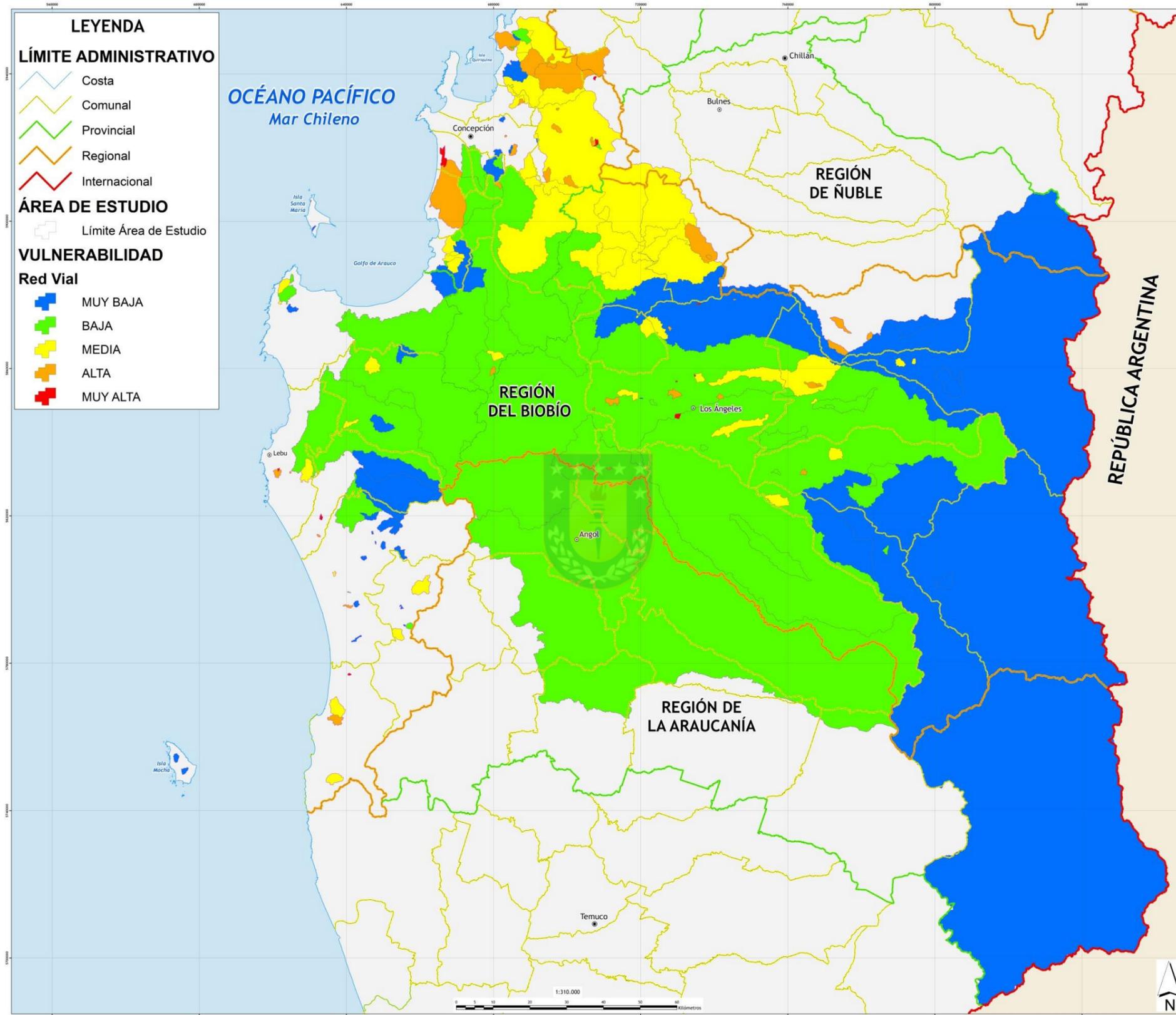


Figura 42. Vulnerabilidad de las ACAP por red vial y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

### g.- Índice de Derechos de Agua

- \* En rango Muy Baja hay 81 ACAP, predomina en la Porción andina sur, provincia de Malleco y cordillera e la costa en la provincia de Concepción. El caudal inscrito es menor a 1 litro/segundo/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Baja son 16 ACAP, mayormente en el valle central y margen oriental de la cordillera de Nahuelbuta (Nacimiento). El caudal inscrito fluctúa entre 1 y 2 litro/segundo /km<sup>2</sup>.
- \* En rango Media hay 56 ACAP, predomina en la porción norte de la provincia de Arauco, cordillera de la costa en la provincia de Concepción y algunas ACAP en la provincia de Biobío. El caudal inscrito fluctúa entre 2 y 10 litro/segundo/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Alta son 19 ACAP, mayormente en la subcuenca del río Laja, ACAP Coronel y Colcura entre otros. El caudal inscrito fluctúa entre 10 y 20 litro/segundo/km<sup>2</sup>.
- \* En rango Muy Alta hay 5 ACAP, el ACAP Huallerehue es el más significativo en extensión, se emplaza en la vertiente oriental de la cordillera de Nahuelbuta. El caudal inscrito fluctúa entre 20 y 140 litro/segundo/km<sup>2</sup>.

**Tabla 31.** Índice Vulnerabilidad derechos de agua según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,017	81	45,76
Baja	0,018-0,035	16	9,04
Media	0,036-0,067	56	31,64
Alta	0,068-0,101	19	10,73
Muy Alta	0,101-0,134	5	2,82
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en el valle central se concentran las mayores extracciones de agua mediante bocatombas en los cauces que alimentan una extensa red de canales de riego que se extiende por todo el valle central. Asimismo, la DGA ha declarado a la subcuenca del río Laja<sup>128</sup> con declaración de escasez, lo cual es indicativo de la demanda de recursos hídricos en el área. Posteriormente, en 2019<sup>129</sup> el sector de hidrológico Coronel Norte y Coronel Sur (Parque Industrial Escuadrón) prohibió nuevas explotaciones subterráneas.

<sup>128</sup> <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1059367>

<sup>129</sup> <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1127662>

Este índice se construyó mediante los registros recopilados en el Catastro Público de Aguas (CPA) de la Dirección General de Aguas (DGA). Sin embargo un número significativo de los registros o bien no tiene coordenadas o estas están mal consignadas. La mayor parte de los expedientes más antiguos no poseen coordenadas y no se pudieron espacializar. A pesar, de esta subestimación, en la medida que la información se corrija, permitirá representar con mayor acuciosidad la presión sobre el recurso hídrico.

En la región el 6% del volumen extraído se consume como agua potable<sup>130</sup>, el 81% para uso agropecuario, 11% industrial y 2% minero.



---

<sup>130</sup> DGA, Atlas del Agua <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/1382>

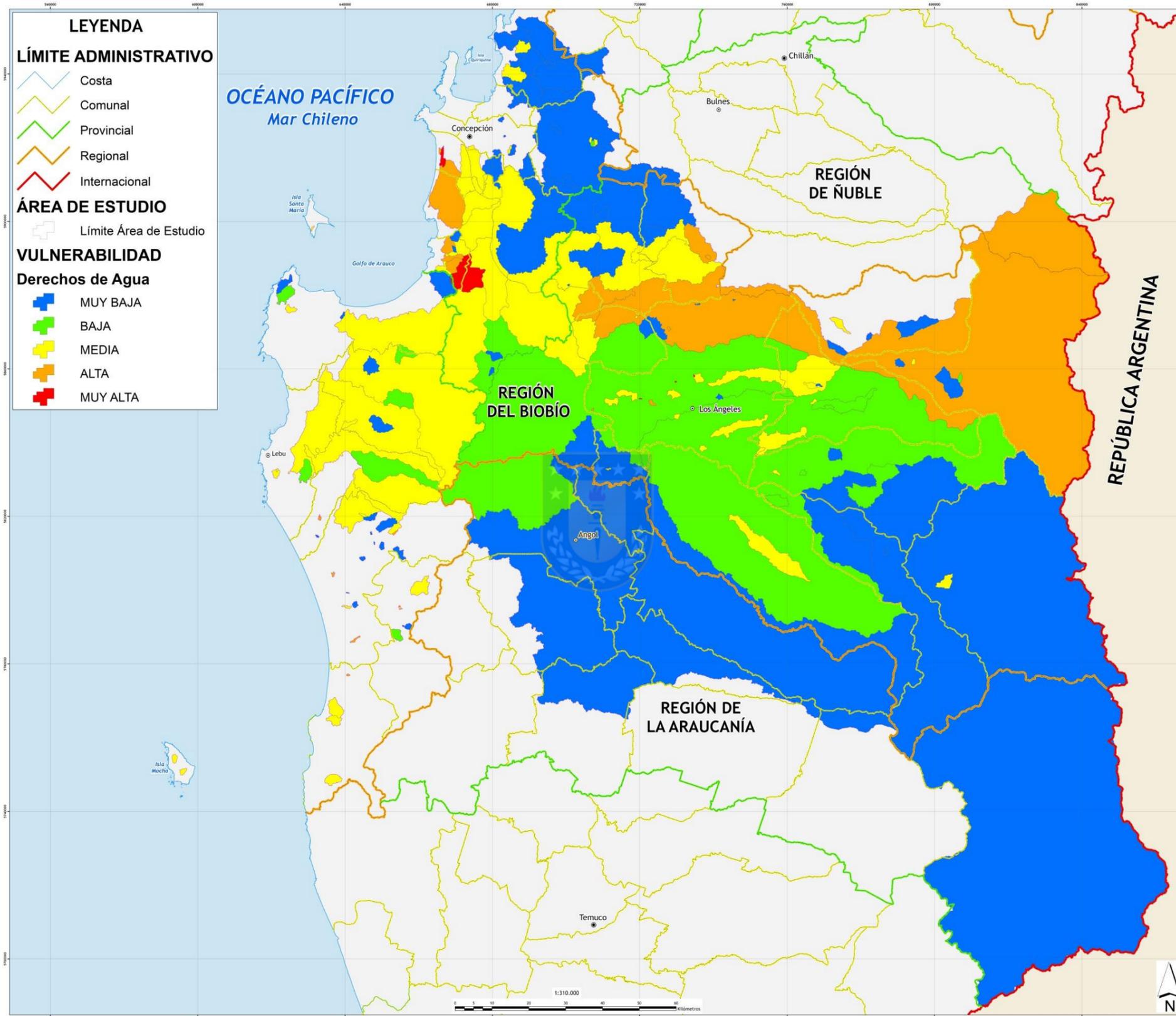


Figura 43. Vulnerabilidad de las ACAP por derechos de agua y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

#### h.- Índice de Áreas Protegidas

- \* En rango Muy Baja sólo hay 8 ACAP, 6 en el Valle Nonguén y las 2 restantes en Isla Mocha, todos contenidas completamente dentro de áreas SNASPE.
- \* En rango Baja son 2 ACAP, Pilpilco (Los Álamos) y Chivilingo Sur (Lota), ambas contenidas casi completamente en áreas de protección privada.
- \* En rango Media hay 8 ACAP, la mayor es Antihuala, le siguen Echeñique y Aguas Cascada en Lota (todas contenidas parcialmente por APP); luego hay 3 contenidas completamente en sitios prioritarios (Los Esteros, Ralco, Tranaquepe, San Ramón-Ranquilhue) y Chome contenida por el Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén.
- \* En rango Alta son 14 ACAP, se extiende predominantemente en el sector andino y cordillera de la costa, en todos estos casos hay una fracción más o menos importante de áreas protegidas
- \* En rango Muy Alta hay 146 ACAP, se distribuye por toda la cordillera costera y de Nahuelbuta, planicie costera, porción poniente del valle central y provincia de Malleco. En todos estos casos la fracción de alguna categoría de área protegida es muy menor. Por ejemplo el ACAP Nacimiento tiene un 9% de su superficie con áreas protegidas, aun así, en este índice lo califica con vulnerabilidad muy alta.

**Tabla 32.** Índice Vulnerabilidad de áreas protegidas según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,025	8	4,52
Baja	0,026-0,051	2	1,13
Media	0,052-0,077	8	4,52
Alta	0,078-0,103	14	7,91
Muy Alta	0,104-0,128	145	81,92
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: CONAF, MMA y elaboración propia

La FAO<sup>131</sup> y el Banco Mundial<sup>132</sup> entre muchos otros organismos promueven la sostenibilidad de los bosques ‘naturales’ como una manera de regular y asegurar la dotación del recurso hídrico en el largo plazo. En el área metropolitana de

<sup>131</sup> <http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s00.pdf>

<sup>132</sup> <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Concepción el Parque Nacional Nonguén, además de formar parte del SNASPE, provee de agua potable desde hace más de 100 años a la ciudad de Penco.

Las principales áreas protegidas se encuentran en ambas cordilleras, aunque en la cordillera andina, predominan las áreas protegidas SNASPE, en cambio en la cordillera costera o de Nahuelbuta predominan las áreas de protección privada.



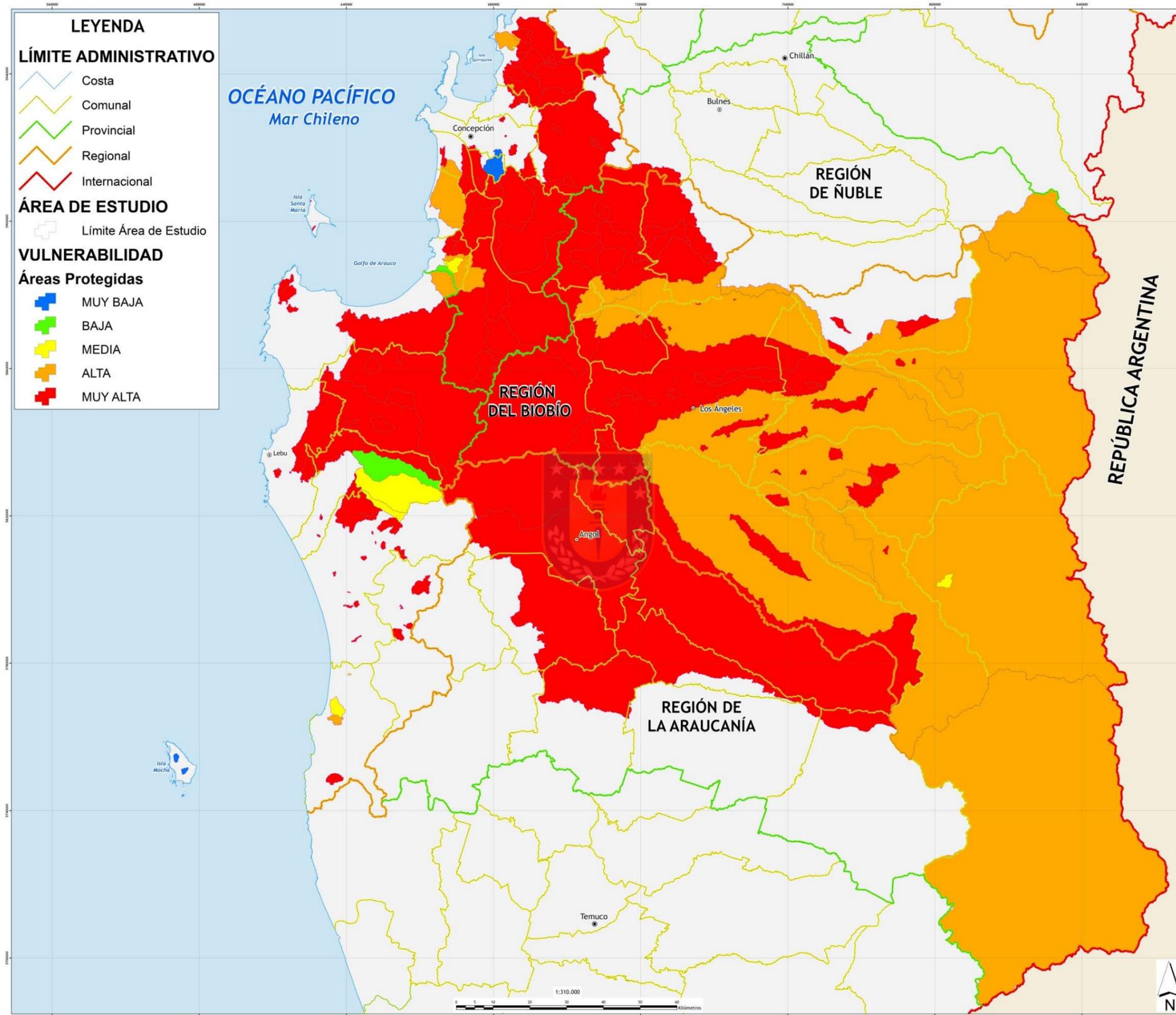


Figura 44. Vulnerabilidad de las ACAP por áreas de protección y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

#### i.- Índice de Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación

- \* En rango Muy Baja hay 66 ACAP, a pesar de ser el rango más numeroso, este hecho no se aprecia espacialmente. Este rango se concentra en la cordillera de la costa. El de mayor tamaño es Antihuala, luego entre las comunas de Arauco, Lota y Santa Juana, hay 10 ACAP. En la cordillera andina hay 4 ACAP de este rango. En la parte norte de la provincia de Concepción hay 26 ACAP. En la parte sur de Arauco se aprecian 23 ACAP.
- \* En rango Baja hay 50 ACAP, ocupa principalmente posiciones andinas (5 ACAP), costeras (41 ACAP) y 4 en el valle central.
- \* En rango Media Baja hay 17 ACAP, predominando en el valle central y valle fluvial inferior del río Biobío, además de la cuenca de los esteros Bellavista, Nachur y Collén en Tomé.
- \* En rango Alta hay 18 ACAP, que predomina en la subsubcuenca del río Claro (4 casos), valle central (12 casos), 1 en la cordillera de la costa y 1 en la planicie costera.
- \* En rango Muy Alta hay 26 ACAP, predomina claramente en el valle central (21 casos), provincia de Arauco (4 casos) y 1 en la planicie costera.

**Tabla 33.** Índice Vulnerabilidad del acuífero según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	0,088-0,122	66	37,29
Baja	0,123-0,159	50	28,25
Media	0,160-0,194	17	9,60
Alta	0,195-0,229	18	10,17
Muy Alta	0,229-0,265	26	14,69
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

Debido al mayor peso de este índice se espera una gran concordancia con los datos registrados, sin embargo el MMA<sup>133</sup> en un estudio de 2019, señala la obsolescencia de la información, ya que su vigencia no debiera ser mayor a 5-10 años, teniendo a la fecha 14 años desde su publicación (2006). Aun así, el instrumento aporta información muy valiosa sobre la vulnerabilidad del sustrato geológico frente a la contaminación hídrica.

<sup>133</sup> [https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2019/proyectos/Folio\\_2405-2416.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2019/proyectos/Folio_2405-2416.pdf)

Los registros de este índice evidencian que las ACAP con el mayor rango de prioridad, poseen los mayores valores promedio de vulnerabilidad del acuífero.

En general, alrededor de los cauces principales (Biobío, Laja, Claro, Vergara, Renaico, Bureo, Diguillín, Queuco, Carampangue, Paicaví, entre otros) presenta la mayor vulnerabilidad (extrema), ello se debe a la presencia de ‘depósitos no consolidados<sup>134</sup>’ (lecho fluvial, depósitos cuaternarios recientes) la cual es más susceptible de ser afectado por la mayoría de los contaminantes del agua, con impacto rápido en muchos escenarios de polución. Por otro lado la vulnerabilidad es menor en ambas zonas cordilleranas, debido a la menor presencia de depósitos no consolidados, siendo sólo vulnerable a contaminantes conservativos en el largo plazo, cuando son descargados continuamente. En el valle central, varía entre moderada y alta, dependiendo de las características del material consolidado.



---

<sup>134</sup> SERNAGEOMIN, <http://tienda.sernageomin.cl/tiendavirtual2/ProductDetail.aspx?pid=2331>

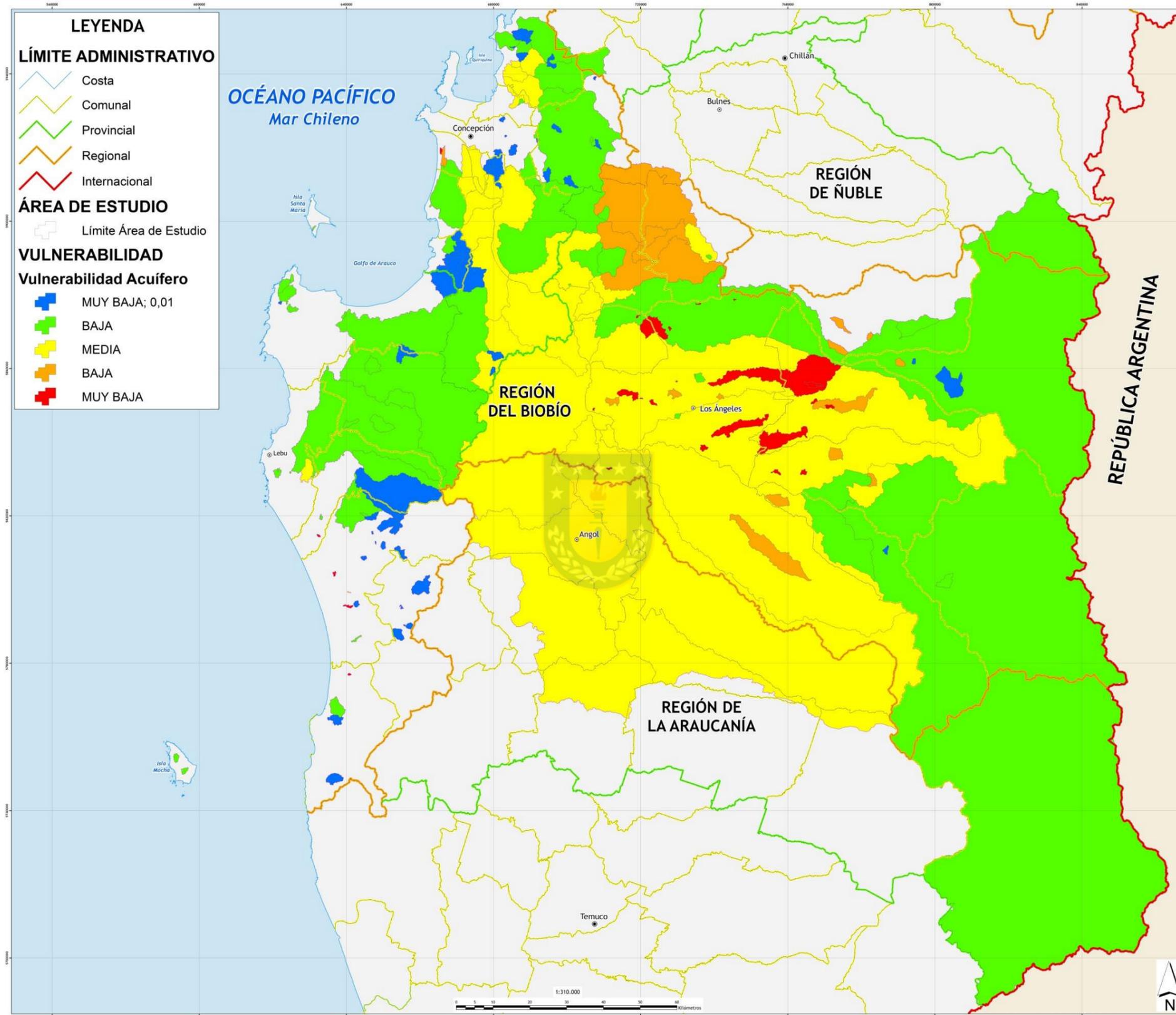


Figura 45. Vulnerabilidad del acuífero por ACAP y rango de priorización. Fuente: Elaboración propia

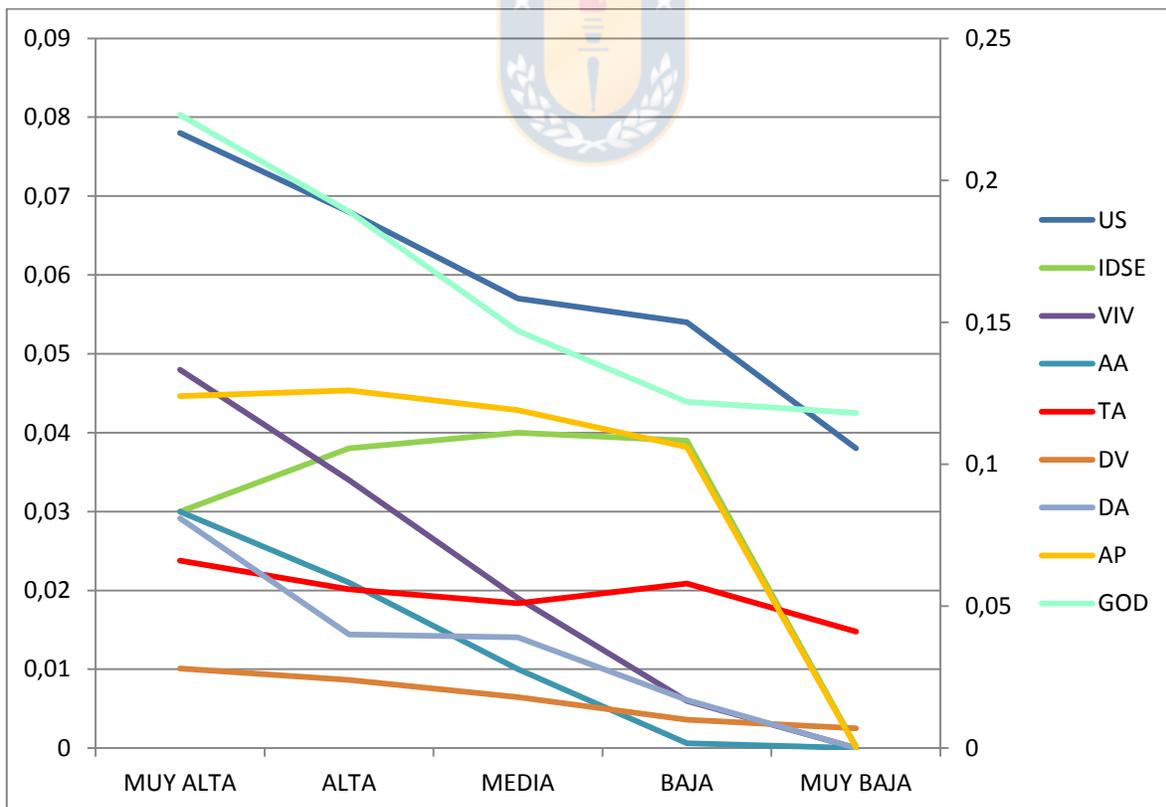
### 6.2.2.- Síntesis de criterios

En la Tabla 34 se presenta una comparación de los valores de prioridad promedio, obtenidos para cada criterio y un valor de prioridad promedio de todos los criterios. Los resultados indican que la mayoría de los criterios propuestos en este método muestran una relación lineal con la vulnerabilidad; es decir, a mayor presencia del elemento en la ACAP mayor es su vulnerabilidad, por lo tanto, más prioritaria su conservación. Por el contrario, los menores valores indican una menor vulnerabilidad. La excepción a esta son los criterios IDSE y TA, los cuales no muestran una tendencia similar.

**Tabla 34. Resumen Índice Vulnerabilidad Integrado por rango de prioridad**

TIPO PRIORIDAD	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	VALOR DE PRIORIDAD
MUY BAJA	0,038	0,041	2,00E-04	0	0	0,007	0	3,00E-04	0,118	<b>0,204</b>
BAJA	0,054	0,058	0,039	0,006	6,00E-04	0,01	0,017	0,106	0,122	<b>0,413</b>
MEDIA	0,057	0,051	0,04	0,019	0,01	0,018	0,039	0,119	0,147	<b>0,499</b>
ALTA	0,057	0,051	0,04	0,019	0,01	0,018	0,039	0,119	0,147	<b>0,499</b>
MUY ALTA	0,078	0,066	0,03	0,048	0,03	0,028	0,081	0,124	0,223	<b>0,711</b>

Fuente. Elaboración propia.

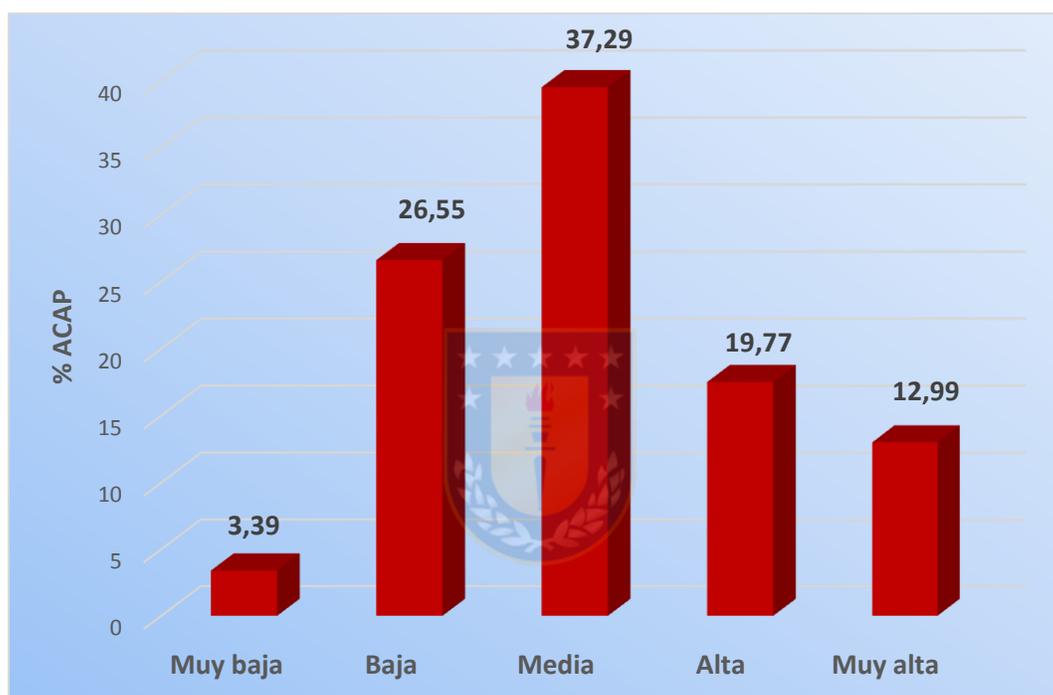


**Figura 46. Valores promedios según criterio y rango de prioridad**

**Tabla 35.** Índice Vulnerabilidad Integrado según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	VALOR DE PRIORIDAD INTEGRADO	NÚMERO ACAP	PORCENTAJE
Muy Baja	<b>0,204</b>	6	3,39
Baja	<b>0,413</b>	47	26,55
Media	<b>0,499</b>	66	37,29
Alta	<b>0,604</b>	35	19,77
Muy Alta	<b>0,711</b>	23	12,99
<b>TOTAL</b>		<b>177</b>	<b>100</b>

Fuente. Elaboración propia.

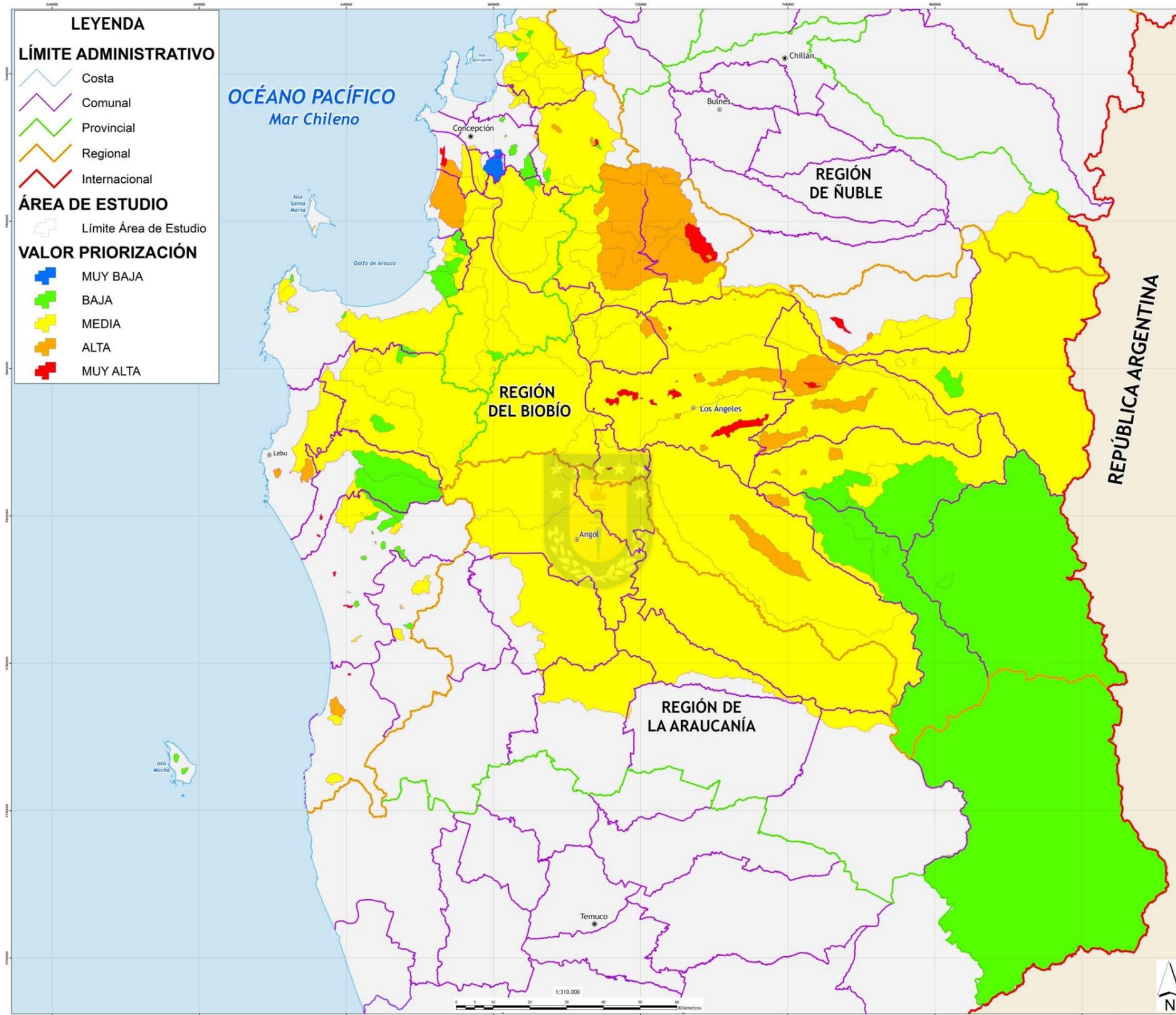


**Figura 47.** Índice vulnerabilidad integrado según rango prioridad. Fuente: Elaboración propia

La Tabla 35 presenta los resultados del cálculo del ‘Índice de Vulnerabilidad’ para las 177 ACAP del área de estudio, presentados en 5 rangos de prioridad, indicativos de la prioridad de gestión en estos territorios. A partir de estos resultados es posible destacar los siguientes aspectos:

- \* En el rango Muy Baja, hay 6 ACAP, se ubica exclusivamente en la cuenca el estero Nonguén, dentro del Parque Nacional Nonguén, posee los mejores más bajos: es un área protegida, no hay viviendas, no hay caminos, no hay extracción de agua (al interior del ACAP), posee usos de suelo que favorecen la sostenibilidad del recurso, no hay actividades antropogénicas y el sustrato geológico es favorable, se emplaza en las 2 comunas con mejor IDSE.

- \* En el rango Baja, son 47 ACAP, se emplaza en la porción andina sur (6 ACAP), las restantes 41 se emplaza en porciones menores en la cordillera de la costa y Nahuelbuta. Una fracción del territorio posee algún grado de protección, hay presencia de viviendas, hay red vial, hay extracción de agua, los usos de suelo son menos favorables para la sostenibilidad del agua, el sustrato geológico es más vulnerable a la contaminación y las comunas en que se emplaza poseen un IDSE medio-alto. En todos los índices (salvo TA e IDSE), los valores son mayores (ver Tabla N° 34).
- \* En el rango Media, hay 66 ACAP, ocupa predominantemente el valle central, cordillera andina norte y cordillera de la costa y Nahuelbuta. Una parte menor del territorio posee algún grado de protección, hay una mayor presencia de viviendas, hay una red vial mayor, hay una mayor extracción de agua, los usos de suelo son aún menos favorables para la sostenibilidad del agua, el sustrato geológico es aún más vulnerable a la contaminación y las comunas en que se emplaza poseen un IDSE medio. En todos los índices (salvo TA e IDSE), los valores son un poco mayores.
- \* En el rango Alta, son 35 ACAP, la mayoría se encuentra en el valle central (18 ACAP) y un núcleo importante en la subsusbcuenca del río Claro (6 ACAP), 5 ACAP en Arauco, 6 ACAP en Florida y 1 ACAP en Coronel. Una gran parte del territorio no posee ningún grado de protección, hay gran presencia de viviendas, hay una red vial importante, hay extracción de agua, los usos de suelo son menos favorables para la sostenibilidad del agua, el sustrato geológico es más vulnerable a la contaminación y las comunas en que se emplaza poseen un IDSE bajo. En todos los índices (salvo TA, IDSE y AP), los valores son aún mayores.
- \* En el rango Muy Alta, hay 23 ACAP, la mayoría en el valle central (14 ACAP) e incrustados en el rango medio y alto. Arauco 5 ACAP, Florida 1 ACAP, San Pedro 2 ACAP (La ACAP Lomas Coloradas es la ACAP con mayor vulnerabilidad) y Cabrero 1 CAP. Una fracción mínima del territorio posee algún grado de protección, hay una gran presencia de viviendas, hay una extensa red vial, hay una gran extracción de agua, los usos de suelo son muy desfavorables para la sostenibilidad del agua, el sustrato geológico es demasiado vulnerable a la contaminación y las comunas en que se emplaza poseen un IDSE muy bajo. En todos los índices (salvo IDSE y AP), los valores son los mayores.



**6.3.- Objetivo C.** Proponer medidas que reduzcan la vulnerabilidad de las ACAP y mejoren su gestión sostenible.

### 6.3.1.- Contexto

Sobre la base de los resultados obtenidos se proponen una serie de propuestas para reducir la vulnerabilidad de las ACAP evaluadas, como también para mejorar su gestión actual. La formulación de medidas también considera experiencias nacionales e internacionales en la materia. El nivel de las medidas propuestas esta en directa relación con la escala de la presente investigación, como también con los antecedentes e información disponible. El análisis territorial y espacial de *vulnerabilidades* asociadas a las ACAP y representadas a través de un conjunto de sub-índices, permite orientar, estratégicamente, la focalización de la inversión pública y la adopción de medidas regulatorias orientadas a reducir la presión de determinadas actividades económicas y presiones de uso sobre importantes cuencas productoras de agua potable (Figura 49).



**Figura 49.** Izquierda, captación superficial Los Tilos ESSBIO, estero Bellavista, comuna de Tomé. Derecha, sistema de punteras, río Pingueral ESSBIO, Dichato, comuna de Tomé. Fuente. Fotografías del autor.

Dentro de las iniciativas que se han implementado en la región surge la *Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático*<sup>135</sup> de CORFO. La gestión de cuencas representa una oportunidad para contratos territoriales enfocados en el agua y otros recursos naturales estratégicos para el desarrollo y la subsistencia, que respondan a las necesidades y desafíos productivos y socioambientales, de manera participativa y descentralizada.

El Acuerdo Voluntario para la Gestión de Cuencas (AVGC) se expresa en un Convenio entre empresas, organismos públicos competentes y otras

<sup>135</sup> [https://www.ascc.cl/pagina/acuerdos\\_voluntarios\\_para\\_la\\_gestion](https://www.ascc.cl/pagina/acuerdos_voluntarios_para_la_gestion)

organizaciones involucradas, para fomentar la producción limpia y el desarrollo sustentable en cuencas con actividades productivas, a través de sucesivos acuerdos y compromisos voluntarios de acciones orientados a cumplir objetivos y metas comunes. Uno de estos acuerdos se logró en la comuna de Ránquil, hoy en la región de Ñuble, pero su alcance es muy amplio y no está orientado a la gestión del agua potable.

Otro importante elemento de gestión es la ley N° 18.378, que promueve la creación de “distritos de conservación de suelos, bosques y aguas<sup>136</sup>”. En la región del Biobío y de acuerdo con CONAF<sup>137</sup>, esta normativa ha permitido crear 4 distritos de conservación en los cuales se establecen condiciones que favorecen la protección y conservación de los recursos hídricos (Figura 50):

- a) Prohíbase la corta de árboles en las cuencas hidrográficas del Lago Laja y de los ríos Laja, Cholguán y Diguillín en la precordillera y cordillera andina de las provincias de Ñuble y Biobío (1974).
- b) Crea área de protección “Isla Mocha” en Provincia de Arauco (1979).
- c) Prohíbe la corta de árboles situados en un sector de terrenos adyacente al Parque Nacional Nahuelbuta (1965).
- d) Prohíbe la corta de árboles situados hasta 100 metros de la carretera longitudinal sur, en el tramo comprendido entre la ciudad de Chillán, por el norte y el pueblo de Quellón, Provincia de Chiloé por el sur (1974).



**Figura 50.** Izquierda, estanque sistema APR Externo Madesal, comuna de Tomé. Derecha, captación superficial, estero Collén ESSBIO, comuna de Tomé. Fuente. Fotografías del autor.

<sup>136</sup> <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29793&idParte=0>

<sup>137</sup> <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/areas-de-proteccion-ley-n-18-378/>

Sin embargo, todos estos casos, fueron promulgados en el marco de la Ley N° 15.020<sup>138</sup>, derogada luego por la ley N° 18.378.

En las comunas de Quirihue y Yungay, durante el año 2006, hubo otro intento de creación de un distrito de conservación (CIREN<sup>139</sup>), sin embargo este proyecto no se materializó. Pese a ser una figura jurídica que permitiría generar nuevas áreas de protección para la generación de agua potable, en la región y el país no se ha generado ningún distrito de conservación (Figura 51).



**Figura 51.** Izquierda, captación Sistema APR DOH, Antihuala-Temuco Chico-La Araucana, comuna de Los Álamos. Derecha, estanques de acumulación, sistema APR Externo Loncopangue Alto, comuna de Quilaco. Fuente. Fotografías del autor.

Un ejemplo relevante de gestión territorial, para la producción de agua potable en la región del Biobío, es el Parque Nacional Nonguén. Este parque tiene su origen el año 1911<sup>140</sup> cuando se expropiaron a particulares los terrenos que conformaban parte de la cuenca del estero Nonguén, zona de captación de agua potable y que abastecería a la ciudad de Penco. Desde ese momento el predio se conocería como “El Fiscal”, iniciándose un proceso de recuperación de su vegetación nativa, aspecto que sería fundamental para sostener la producción hídrica de la cuenca, tanto en cantidad como en calidad.

Si bien en Chile existen diversas normativas que hacen referencia a la protección de los recursos hídricos, inclusive la necesidad de conocer la “calidad del agua cruda” en captaciones de concesionarias de servicios sanitarios, no hay cuerpos

138

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=28016%20tambi%C3%A9n%20conocida%20como%20ley%20de%20la%20reforma%20agraria>.

139

[http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/1212/Distr\\_Conser\\_VIII.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/1212/Distr_Conser_VIII.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<sup>140</sup><https://territoriononguen.cl/reserva-nacional-nonguen/#:-:text=ANTECEDENTES%20HISTORICOS,de%20bosque%20nativo%20del%20sector>

legales que regulen los riesgos antrópicos o naturales a los que puedan estar sometidas las ACAP. En esta línea, la SISS ha estado desarrollando el tema de la seguridad de los abastos de agua, impulsando la implementación de los denominados "Planes de Seguridad del Agua", metodología propuesta por la OMS como una forma de asegurar la calidad del agua a la población frente a las vulnerabilidades que éstas puedan presentar”.

Es por ello que la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) estima que se deben adoptar, en lo inmediato, medidas que permitan al sector sanitario identificar los posibles riesgos de las fuentes de producción de tipo superficial, como también las principales presiones de uso y “vulnerabilidades”, a fin que los servicios e instituciones involucradas y las propias empresas sanitarias puedan adoptar medidas de tipo preventivo para evitar riesgos que puedan amenazar la calidad de las fuentes de agua destinados al consumo de la población. Por esta razón la SISS ha solicitado a las empresas que informen acerca de las potenciales fuentes de contaminación, aguas arriba de las captaciones (Figura 52). Por lo tanto, realizar estudios catastrales que identifiquen estas fuentes y la naturaleza del riesgo o amenaza son fundamentales para la gestión de la producción, distribución y consumo de agua potable.



Figura 52. Izquierda, sondaje sistema APR Externo El Pino Norte, comuna de Concepción. Derecha, estanque de acumulación sistema APR Externo Los Esteros, comuna de Tomé. Fuente. Fotografías del autor.

Otra línea de gestión importante está referida a reducir o mitigar la contaminación de los acuíferos. Es así como la DGA tomando como referencia el DS 46<sup>141</sup>, genero el Manual<sup>142</sup> para la aplicación del concepto de Vulnerabilidad

<sup>141</sup> Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=206883>

<sup>142</sup>  
[http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/residuos\\_industriales\\_liquididos/manual\\_vulnerabilidad\\_acuiferos.pdf](http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/residuos_industriales_liquididos/manual_vulnerabilidad_acuiferos.pdf)

de Acuíferos establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. En este manual se describe la metodología que permitirá determinar la vulnerabilidad de acuíferos a emisiones de residuos líquidos mediante obras de infiltración.

Es en este contexto que la DGA<sup>143</sup> el año 2019, declaro zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Coronel Norte y Coronel Sur, con el objeto de evitar el colapso del acuífero, el cual se encuentra con sobreexplotación. Las ACAP relacionadas son Coronel (Alta), Lomas Coloradas y Los Pioneros (Muy Alta).

Los valores consignados en la resolución 23 (Tabla 36)<sup>144</sup>, en su artículo 14 indica: “dado que en los sectores acuíferos Coronel Norte y Coronel Sur se han otorgado derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (28.732.937 y 47.564.974 m<sup>3</sup>/año, respectivamente), que superan con creces a la oferta total de recursos hídricos subterráneos correspondiente (6.370.272 y 13.812.768 m<sup>3</sup>/año respectivamente), no es posible otorgar en ellos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales”.

**Tabla 36.** Volumen máximo de agua a otorgar en calidad de “derechos provisionales”.

SECTOR ACUÍFERO	Volumen Sustentable m <sup>3</sup> /año	Disponibilidad Total (def. + pro.) m <sup>3</sup> /año	Demanda Comprometida Total al 30 de junio de 2018 m <sup>3</sup> /año	Derechos Provisionales a Otorgar m <sup>3</sup> /año
Coronel Norte	3.185.136	6.370.272	28.732.937	-
Coronel Sur	6.906.384	13.812.768	47.564.974	-

Fuente. DGA, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1127662>

Los datos de esta resolución señalan claramente que el volumen de agua disponible es la mitad de la disponibilidad de los acuíferos y casi 9 veces menor que la demanda de agua comprometida.

Asimismo, la DGA está facultada para decretar zonas de “prohibición” para nuevas explotaciones de recursos hídricos con el objetivo de gestionar la disponibilidad futura de agua. Sin embargo la oportunidad temporal de las facultades de la DGA en estas materias, cuestionan la eficacia de estas atribuciones.

<sup>143</sup> <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1127662>

<sup>144</sup> <https://dga.mop.gob.cl/limitacionrestriccionagua/Paginas/default.aspx#tres> y <https://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=1f120f5a187149e0a30c4%20%20ab144ddae>

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriormente expuestos, la opción de crear ‘*distritos de suelo, agua y bosques*’, aparece como una opción viable, con un claro objetivo de promover la sostenibilidad de las captaciones de agua potable. Sin embargo, aun cuando la normativa está plenamente vigente, desde la promulgación de la misma, nunca se ha constituido un ‘*distrito*’. De todas maneras actualmente parece ser la figura jurídica más eficiente para preservar el acceso al agua potable (Figura 53).



**Figura 53.** Izquierda, planta potabilizadora APR DOH Chome, comuna de Hualpén. Derecha, planta desalinizadora APR DOH Punta Lavapié, comuna de Arauco. Fuente. Fotografías del autor.

### 6.3.2.- Vulnerabilidad de las ACAP y medidas de gestión

La actual y persistente crisis hídrica, una de cuyas vertientes se encuentra en el cambio climático global, la prolongada sequía que afecta al país, la actualización del balance hídrico nacional<sup>145</sup> y las múltiples presiones de uso sobre los recursos hídricos, aconsejan la necesidad de asegurar, tanto en cantidad como en calidad, el agua potable en las cuencas con mayor prioridad de conservación. De acuerdo al método propuesto, las ACAP con prioridad “Alta” y “Muy Alta” son 58, representan el 30,5% de las ACAP del área de estudio y se concentran mayoritariamente en 5 sectores:

- \* Borde costero Pencopolitano: 3 ACAP, Coronel, Lomas Coloradas y Los Pioneros San Pedro, comunas de Coronel y San Pedro de la Paz.

145

<http://sad.dga.cl/ipac20/ipac.jsp?session=D610481380312.10353357&profile=cirh&source=-!biblioteca&view=subscriptionsummary&uri=full=3100001-!6123-!2&ri=2&aspect=subtab39&menu=search&ipp=20&spp=20&stafonly=&term=balance+hidrico+nacional+sur&index=.GW&uindex=&aspect=subtab39&menu=search&ri=2>

- \* Borde costero Arauco: 10 ACAP, Pehuén, Santa Rosa (Norte), Santa Rosa (Sur), Ranco-El Rosal, Tranaquepe, Sara de Lebu, Pangué, Lloncao, Collico y San Ramón-Ranquihue. Comunas de Lebu, Los Álamos, Cañete y Tirúa.
- \* Subcuenca del río Claro: 7 ACAP, Cabrero, Yumbel, Río Claro, Cerro Parra, Obras de Río Claro, Tomeco y Charrúa. Comunas de Cabrero, Yumbel y Quillón.
- \* Valle central: 32 ACAP, Trupán, Tucapel, Cachapoal, Salto del Laja, El Esfuerzo, Natre Rarincó, Pata de Gallina, Villa Mercedes, San José de Biobío, Llano Blanco, San Lorencito, Quilleco, Las Águilas, Los Boldos, Campamento, El Manzano, Villucura, Huépil, Puente Perales, Los Troncos, La Montaña, Santa Fe, Millantú, Virquenco, San Antonio-Las Quintas-Allipén, Las Encinas-La Candelaria, Las Vegas, Villa ENTEL, Las Canteras, Rihue y Las Delicias. Comunas de Tucapel, Laja, Los Ángeles, Quilleco, Negrete, Mulchén, Santa Bárbara y Quilaco.
- \* Cordillera de la costa: 6 ACAP, Florida, Villa Esperanza, Villa Cristo Redentor, Rahuil Tapihue y Talermo. Comuna de Florida.

En general en estos ACAP hay un número de viviendas importantes, una extendida red vial, actividades antropogénicas, agrícolas, pecuarias, silvícolas y un intensivo uso del agua con fines agropecuarios.

¿Es posible limitar el establecimiento de más viviendas y nuevas actividades antropogénicas, y por otro lado favorecer el establecimiento de usos de suelo más compatibles con la sostenibilidad del recurso hídrico?



**Figura 54.** Izquierda, señalética APR DOH Horcones, comuna de Arauco. Derecha, punteras sistema APR DOH Obras de Río Claro, comuna de Yumbel. Fuente. Fotografías del autor.

Se considera que los cambios de uso del suelo y, específicamente, la sustitución de vegetación nativa por otras coberturas, representa una seria “amenaza” para la disponibilidad futura de recursos hídricos y la provisión de diversos servicios ecosistémicos, entre ellos la producción de agua potable (Figura 46).

Asimismo, en el rango de vulnerabilidad “Media”, y como criterio genérico de gestión, es de suma importancia mantener los valores de bosque nativo y matorral<sup>146</sup> en las ACAP. Esta última recomendación entra en directo conflicto con la expansión agrícola<sup>147</sup> apoyada por la Sociedad Nacional de Agricultura<sup>148</sup>. Recientemente la CGR<sup>149</sup> declaró ilegales los Planes de Manejo de Corta de Bosque Nativo para Recuperación de Terrenos con Fines Agrícolas, tal como se indica en la sentencia<sup>150</sup>.

Algunas de las medidas de gestión que se promueven son:

- \* Reevaluar el ‘Informe de factibilidad para construcciones ajenas a la agricultura en área rural’<sup>151</sup> (antes Cambio Uso de Suelo), para limitar nuevas construcciones en ACAP. Esta iniciativa es exclusiva del área rural.
- \* Modificar la Ley General de Urbanismo y Construcción para que pueda reconocer legalmente las ‘áreas productoras de agua potable’ en los instrumentos de planificación. Esta medida es exclusiva del área urbana.
- \* Generar distritos de conservación de aguas y suelos, para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico.
- \* Generar nuevos Acuerdos de Producción Limpia (APL), priorizando las ACAP.
- \* Gestionar con las empresas forestales, mejores prácticas de explotación forestal, limitando la extensión de los rodales a explotar con tala rasa en las ACAP. Asimismo, crear un área ‘renaturalizada’ en la ACAP que permita mejorar la sostenibilidad del recurso.
- \* Educar e informar a la comunidad sobre la importancia de la ACAP en la importancia de la sostenibilidad del recurso.

---

<sup>146</sup> Matorral, matorral-pradera y matorral arborescente suman un 9% en este rango

<sup>147</sup> <https://radio.uchile.cl/2020/04/01/fundacion-terram-aplaude-dictamen-de-contraloria-que-prohibe-tala-de-bosques-nativos-para-fines-agricolas/>

<sup>148</sup> <https://bosquenativo.cl/rechazado-recurso-de-proteccion-de-la-sociedad-nacional-de-agricultura-no-mas-sustitucion-de-bosque-nativo/>

<sup>149</sup> CGR: Contraloría General de la República

<sup>150</sup> <https://bosquenativo.cl/wp-content/uploads/2020/11/sentencia-ca-stgo-sna.pdf>

<sup>151</sup> <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/informe-de-factibilidad-para-construcciones-ajenas-la-agricultura-en-area-rural-ifc>

- \* Implementar en alguna organización (preferentemente fiscal) las capacidades para documentar, gestionar, monitorear y en definitiva mejorar la sostenibilidad de las ACAP.

## 7.- DISCUSIÓN

En Chile, además de las opciones jurídicas aplicables mediante la ley N° 18.874, otro grupo de herramientas se orienta hacia el ordenamiento territorial<sup>152</sup>. Una de las líneas de ordenamiento territorial, va de la mano de la LGUC<sup>153</sup>, que se plasman en los diversos IPT<sup>154</sup>, que son: PRC<sup>155</sup>, PRM<sup>156</sup>, PRI<sup>157</sup> entre otros. Sin embargo, estos adolecen de las siguientes falencias:

1. Norman el uso del suelo al interior del área urbana normada y habitablemente no reconocen las cuencas, normando sólo la parte de la cuenca incluida en el instrumento.
2. El tipo de uso de suelo que la LGUC puede normar, no permite bajo ninguna forma proteger las áreas productoras de agua potable, como tal.

El PRMC<sup>158</sup> aprobado en 2003, creó la tipología ZVN (Zona de Valor Natural), una de las áreas designadas con esta denominación corresponde al actual PN Nonguén (en 2003, no poseía esa denominación), posteriormente la CGR<sup>159</sup> objeto la tipología, indicando que “cambios de la legislación urbana vigente en materia de instrumentos de planificación territorial y su respectiva jurisprudencia administrativa, dificultan la aplicación de sus disposiciones normativas en diversas materias, en algunos casos excediendo sus competencias y en otros generando vacíos normativos, lo que ha resultado ser sustancial desde el punto de vista de su modificación”<sup>160</sup>.

Posteriormente en 2009 el MBN<sup>161</sup>, creó la Reserva Nacional Nonguén, luego en la nueva propuesta del PRMC<sup>162</sup> (aún en proceso de actualización) se reconocen

<sup>152</sup> <https://bosquenativo.cl/wp-content/uploads/2020/08/2020-08-minuta-nuevo-modelo-forestal-1.pdf>

<sup>153</sup> LGUC: Ley general de Urbanismo y Construcción <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=13560>

<sup>154</sup> IPT: Instrumentos de Planificación Territorial

<sup>155</sup> PRC: Plan Regulador Comunal

<sup>156</sup> PRM: Plan Regulador Metropolitano

<sup>157</sup> PRI: Plan Regulador Intercomunal

<sup>158</sup> PRMC: Plan Regulador Metropolitano de Concepción

<sup>159</sup> CGR: Contraloría General de la República

<sup>160</sup> [https://www.prmconcepcion.cl/wp-content/prmc/01InformeAmbiental\\_11modPRMC.pdf](https://www.prmconcepcion.cl/wp-content/prmc/01InformeAmbiental_11modPRMC.pdf) página 6

<sup>161</sup> MBN: Ministerio de Bienes Nacionales, <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1021491>

<sup>162</sup> PRMC [https://www.prmconcepcion.cl/wp-content/uploads/2020/08/MINUTA\\_TECNICA\\_RESUMEN-EJECUTIVO.pdf](https://www.prmconcepcion.cl/wp-content/uploads/2020/08/MINUTA_TECNICA_RESUMEN-EJECUTIVO.pdf) imagen 10

estas áreas con la designación de ‘ZPVN’ (Zona Protección Valor Natural). Por otro lado, aproximadamente un 50% del área urbana del actual PRMC vigente, está constituido por ACAP, la que se encuentra normada de acuerdo con la LGUC, en la cual no se reconoce el papel que juegan las ACAP en la dotación de agua potable hacia las comunidades urbanas. Por lo tanto, una línea de acción prioritaria será la inclusión de las ACAP en los IPT.

Un aspecto relevante en la gestión del agua potable es o será la capacidad de regular actividades económicas que generan impactos sobre la disponibilidad de recursos hídricos o bien sobre su calidad, como lo es el “sector forestal” industrial y silvícola en la región del Biobío. Se requiere un nuevo enfoque en la planificación y ordenamiento de las zonas rurales, un ‘*nuevo modelo forestal*<sup>163</sup>’, que, básicamente, ‘ordene el territorio para aminorar externalidades negativas, producir bienes de manera sostenible y crear un ambiente de bienestar’. Al respecto cabe señalar que una importante superficie de las ACAP de la región está cubierta por plantaciones forestales.

Las propuestas de gestión aquí enunciadas superan la capacidad actual de los instrumentos de planificación territorial para enfrentar el desafío de proteger, resguardar y asegurar la provisión de agua potable en las ACAP, entre otras razones porque sólo se ha contemplado el “problema” desde la perspectiva del desarrollo urbano, desestimando lo que ocurre fuera de él (ergo, el área rural).

No obstante lo anterior en el Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT)<sup>164</sup> del Biobío<sup>165</sup>, en su capítulo “*presión sobre el recurso hídrico*”, se señala que: “la construcción (futura), de un indicador de esta magnitud, sin duda supondría una herramienta de planificación territorial única, integrando como factor preponderante el criterio de gestión a la escala de cuenca hidrográfica. Permitiría cuantificar la disponibilidad del recurso hídrico, las presiones vinculadas a los usos que de él se hacen y su calidad”.

El párrafo anterior releva la importancia de disponer de información pública “actualizada” para avanzar en una gestión más eficiente de los recursos hídricos de la región y, en particular, de un enfoque y metodología que permita construir “índices” como el propuesto en esta investigación. En este sentido el IVP-ACAP es una herramienta de apoyo a la planificación “estratégica”, a diferentes escalas y unidades de análisis, de los recursos hídricos, con enfoque en la provisión de agua potable.

---

<sup>163</sup> <https://bosquenativo.cl/wp-content/uploads/2020/08/resumen-nuevo-modelo-forestal-1.pdf>

<sup>164</sup> PROT: Plan Regional de Ordenamiento Territorial

<sup>165</sup> El PROT Biobío fue aprobado por el CORE en enero 2018, pero la siguiente administración (marzo 2018) suspendió el proceso de EAE. Además en esa fecha la actual región de Ñuble, aún formaba parte de Biobío.

A nivel global, existen muchos ejemplos, incluso dentro de Sudamérica. Sin embargo el proyecto más ambicioso en esta materia es el **New York City's Water Supply System**<sup>166</sup>, la cual provee el 90% del agua (8 millones de consumidores), la cual proviene desde las cuencas de Catskill y Delaware unos 200 km al norte, aporta un caudal de 87,6 m<sup>3</sup>/s, gestionando un área de 4.500 km<sup>2</sup>, una superficie mayor a la provincia de Concepción y algo menor de la de Arauco.

Los 18 millones de habitantes de **São Paulo**<sup>167</sup> dependen en gran medida de algunas áreas protegidas clave para su agua potable. El principal de ellos es el Parque Estatal Cantareira (Categoría II, 7,900 ha). La cuenca de Cantareira, ubicada en los remanentes sobresalientes del bosque atlántico altamente amenazado, proporciona el 50 por ciento del suministro de agua al área metropolitana del Gran São Paulo, y el Parque Estatal es de importancia central para su protección.

En **Río de Janeiro**, catorce áreas protegidas diferentes y la Reserva de la Biosfera de la Selva Atlántica ayudan a proteger las fuentes de agua de la principal planta de tratamiento de agua de Guandu, que proporciona más del 80% del agua de Río de Janeiro. Dentro del área metropolitana de Río de Janeiro hay otras cuatro áreas protegidas, que alguna vez fueron las principales fuentes de agua de la ciudad, pero que ahora solo proporcionan algo menos del 10% del suministro. El 10% restante del agua de la ciudad proviene del embalse de Lages, que cuenta con bosques gestionados según las normas establecidas por el Código Forestal.

El suministro de agua para la ciudad de **La Habana** proviene de acuíferos subterráneos en áreas kársticas que se encuentran a unos 20-30km de la ciudad. Las partes superiores de los acuíferos están protegidas de la contaminación mediante reglamentación para controlar las actividades que limitarían su capacidad para absorber el agua que se filtra de los suelos. Estas regulaciones están estrictamente controladas y aplicadas por el Ministerio de Recursos Hídricos. Sin embargo, estas 'zonas protectoras de acuíferos', como se las conoce en Cuba, no están clasificadas como áreas protegidas por no estar relacionadas con áreas de valor para la biodiversidad.

El sistema de agua que abastece a **Roma** y a otros 60 ayuntamientos se compone de siete acueductos, que suman más de trescientos kilómetros. Roma es una de

---

<sup>166</sup> [www.nycwatershed.org/nyc/drinking-water](http://www.nycwatershed.org/nyc/drinking-water), [https://www.dec.ny.gov/docs/water\\_pdf/nycsystem.pdf](https://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/nycsystem.pdf), <https://www1.nyc.gov/site/dep/water/water-supply.page>

<sup>167</sup>

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

las pocas ciudades del mundo cuyo suministro de agua es naturalmente potable, ya que las fuentes son particularmente puras. El 97 por ciento del agua potable proviene de fuentes naturales, mientras que el 3 por ciento restante proviene de fuentes subterráneas. Hay varias áreas protegidas en la cuenca.

Nueve plantas de abastecimiento de agua abastecen a **Berlín** con agua potable extraída en su totalidad de fuentes subterráneas, todas las cuales están rodeadas por zonas de protección. Los límites de las áreas de conservación se establecen mediante isócronas, es decir, líneas que marcan tiempos de flujo similares al pozo. En estas zonas de protección, que se encuentran en tres grados diferentes de protección y generalmente tienen un radio de unos cientos de metros, están prohibidas las actividades que puedan poner en peligro los suministros de los consumidores.

Desde la fundación de la planta de abastecimiento de agua de **Múnich** en 1.900, la gestión forestal y la emisión de licencias forestales se han centrado en garantizar una buena calidad del agua. En la actualidad, un área de 2.900 ha se gestiona principalmente para mantener la calidad del agua y un área adicional de 1.900 ha está bajo contratos a largo plazo con agricultores locales, que se comprometen con la agricultura ecológica/orgánica certificada.

El noventa por ciento del suministro de agua de **Melbourne** proviene de cuencas montañosas deshabitadas al norte y al este de la ciudad. Mountain Ash produce aproximadamente el 80% del agua de Melbourne y casi el 50% de las cuencas hidrográficas se encuentran en áreas protegidas. Melbourne Water administra algunas cuencas hidrográficas solo para la recolección de agua y trabaja en estrecha colaboración con el Departamento de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Parques de Victoria en el manejo de cuencas de captación en bosques estatales y los parques nacionales Kinglake (Categoría II, 21.600 ha), Yarra Ranges (Categoría II, 76.000 ha) y Baw Baw (Categoría II, 13.300 ha). Melbourne ha sido reconocida por tener el agua potable de la más alta calidad de todas las ciudades australianas.

## 8.- CONCLUSIONES

### 8.1.- Respecto de la Vulnerabilidad de las ACAP

La gestión de los recursos hídricos plantea nuevas y mayores exigencias a la humanidad. En esta tesis, se ha logrado identificar 177 ACAP (de unas 400 posibles) describirlas y representarlas espacialmente, además se pudo construir un índice que permite jerarquizar a cada ACAP de acuerdo a su rango de vulnerabilidad, en función de ciertos criterios. Asimismo, se proponen una serie de medidas de gestión que permitirían reducir la ‘vulnerabilidad’ de las ACAP, especialmente de aquellas más vulnerables.

### 8.2.- Respecto de la metodología

La metodología desarrollada se basa mayoritariamente en registros oficiales de servicios públicos del Estado de Chile, inicialmente demandando un muy importante esfuerzo de sistematización, ordenación y análisis crítico de un conjunto de datos, en algunos casos de difícil acceso y con omisiones. No se trata de un método costoso de implementar y es posible manejar importantes volúmenes de datos a escala regional como de cuencas hidrográficas.

El método de cálculo propuesto para el IV-ACP entregó un resultado coherente y lógico, en función de la realidad territorial, escala de trabajo y experiencia del investigador. Esto lo refuerza el test estadístico de ‘análisis multi criterio’ aplicado para evaluar la bondad de la clasificación de vulnerabilidad. De los 177 ACAP, en 23 de ellos poseen vulnerabilidad Muy Alta, en 35 es Alta, Media en 66, Baja en 47 y Muy Baja en 6 ACAP.

### 8.3.- Respecto de las medidas de gestión propuestas

Las medidas de gestión parecen bastante simples de implementar y parecen de toda lógica, sin embargo así como la ley N° 18.378 que promueve la creación de ‘distritos de conservación de suelo, bosques y agua’, no se ha implementado ninguno. La gestión más plausible de implementar es con la industria forestal, su modelo de negocios en el cual la certificación forestal<sup>168</sup> constituye un pilar fundamental, lo hacen más susceptible a este tipo de iniciativa.

---

<sup>168</sup> <https://cl.fsc.org/es-cl> o <https://fsc.org/es>

## 9.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alvarado, A., Esteller, M.V., Quentin, E. *et al.* (2016) Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination,  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1239-4>

Anderson, Sweeney, Williams, Camm y Martin, Métodos cuantitativos para los negocios (2018),  
<https://simulacionunaulablog.files.wordpress.com/2018/04/metodos-cuantitativos-para-los-negocios-anderson-11th-31.pdf>

ArcGeek, <https://acolita.com/delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrografica-especifica-en-arcgis/> <https://acolita.com/descargar-un-modelo-de-elevacion-dem/>

Asociación Parque Cordillera, <http://asociacionparquecordillera.cl/red-de-parques-naturales/>

Banco Interamericano de Desarrollo (2015),  
<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6771/Manejo%20sostenible%20del%20agua.pdf?sequence=4>

Banco Mundial (2011), Chile - Diagnóstico de la gestión de los Recursos Hídricos,  
<http://documentos.bancomundial.org/curated/es/452181468216298391/Chile-Diagn-243-stico-de-la-gesti-243-n-de-los-recursos-h-237-dricos>

Banco Mundial (2003), Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water  
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/15006/292830Running0pure.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Banco Mundial (2002), Foster, S. y Hirata, R.: Contaminación de Aguas Subterráneas  
<http://documents1.worldbank.org/curated/en/229001468205159997/pdf/25071PUB01Spanish10BOX0334116B01PUBLIC1.pdf>  
<http://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad>

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN)  
[https://www.oas.org/dil/esp/Constitucion\\_Chile.pdf](https://www.oas.org/dil/esp/Constitucion_Chile.pdf),  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=242302>

<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region8/>

<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8>

<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region9/>

CEPAL, Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

<https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>

Código de Aguas (1981), [https://leyes-cl.com/codigo\\_de\\_aguas.htm](https://leyes-cl.com/codigo_de_aguas.htm)

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>

Cook C, Bakker K (2012) Water security: debating an emerging paradigm.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378011001804>

Corporación Nacional Forestal (CONAF), <https://sit.conaf.cl/>

<https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>

<https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-nonguen/>

CORFO, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, Acuerdos Voluntarios para la Gestión de Cuencas.

[http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos\\_voluntarios\\_para\\_la\\_gestion](http://www.agenciasustentabilidad.cl/pagina/acuerdos_voluntarios_para_la_gestion)

Dickson, S.E., Water Security Assessment Indicators: The Rural Context,

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1254-5>

Environmental System Research Institute (ESRI), DEM (Digital Elevation Model) o MDT (Modelo Digital del Terreno),

<https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.htm>

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/analyze/commonly-used-tools/surface-creation-and-analysis.htm>

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/fundamentals-of-3d-surfaces.htm>

Falkenmark M, Lundqvist J (1998) Towards water security: political determination and human adaptation crucial

<https://www.ircwash.org/sites/default/files/210-98TO-14852.pdf>

FAO, <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-and-water/basic-knowledge/es/>

FAO, Los Bosques y el Agua, página 48,

<http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s00.pdf>

Foster, S (1987) Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. In: Van Duijvenbooden, W. and Van Waegeningh, H.G., Eds., Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, Committee on Hydrological Research, The Hague, 69-86.

Hoekstra, Arjen Y. (2000), Appreciation of water: four perspectives  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366701799000136>

Iagua, Instrumentos para la gestión integrada de las intervenciones sobre las cuencas y el agua, <https://www.iagua.es/blogs/axel-dourojeanni/instrumentos-gestion-integrada-intervenciones-cuencas-y-agua>

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), <http://www.ide.cl/>

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), Región de Ñuble  
<http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1575-dem-alos-palsar-region-del-nuble>

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), Región del Biobío  
<http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1572-dem-alos-palsar-region-del-biobio>

Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), Región de La Araucanía  
<http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1566-dem-alos-palsar-region-de-la-araucania>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), <https://www.ine.cl/>,  
<https://www.censo2017.cl/> y <http://www.censo2017.cl/resultados-precenso-2016>

Instituto Nacional de Normalización (INN), Nch 777/1, Tipos de captación, página 12; Nch 777/2, Tipos de captación, página 14, <https://www.inn.cl/>

Intermap, Digital Elevation Models,  
<https://web.archive.org/web/20110820070537/http://www.intermap.com/en-us/nextmap/digitalelevationmodels.aspx>

International Society on MCDM, Multiple Criteria Decision Making  
<http://www.mcdmsociety.org/>

Kaly et al (1999), Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles,  
<https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/27406>

Ministerio de Agricultura, IDE MINAGRI,  
<http://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/economia/>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), <https://mma.gob.cl/>  
<http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), <https://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-agua>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Iniciativa de Conservación Privada (ICP),  
<http://areasprotegidas.mma.gob.cl/conservacion-privada/>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Área Protegida Privada (APP),  
<http://bdnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=1251>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Área Protegidas, Otras designaciones,  
<http://areasprotegidas.mma.gob.cl/otras-designaciones/>

Ministerio de Obras Públicas, Mesa Nacional del Agua,  
<http://www.infraestructurapublica.cl/mesa-nacional-del-agua-primer-informe/>  
<https://www.mop.cl/MesaAgua/index.html>,  
[http://www.infraestructurapublica.cl/wp-content/uploads/2020/03/Mesa\\_Nacional\\_del\\_Agua\\_2020\\_Primer\\_Informe\\_Enero.pdf](http://www.infraestructurapublica.cl/wp-content/uploads/2020/03/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf)  
[https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa\\_Nacional\\_del\\_Agua\\_2020\\_Primer\\_Informe\\_Enero.pdf](https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, [https://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile,  
<http://sad.dga.cl/ipac20/ipac.jsp?session=1S4430707E156.5559963&profile=cirh&uindex=BAW&term=Uni%C3%B3n%20Temporal%20de%20Proveedores%20H%C3%ADdrica%20Consultores%20SPA%20y%20Aquaterra%20Ingenieros%20Ltda.&aspect=subtab13&menu=search&source=~!biblioteca>

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Atlas del Agua <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/1382>

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Redefinición de cuencas,

[http://documentos.dga.cl/Informe\\_Final\\_de\\_la\\_Redefinicion\\_de\\_las\\_Cuencas\\_DGA.pdf](http://documentos.dga.cl/Informe_Final_de_la_Redefinicion_de_las_Cuencas_DGA.pdf)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Redefinición de Cuencas, [https://snia.mop.gob.cl/sad/Anexo\\_Cartografico.pdf](https://snia.mop.gob.cl/sad/Anexo_Cartografico.pdf)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos, [https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced\\_darh.pdf](https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced_darh.pdf)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas (DGA), Derechos de aprovechamiento de agua registrados en DGA, [https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)

Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Sistemas de Agua Potable Rural (APR), <http://www.doh.gov.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/acercaAPR.aspx>,

Ministerio de Salud, <https://www.minsal.cl/>

Ministerio del Interior, Política Nacional de Recursos Hídricos (2015), [https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos\\_hidricos.pdf](https://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf)

Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012, <https://www.yumpu.com/es/document/read/28707209/resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-subdere> <https://docplayer.es/13903694-Resumen-catastro-plantas-de-tratamiento-de-aguas-servidas-sector-rural-ano-2012.html>

Ministerio del Interior, Subsecretario de Desarrollo Regional (SUBDERE), Actualización de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables (2019), <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Catastro%20de%20sitios%20septiembre%202019.pdf>

Observatorio Chileno de Salud Pública (OCHISAP, 2014), <http://www.ochisap.cl/>  
<http://www.ochisap.cl/index.php/determinantes-y-proteccion-social/diversidad-en-nivel-y-desarrollo-social>  
<http://www.ochisap.cl/images/ComunasChile.pdf>

OCDE (2017), Análisis de gobernanza de infraestructura: Chile Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile, Mensajes

Claves, <https://www.oecd.org/gov/budgeting/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile.pdf>

OCDE (2017), Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile, Análisis de Gobernanza de la Infraestructura, [https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile\\_9789264286948-es](https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile_9789264286948-es)

ONU (2015), Resolución 64/292, El derecho humano al agua y al saneamiento [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts\\_and\\_figures\\_human\\_right\\_to\\_water\\_spa.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts_and_figures_human_right_to_water_spa.pdf)

ONU (2015), Objetivos de Desarrollo Sostenible, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

ONU (2015), Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

OMS y UNICEF (2012), Progress on drinking water and sanitation: 2012 Update. <http://www.mondialisations.org/medias/pdf/drinkingwateren.pdf>

OMS, UNICEF (2015) Progress on Sanitation and Drinking Water; 2015 Update and MDG Assessment [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/jmp-2015-update/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-2015-update/en/)  
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204485/9789243509143\\_spa.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204485/9789243509143_spa.pdf?sequence=1)  
[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/en/)

OMS, Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad, [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/publication\\_9789241562638/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/publication_9789241562638/es/)

Organización Panamericana de la Salud (OPS), [https://www.paho.org/meX/index.php?option=com\\_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499](https://www.paho.org/meX/index.php?option=com_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499)

Patterson, Tom. US National Park Service, Making 3D Terrain Maps, [http://shadedrelief.com/3D\\_Terrain\\_Maps/index.html](http://shadedrelief.com/3D_Terrain_Maps/index.html)

Saaty, Thomas L., "*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*" (1980)

<http://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>  
[https://www.researchgate.net/publication/228628807\\_Decision\\_making\\_with\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/228628807_Decision_making_with_the_Analytic_Hierarchy_Process)

SEMARNAT (2005). Indicadores básicos de desempeño ambiental 2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 240 pp.

Senado, <https://www.senado.cl/senado-rechaza-consagrar-el-agua-como-bien-de-uso-publico-en-la/senado/2020-01-07/200731.html>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)

<https://www.sernageomin.cl/hidrogeologia/>  
<http://tienda.sernageomin.cl/tiendavirtual2/ProductDetail.aspx?pid=2331>

Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)

<http://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/proteccion-snaspe/>

Súper Intendencia de Servicios Sanitarios (SISS),

<https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17366.html>

<https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17022.html>

<http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/w3-propertyvalue-3457.html>

<https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-12161.html>

<http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17538.html>

<http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-11576.html>

<http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6392.html>

<http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6430.html>

<https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN),

<https://www.iucn.org/es>

UN Water, <http://www.unwater.org/new-publication-whounicef-joint-monitoring-programme-2017-report/>

United Nations Environment Programme (UNEP)

<https://www.unenvironment.org/es/resources/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-6>

United Nations Environment Programme (UNEP), Perspectivas del Medio Ambiente (GEO-6, 2019), Página 16

[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM\\_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27652/GEO6SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

United Nations Environment Programme (UNEP), Global Environment Outlook (GEO-6) <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>

Vrba, J. y Lipponen, A. (2007). Groundwater Resources Sustainability Indicators. IHP-VI, Serie Agua subterránea No. 14. UNESCO. Paris.123 pp.



## 10.- ANEXO

Registro de la valorización de los componentes para cada ACAP y su valor de prioridad

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
1	PINGUERAL	0,059	0,037	0,034	0,026	0,03	0,021	0,017	0,127	0,134	0,484	MEDIA
2	MENQUE	0,048	0,060	0,033	0	0	0,021	0	0,127	0,118	0,407	BAJA
3	PISSIS	0,064	0,060	0,033	0,026	0,059	0,028	0	0,127	0,118	0,516	MEDIA
4	VILLA HERMOSA	0,064	0,060	0,033	0,044	0	0,028	0,017	0,127	0,118	0,491	MEDIA
5	RAFAEL	0,058	0,037	0,034	0,026	0,03	0,028	0,017	0,127	0,126	0,483	MEDIA
6	SAN FRANCISCO	0,041	0,037	0,001	0	0	0,007	0	0	0,118	0,204	MUY BAJA
7	NONGUÉN	0,037	0,048	0	0	0	0,007	0	0,002	0,118	0,213	MUY BAJA
8	LO ROJAS	0,036	0,037	0	0	0	0,007	0	0	0,118	0,197	MUY BAJA
9	MANQUIMÁVIDA	0,033	0,037	0	0	0	0	0	0	0,118	0,187	MUY BAJA
10	REDOLMO	0,035	0,048	0	0	0	0,007	0	0	0,118	0,208	MUY BAJA
11	CUMPUMPUY	0,045	0,037	0	0	0	0,014	0	0	0,118	0,213	MUY BAJA
12	PUERTO SUR	0,067	0,073	0,025	0	0	0	0,067	0,127	0,147	0,505	MEDIA
13	PUERTO NORTE	0,055	0,073	0,025	0	0	0,028	0,067	0,127	0,147	0,522	MEDIA
14	ISLA MOCHA NORTE	0,033	0,061	0,051	0	0	0	0,05	0	0,147	0,342	BAJA
15	ISLA MOCHA SUR	0,033	0,061	0,051	0	0	0	0,05	0	0,147	0,342	BAJA
16	PUNTA LAVAPIE	0,053	0,061	0,030	0	0	0,014	0,017	0,127	0,143	0,445	BAJA
17	RUMENA	0,058	0,061	0,030	0,026	0	0,021	0,017	0,127	0,150	0,490	MEDIA
18	LLICO	0,061	0,049	0,030	0,009	0	0,014	0,033	0,127	0,156	0,479	MEDIA
19	EL PIURE	0,048	0,073	0,030	0,026	0	0,021	0,033	0,127	0,118	0,477	MEDIA
20	TUBUL	0,047	0,061	0,030	0	0	0	0,05	0,127	0,138	0,453	MEDIA
21	SANTA ROSA (NORTE)	0,070	0,073	0,051	0,071	0	0,035	0,067	0,127	0,147	0,641	ALTA
22	SANTA ROSA (SUR)	0,061	0,061	0,051	0,044	0,059	0,028	0,067	0,127	0,147	0,645	ALTA
23	RANCO-EL ROSAL	0,061	0,073	0,051	0,026	0	0,028	0,067	0,127	0,147	0,580	ALTA
24	SARA DE LEBU	0,081	0,073	0,057	0,044	0,074	0,035	0,1	0,127	0,147	0,739	MUY ALTA
25	PANGUE	0,066	0,073	0,057	0,044	0	0,028	0	0,127	0,263	0,658	MUY ALTA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
26	LA CURVA DE CAYUCUPIL	0,057	0,049	0,051	0,009	0	0,007	0,017	0,127	0,118	0,434	BAJA
27	CAYUCUPIL 1	0,051	0,073	0,051	0	0	0	0,083	0,127	0,118	0,504	MEDIA
28	CAYUCUPIL 2	0,043	0,061	0,051	0	0	0	0,05	0,127	0,118	0,450	MEDIA
29	SAN ANTONIO 1	0,060	0,073	0,051	0	0	0	0	0,127	0,118	0,429	BAJA
30	SAN ANTONIO 2	0,060	0,073	0,051	0	0	0	0	0,127	0,118	0,429	BAJA
31	PULEBU	0,061	0,073	0,051	0	0	0	0	0,127	0,118	0,430	BAJA
32	PUCHACAY	0,061	0,061	0,051	0	0	0	0	0,127	0,118	0,418	BAJA
33	BUTAMALAL BAJO	0,065	0,061	0,051	0	0	0,007	0	0,127	0,118	0,429	BAJA
34	EL CARMEN	0,061	0,061	0,051	0,009	0	0,007	0	0,127	0,118	0,433	BAJA
35	PELECO	0,055	0,061	0,051	0	0	0	0	0,127	0,118	0,412	BAJA
36	LLONCAO	0,067	0,073	0,051	0,044	0	0,021	0,1	0,127	0,265	0,748	MUY ALTA
37	HUENTELOLEN	0,066	0,073	0,051	0,026	0	0,014	0	0,127	0,190	0,547	MEDIA
38	COLLICO	0,079	0,061	0,051	0,044	★ ★	0,028	0,05	0,127	0,253	0,694	MUY ALTA
39	HUAPE	0,057	0,061	0,051	0	★	0	0,017	0,127	0,118	0,430	BAJA
40	CALEBU	0,054	0,049	0,055	0	0	0,021	0,05	0,127	0,118	0,474	MEDIA
41	LICAHUE 3	0,036	0,073	0,055	0	0	0	0,067	0,127	0,120	0,477	MEDIA
42	LICAHUE 2	0,036	0,073	0,055	0	0	0	0,067	0,127	0,118	0,475	MEDIA
43	LICAHUE 1	0,041	0,073	0,055	0	0	0	0,083	0,127	0,118	0,497	MEDIA
44	CONTRERAS	0,043	0,061	0,055	0,018	0	0,014	0	0,127	0,118	0,435	BAJA
45	VILLA EL CASTAÑO	0,043	0,073	0,055	0	0	0	0	0,127	0,118	0,416	BAJA
46	EL PERAL	0,052	0,061	0,055	0,009	0	0,021	0,033	0,127	0,118	0,476	MEDIA
47	ANTIQUINA	0,062	0,061	0,051	0	0	0,007	0,083	0,127	0,124	0,516	MEDIA
48	SAN RAMÓN-RANQUILHUE	0,083	0,073	0,061	0,053	0	0,035	0,1	0,064	0,265	0,734	MUY ALTA
49	TRANAQUEPE	0,058	0,049	0,061	0,026	0	0,021	0,067	0,117	0,156	0,555	ALTA
50	QUIDICO	0,061	0,061	0,061	0,026	0	0,028	0,067	0,091	0,118	0,514	MEDIA
51	TIRUA	0,054	0,061	0,061	0,018	0	0,021	0,05	0,127	0,118	0,510	MEDIA
52	DICHATO	0,062	0,049	0,033	0	0	0,014	0	0,112	0,259	0,528	MEDIA
53	RAHUIL	0,071	0,073	0,042	0,044	0	0,035	0,05	0,127	0,118	0,560	ALTA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
54	COLIUMO	0,063	0,049	0,033	0,062	0,03	0,028	0,017	0,095	0,149	0,525	MEDIA
55	MADESAL	0,061	0,061	0,033	0	0	0	0	0,078	0,118	0,351	BAJA
56	LOS ESTEROS	0,061	0,073	0,033	0,018	0	0,014	0	0,064	0,118	0,380	BAJA
57	COLLEN	0,059	0,049	0,033	0,009	0	0,021	0,05	0,117	0,139	0,476	MEDIA
58	LAS QUILAS	0,061	0,061	0,033	0,018	0	0,021	0	0,118	0,118	0,429	BAJA
59	NACHUR	0,060	0,049	0,033	0,026	0	0,007	0,017	0,127	0,190	0,508	MEDIA
60	CORONEY	0,060	0,049	0,033	0,026	0	0,028	0,017	0,127	0,191	0,531	MEDIA
61	LOS TILOS	0,055	0,049	0,033	0,026	0	0,007	0,067	0,127	0,171	0,535	MEDIA
62	PUNTA DE PARRA	0,055	0,049	0,033	0,018	0	0,021	0,017	0,127	0,181	0,500	MEDIA
63	PRIMER AGUA	0,061	0,061	0,024	0,026	0	0,021	0,017	0,127	0,180	0,516	MEDIA
64	VILLORRIO PRIMER AGUA	0,060	0,061	0,024	0,035	0	0,028	0	0,127	0,147	0,482	MEDIA
65	CHOME	0,052	0,085	0,009	0	0	0,028	0,1	0,064	0,125	0,462	MEDIA
66	PEAJE CHAIMAVIDA	0,061	0,061	0,001	★ 0	★ ★ 0	0,035	0	0,127	0,118	0,403	BAJA
67	SAN JORGE 1	0,050	0,073	0,001	0,026	★ 0	0,028	0	0,127	0,118	0,424	BAJA
68	SAN JORGE 2	0,058	0,085	0,001	0	0	0,028	0	0,127	0,118	0,417	BAJA
69	EL PINO (NORTE)	0,060	0,061	0,001	0,035	0	0,028	0	0,127	0,118	0,430	BAJA
70	EL PINO (SUR)	0,061	0,061	0,001	0,018	0	0,007	0,05	0,127	0,118	0,443	BAJA
71	CHAIMAVIDA SOTO	0,059	0,049	0,017	0,018	0	0,021	0,017	0,127	0,132	0,438	BAJA
72	LOS PIONEROS ANDALIEN	0,046	0,036	0,041	0,035	0,044	0,021	0,017	0,127	0,138	0,506	MEDIA
73	LOMAS DE ANDALIEN	0,062	0,073	0,014	0	0	0,007	0	0,127	0,118	0,400	BAJA
74	VILLA ESPERANZA	0,056	0,073	0,042	0,035	0	0,028	0	0,127	0,215	0,576	ALTA
75	VILLA CRISTO REDENTOR	0,065	0,061	0,042	0,044	0,059	0,028	0,017	0,127	0,118	0,561	ALTA
76	TALERMO	0,066	0,073	0,042	0,035	0,074	0,028	0,05	0,127	0,127	0,623	ALTA
77	TAPIHUE	0,061	0,061	0,042	0,053	0,074	0,028	0,033	0,127	0,125	0,604	ALTA
78	FLORIDA	0,074	0,061	0,042	0,062	0,074	0,035	0,067	0,127	0,118	0,660	MUY ALTA
79	EMBALSE TAPIHUE	0,061	0,061	0,042	0	0	0,014	0	0,127	0,118	0,422	BAJA
80	COPIULEMU	0,055	0,061	0,042	0,018	0	0,028	0	0,127	0,118	0,449	BAJA
81	LA PAZ	0,064	0,061	0,042	0,026	0	0,028	0,017	0,127	0,118	0,482	MEDIA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
82	TRUPAN	0,055	0,061	0,043	0,026	0,059	0,028	0	0,127	0,213	0,613	ALTA
83	TUCAPEL	0,080	0,061	0,043	0,026	0,044	0,028	0	0,127	0,206	0,616	ALTA
84	HUEPIL	0,085	0,061	0,043	0,035	0,044	0,028	0,067	0,127	0,206	0,696	MUY ALTA
85	CONCEPCION-SAN PEDRO	0,051	0,012	0,046	0,026	0,03	0,014	0,05	0,105	0,164	0,498	MEDIA
86	COCHRANE	0,050	0,012	0,046	0,026	0,03	0,014	0,05	0,105	0,164	0,498	MEDIA
87	HUALQUI	0,051	0,012	0,046	0,026	0,03	0,014	0,05	0,105	0,164	0,498	MEDIA
88	EL CHIVATO	0,065	0,061	0,046	0,018	0	0,028	0	0,127	0,118	0,462	MEDIA
89	QUILACOYA	0,055	0,036	0,044	0,018	0,015	0,021	0,017	0,127	0,133	0,465	MEDIA
90	SANTA JUANA-TALCAMÁVIDA	0,050	0,012	0,046	0,026	0,03	0,014	0,05	0,104	0,164	0,498	MEDIA
91	RERE	0,070	0,049	0,041	0,018	0	0,021	0,017	0,127	0,133	0,475	MEDIA
92	LOS DESPACHOS	0,077	0,073	0,041	0,018	0	0,028	0	0,127	0,147	0,511	MEDIA
93	LAJA-SAN ROSENDO	0,055	0,024	0,036	0,026	0,03	0,014	0,083	0,088	0,165	0,521	MEDIA
94	LAS PLAYAS	0,051	0,024	0,036	0,026	0,03	0,007	0,083	0,086	0,157	0,501	MEDIA
95	RIO CLARO	0,070	0,036	0,038	0,044	0,059	0,021	0,05	0,127	0,196	0,642	ALTA
96	CERRO PARRA	0,071	0,049	0,041	0,018	0,074	0,021	0,017	0,127	0,153	0,571	ALTA
97	YUMBEL	0,069	0,036	0,038	0,035	0,044	0,021	0,05	0,127	0,200	0,621	ALTA
98	OBRAS DE RÍO CLARO	0,069	0,036	0,038	0,026	0,03	0,021	0,017	0,127	0,199	0,563	ALTA
99	CAMBRALES	0,070	0,036	0,038	0,026	0,03	0,021	0,017	0,127	0,196	0,561	ALTA
100	TOMECO	0,075	0,061	0,041	0,018	0,044	0,021	0	0,127	0,126	0,513	MEDIA
101	CABRERO	0,075	0,049	0,037	0,044	0,074	0,028	0,083	0,127	0,166	0,684	MUY ALTA
102	CHARRUA	0,058	0,061	0,037	0,053	0	0,028	0,083	0,127	0,147	0,594	ALTA
103	PUENTE PERALES	0,087	0,073	0,028	0,035	0	0,021	0,067	0,127	0,235	0,673	MUY ALTA
104	CACHAPOAL	0,072	0,049	0,023	0,026	0	0,021	0,017	0,127	0,235	0,570	ALTA
105	LOS TRONCOS	0,077	0,073	0,019	0,044	0	0,028	0,083	0,127	0,235	0,687	MUY ALTA
106	SALTO DEL LAJA	0,072	0,073	0,019	0,044	0	0,035	0	0,127	0,235	0,605	ALTA
107	PARAGUAY	0,066	0,073	0,019	0	0	0,028	0	0,127	0,235	0,548	MEDIA
108	POLCURA	0,039	0,049	0,043	0,018	0,03	0,007	0,017	0,11	0,147	0,458	MEDIA
109	MIRRIHUE	0,062	0,061	0,035	0,018	0	0,021	0,017	0,127	0,206	0,546	MEDIA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
110	ANTUCO	0,058	0,061	0,035	0,026	0	0,021	0,067	0,127	0,118	0,513	MEDIA
111	VILLA PELUCA-VILLA LAS ROSAS	0,036	0,049	0,035	0,009	0	0,007	0,017	0,095	0,113	0,361	BAJA
112	LOS CANELOS	0,041	0,061	0,035	0	0	0	0,033	0,095	0,088	0,354	BAJA
113	MILLAPOA	0,050	0,012	0,049	0,026	0,044	0,014	0,033	0,108	0,165	0,502	MEDIA
114	LA GENERALA	0,060	0,061	0,039	0,035	0	0,028	0,017	0,127	0,118	0,485	MEDIA
115	SAN GERONIMO	0,054	0,061	0,039	0,018	0	0,021	0	0,127	0,121	0,441	BAJA
116	LA MONTAÑA	0,062	0,073	0	0,035	0	0,028	0,1	0,127	0,265	0,690	MUY ALTA
117	SANTA FE	0,086	0,061	0,019	0,062	0,074	0,028	0,05	0,127	0,224	0,732	MUY ALTA
118	MILLANTU	0,088	0,061	0,019	0,035	0,074	0,021	0,05	0,127	0,235	0,710	MUY ALTA
119	VIRQUENCO	0,087	0,073	0,019	0	0,089	0	0,133	0,127	0,235	0,763	MUY ALTA
120	SAN ANTONIO-LAS QUINTAS-ALLIPEN	0,084	0,061	0,019	0,035	0,074	0,028	0,05	0,127	0,205	0,683	MUY ALTA
121	LAS ENCINAS-LA CANDELARIA	0,087	0,061	0,019	0,044	0	0,014	0,083	0,127	0,235	0,671	MUY ALTA
122	LAS VEGAS	0,087	0,073	0,019	0,053	★ ★ 0	0,035	0,117	0,127	0,235	0,746	MUY ALTA
123	VILLA ENTEL	0,072	0,073	0,019	0,062	★ 0	0,035	0,133	0,127	0,147	0,668	MUY ALTA
124	EL ESFUERZO	0,067	0,061	0,019	0,044	0,059	0,021	0,05	0,127	0,147	0,596	ALTA
125	NATRE RARINCO	0,071	0,036	0,006	0,035	0,059	0,021	0,05	0,127	0,235	0,641	ALTA
126	PATA DE GALLINA	0,086	0,061	0,019	0,044	0	0,035	0,067	0,127	0,153	0,592	ALTA
127	DREN SAN ANTONIO	0,087	0,061	0,019	0	0	0,028	0	0,127	0,220	0,541	MEDIA
128	LAS CANTERAS	0,064	0,061	0,050	0,053	0,059	0,028	0,067	0,127	0,235	0,744	MUY ALTA
129	VILLA MERCEDES	0,073	0,073	0,050	0,062	0	0,028	0	0,127	0,235	0,648	ALTA
130	NACIMIENTO	0,060	0,024	0,046	0,026	0,03	0,014	0,017	0,116	0,160	0,494	MEDIA
131	RIHUE	0,086	0,073	0,035	0,053	0	0,028	0,067	0,127	0,235	0,704	MUY ALTA
132	NEGRETE	0,046	0,012	0,055	0,018	0,03	0,014	0,033	0,1	0,162	0,470	MEDIA
133	SAN JOSE DE BIOBIO	0,082	0,061	0,019	0,018	0	0,014	0,067	0,127	0,235	0,622	ALTA
134	LAS DELICIAS	0,076	0,049	0,019	0,044	0,074	0,021	0,067	0,127	0,235	0,712	MUY ALTA
135	LLANO BLANCO	0,072	0,049	0,019	0,018	0,044	0,014	0,05	0,127	0,238	0,631	ALTA
136	SAN LORENCITO	0,054	0,061	0,050	0,035	0	0,021	0,05	0,127	0,235	0,634	ALTA
137	QUILLECO	0,068	0,049	0,050	0,026	0,044	0,014	0,033	0,127	0,221	0,632	ALTA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
138	LAS AGUILAS	0,074	0,061	0,050	0,018	0	0,014	0,033	0,127	0,235	0,612	ALTA
139	LOS BOLDOS	0,065	0,061	0,039	0,026	0	0,014	0,067	0,127	0,235	0,635	ALTA
140	CAMPAMENTO	0,067	0,049	0,050	0,009	0,074	0,021	0,033	0,127	0,206	0,635	ALTA
141	EL MANZANO	0,070	0,061	0,039	0,035	0	0,028	0,033	0,127	0,230	0,623	ALTA
142	VILLUCURA	0,069	0,049	0,039	0,018	0,044	0,021	0	0,127	0,206	0,573	ALTA
143	MULCHEN	0,067	0,049	0,036	0,018	0	0,014	0,05	0,127	0,204	0,564	ALTA
144	SANTA BARBARA-QUILACO	0,039	0,024	0,063	0,009	0,015	0,007	0,017	0,089	0,149	0,412	BAJA
145	EL HUACHI	0,058	0,061	0,039	0,018	0	0,014	0,017	0,127	0,206	0,539	MEDIA
146	LOS JUNQUILLOS	0,061	0,049	0,039	0,018	0	0,014	0,033	0,127	0,187	0,527	MEDIA
147	RUCALHUE	0,041	0,024	0,064	0,018	0,015	0,007	0,017	0,087	0,147	0,420	BAJA
148	LONCOPANGUE	0,039	0,061	0,050	0,018	0	0,014	0,017	0,127	0,104	0,429	BAJA
149	RALCO	0,038	0,049	0,083	0	0	0	0,05	0,064	0,147	0,430	BAJA
150	LOS PIONEROS SAN PEDRO	0,066	0,073	0,002	0,088	★ ★	0,042	0,1	0,127	0,265	0,764	MUY ALTA
151	LOMAS COLORADAS	0,068	0,061	0,002	0,088	0,044	0,042	0,133	0,127	0,221	0,788	MUY ALTA
152	CORONEL	0,061	0,036	0,022	0,062	0,03	0,028	0,083	0,101	0,155	0,579	ALTA
153	LIMBO	0,061	0,061	0,037	0	0	0,014	0	0,127	0,118	0,418	BAJA
154	COLCURA BAJO	0,057	0,049	0,037	0	0	0,021	0,083	0,127	0,139	0,514	MEDIA
155	QUEBRADA MAYOR	0,062	0,061	0,037	0	0	0,007	0	0,127	0,118	0,412	BAJA
156	COLCURA ALTO	0,057	0,049	0,037	0	0	0,007	0,05	0,127	0,118	0,445	BAJA
157	MORAGA	0,059	0,061	0,037	0	0	0,021	0,067	0,122	0,118	0,484	MEDIA
158	LUMA	0,058	0,061	0,037	0,009	0	0,021	0,1	0,088	0,118	0,492	MEDIA
159	AGUAS CASCADA	0,059	0,049	0,037	0	0	0,014	0,067	0,067	0,118	0,410	BAJA
160	ECHEÑIQUE	0,059	0,049	0,037	0	0	0,021	0,083	0,07	0,118	0,437	BAJA
161	CHIVILINGO SUR	0,056	0,061	0,037	0	0	0,007	0,067	0,032	0,118	0,377	BAJA
162	LARAQUETE	0,056	0,049	0,030	0	0	0,007	0,017	0,086	0,119	0,363	BAJA
163	ARAUCO	0,056	0,024	0,038	0,018	0,015	0,014	0,05	0,118	0,130	0,463	MEDIA
164	HUALLEREHUE	0,059	0,049	0,038	0,009	0	0,007	0,117	0,08	0,118	0,476	MEDIA
165	RAMADILLAS	0,061	0,049	0,039	0	0	0,007	0,033	0,127	0,120	0,436	BAJA

N°	ACAP	US	TA	IDSE	VIV	AA	DV	DA	AP	GOD	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
166	SAN JOSÉ DE COLICO	0,061	0,049	0,042	0,044	0,03	0,021	0	0,127	0,147	0,521	MEDIA
167	LAS PEÑAS	0,051	0,061	0,030	0,018	0	0,014	0	0,127	0,147	0,448	BAJA
168	LEBU	0,057	0,036	0,037	0,035	0,03	0,014	0,05	0,122	0,152	0,533	MEDIA
169	PEHUEN	0,060	0,049	0,051	0,053	0,059	0,021	0,033	0,127	0,163	0,617	ALTA
170	PICHARAUCO-VILLA LOS RIOS	0,058	0,061	0,042	0,026	0	0,021	0,05	0,127	0,153	0,538	MEDIA
171	PLEGARIAS	0,062	0,049	0,042	0	0	0,007	0	0,127	0,125	0,412	BAJA
172	RIO RANAS	0,056	0,049	0,042	0,009	0	0,014	0,033	0,127	0,123	0,454	MEDIA
173	PILPILCO	0,053	0,049	0,057	0,009	0	0,007	0,033	0,038	0,133	0,378	BAJA
174	CAÑETE	0,052	0,036	0,055	0,026	0,03	0,014	0,067	0,105	0,129	0,514	MEDIA
175	ANTIGUALA	0,046	0,036	0,056	0,009	0	0,007	0,067	0,071	0,120	0,413	BAJA
176	HUILLINCO ESSBIO	0,049	0,061	0,051	0	0	0,007	0	0,127	0,118	0,413	BAJA
177	HUILLINCO APR	0,053	0,061	0,051	0	0	0	0,067	0,127	0,124	0,483	MEDIA



## ANEXO B

