



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA**  
**Departamento de Geografía**

**CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS  
ACTUALES PROYECTOS DE AGUA POTABLE RURAL EN LAS  
COMUNAS DE REZAGO DE LA REGIÓN DE ÑUBLE**

Trabajo final de investigación para optar al grado de  
Magister en Análisis Geográfico

POR: Gerardo Esteban Contreras Soto

Profesor Guía: Ana Huaico Malhue

Concepción, Chile, Junio de 2022

## **AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Quien suscribe, GERARDO ESTEBAN CONTRERAS SOTO, CÉDULA DE IDENTIDAD 14.027.063-6, alumno del Magister en Análisis Geográfico de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía de la Universidad de Concepción, declara ser autor de la tesis CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS ACTUALES PROYECTOS DE AGUA POTABLE RURAL EN LAS COMUNAS DE REZAGO DE LA REGIÓN DE ÑUBLE y conceder derecho de publicación, comunicación al público y reproducción de esa obra, en forma total o parcial en cualquier medio y bajo cualquier forma del mismo, a la Universidad de Concepción, Chile, para formar parte de la colección material o digital de cualquiera de las bibliotecas de la Universidad de Concepción y del Repositorio UDEC. Esta autorización es de forma libre y gratuita, y considera la reproducción de la obra con fines académicos y de difusión tanto nacional como internacionalmente.

Asimismo, quien suscribe declara que dicha obra no infringe derechos de autor de terceros.

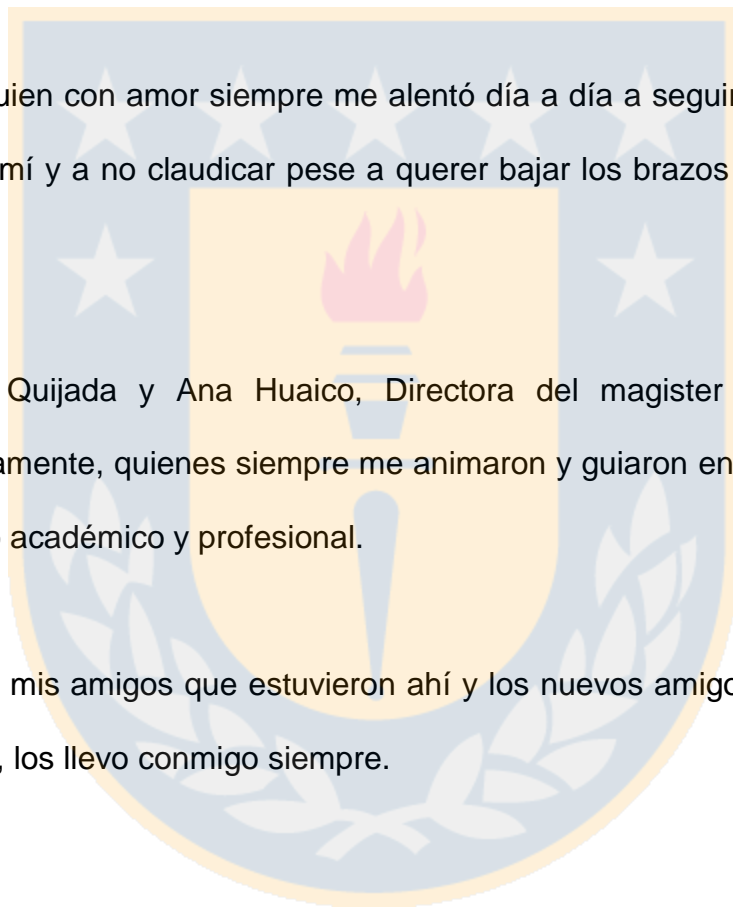
## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quienes siempre confiaron en mí y en este nuevo desafío que me puse por delante.

A Yani, quien con amor siempre me alentó día a día a seguir adelante, a dar lo mejor de mí y a no claudicar pese a querer bajar los brazos más de alguna vez.

A Paula Quijada y Ana Huaico, Directora del magister y profesora guía respectivamente, quienes siempre me animaron y guiaron en la consecución de este logro académico y profesional.

Y a todos mis amigos que estuvieron ahí y los nuevos amigos que descubrí en este viaje, los llevo conmigo siempre.



## ÍNDICE GENERAL

<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	6
1.1. Introducción .....	6
1.2. Motivación del tema y relevancia .....	8
1.3. Planteamiento del problema .....	10
1.4. Pregunta de investigación .....	12
1.5. Objetivos .....	12
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	13
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	13
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	14
2.1. La política de agua potable rural en Chile .....	14
2.2. Contexto de implementación de la política de rezago nacional .....	16
2.3. Calidad de vida en el espacio rural y el contexto de sequía actual .....	18
2.4. Riesgo, amenaza y vulnerabilidad .....	22
2.5. Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica .....	26
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	29
3.1. Descripción del área de estudio.....	29
3.2. Materiales y métodos.....	32
3.2.1. <i>Planteamiento metodológico</i> .....	32
a) <i>Recopilación de información geográfica por comunas</i> .....	35
b) <i>Definición de criterios de vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable por comuna</i> .....	37
c) <i>Espacialización de Datos</i> .....	48
d) <i>Generación Matriz Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)</i> .....	50
e) <i>Geoproceso de información en SIG</i> .....	55

<b>4. RESULTADOS</b> .....	58
4.1 Caracterización de los sistemas APR en el territorio a nivel comunal.....	58
4.2 Análisis de la vulnerabilidad física de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural municipal.....	63
4.2.1 Vulnerabilidad según variable Ambiental.....	63
4.2.2 Vulnerabilidad según variable Antrópica.....	71
4.2.3 Vulnerabilidad según variable Infraestructura.....	79
4.2.4 Categorización integral de la vulnerabilidad de los sistemas APR.....	87
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	90
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	95
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	101
<b>8. ANEXOS</b> .....	107

#### Índice de figuras

<i><u>Figura 1:</u> Comparación Estaciones con sequía período 2010 - 2014 Chile Central.....</i>	21
<i><u>Figura 2:</u> Sectorización de la zona de rezago en la región de Ñuble.....</i>	30
<i><u>Figura 3:</u> Esquema metodológico general detallado.....</i>	34
<i><u>Figura 4:</u> Esquema estructura jerárquica AHP.....</i>	51

#### Índice de tablas

<i><u>Tabla 1:</u> Detalle de población y vivienda del área de estudio.....</i>	30
<i><u>Tabla 2:</u> Comparativa para justificación de Variables utilizadas y homologadas a la realidad chilena.....</i>	38
<i><u>Tabla 3:</u> Indicadores para el análisis de la vulnerabilidad de la variable Ambiental.....</i>	39
<i><u>Tabla 4:</u> Valores promedio por comuna para el período 1980 – 2010.....</i>	41
<i><u>Tabla 5:</u> Escenario de pobreza multidimensional Zona de Rezago.....</i>	45
<i><u>Tabla 6:</u> Resumen de información geográfica utilizada (Elaboración propia).....</i>	49

<u>Tabla 7:</u> <i>Tabla de números absolutos de Saaty</i> .....	53
<u>Tabla 8:</u> <i>Ejemplo de matriz de comparación de criterios</i> .....	54
<u>Tabla 9:</u> <i>Pasos para obtención de pesos jerarquizados según Saaty</i> .....	54
<u>Tabla 10:</u> <i>Resumen de población y vivienda de los sistemas por comuna</i> .....	59
<u>Tabla 11:</u> <i>Listado de proyectos APR en la zona de rezago</i> .....	62

### Índice de mapas

<u>Mapa 1:</u> <i>Distribución de los APR en la Zona de Rezago Valle del Itata</i> .....	60
<u>Mapa 2:</u> <i>Indicador de vulnerabilidad Temed Línea base 1985-2010</i> .....	64
<u>Mapa 3:</u> <i>Escenario de vulnerabilidad Timed Línea base 1985 - 2010</i> .....	66
<u>Mapa 4:</u> <i>Escenario de vulnerabilidad PPA Línea Base 1985 - 2010</i> .....	68
<u>Mapa 5:</u> <i>Vulnerabilidad ambiental ponderada Línea Base 1985 - 2010</i> .....	70
<u>Mapa 6:</u> <i>Vulnerabilidad según Índice Densidad rural</i> .....	72
<u>Mapa 7:</u> <i>Vulnerabilidad según Índice Pobreza Multidimensional</i> .....	74
<u>Mapa 8:</u> <i>Vulnerabilidad según Índice Presión Humana sobre el territorio</i> .....	76
<u>Mapa 11:</u> <i>Vulnerabilidad de los APR por comuna según beneficiarios</i> .....	82
<u>Mapa 12:</u> <i>Vulnerabilidad de los APR por comuna según nº de arranques</i> .....	84
<u>Mapa 13:</u> <i>Vulnerabilidad ponderada sistemas APR variable infraestructura</i> .....	86
<u>Mapa 14:</u> <i>Vulnerabilidad integrada final de APR a nivel de comunas</i> .....	88

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Introducción

A nivel nacional, la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano ha tenido un salto cuantitativo desde la implementación en 1964 del Plan Básico de Saneamiento Rural. Dicha iniciativa surge como respuesta a los compromisos adoptados por el país en dos instancias fundamentales: la XIIª Asamblea Mundial de la Salud de 1959, cuya resolución final establece como **prioritario** el abastecimiento público de agua; y el Acuerdo “Carta de Punta del Este” de 1961, que estableció como meta el abastecimiento de agua potable al 50% de la población rural para la década 1960 - 1970. Desde esa fecha al presente, el abastecimiento de hogares a través del programa de Agua Potable Rural (APR), ha incrementado su cobertura de forma sustancial, pasando de 150 sistemas durante el período 1964 - 1970 a 1772 para el año 2016 (DOH - MOP, 2015), actualmente bajo la tutela de la Dirección de Obras Hidráulicas dependiente del Ministerio de Obras Públicas.

Aunque la implementación de esta iniciativa desde sus inicios a la fecha ha sido exitosa, mejorando la calidad de vida de sus beneficiarios, el paso del tiempo y la situación climática a nivel nacional han contribuido en generar un deterioro de los sistemas construidos, siendo uno de los principales actores el extenso período de sequía y la escasez hídrica que afecta al país. Esta situación es fácilmente observable a nivel regional, donde comunas en situación de brechas

de progreso se enfrentan a este conflicto de un tiempo a esta parte, lo cual ha llevado a otorgarles una clasificación especial por parte del Estado con la finalidad de generar avances en su desarrollo que propendan a un crecimiento integral y sostenible del territorio. A ello se suma la condición socioeconómica existente que acentúa las diferencias entre comunas al interior de la región de Ñuble, situándola en el segundo lugar de pobreza nacional, sólo superada por la región de la Araucanía (Casen, 2017).

En virtud de lo anterior, surge la inquietud de realizar un análisis respecto de la situación de vulnerabilidad ambiental, antrópica y de infraestructura de las comunas con sistemas de agua potable rural, lo anterior a través de la aplicación de metodologías de evaluación multicriterio las que, tal como lo plantea Linares et al. (2009) han demostrado ser propicias para la resolución de problemas que requieran una toma de decisiones.

En este contexto, se propone como área geográfica para el desarrollo de la presente investigación el Valle del Itata en la región de Ñuble, unidad territorial compuesta por las comunas que integran la provincia de Itata (Cobquecura, Coelemu, Ninhue, Portezuelo, Quirihue, Ránquil y Trehuaco, además de Quillón y San Nicolás que pertenecen a las provincias de Diguillín y Punilla respectivamente, las que en su conjunto cuentan con una situación de atraso



importante en su nivel de desarrollo respecto al promedio del resto del país (Decreto Supremo 1929 Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015).<sup>1</sup>

## **1.2. Motivación del tema y relevancia**

En la actualidad, el desarrollo de iniciativas de inversión asociados a proyectos de infraestructura que permitan el desarrollo integral de las comunas del país y del territorio en general se encuentra regulado por las disposiciones establecidas por el Sistema Nacional de Inversiones (SNI), el cual norma y rige el proceso de inversión pública en Chile. Si bien dicho sistema es netamente técnico, la decisión final respecto del financiamiento de las iniciativas es eminentemente política. De esta forma, la búsqueda de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de distintos sectores del país no siempre responde con acierto a la técnica por las razones ya descritas, imposibilitando el financiamiento de la totalidad de los proyectos bajo la premisa de que los recursos para ello son escasos.

Igualmente, en la actualidad la definición de lo rural adoptada por Chile tiene relación con la realización de intervenciones específicas que buscan conectarlos mejor con los mercados y el territorio urbano, asociando lo rural con desventaja (OCDE, 2016). Como contraparte, la Política Nacional de Desarrollo Rural (en adelante PNDR) entiende por territorio rural aquel que se genera producto de la interacción dinámica entre las personas, las actividades económicas y los

---

<sup>1</sup> Agrega comunas al Plan de desarrollo para territorios rezagados

recursos naturales (2020). De este modo, se busca poner en discusión si dicha denominación viene en ser un real aporte al desarrollo rural, entendido como la mejora de las condiciones económicas, medioambientales y de calidad de vida de la población en el medio rural (Straka & Tuzová, 2016).

Para el caso de la región de la Ñuble, las comunas que formarán parte del análisis se encuentran con declaratoria de zona de rezago por parte del Ministerio del Interior y Seguridad, vale decir, que presentan una situación de atraso y brechas importantes en su nivel de desarrollo respecto al promedio del resto del país (Decreto Supremo 1116 Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014)<sup>2</sup>. Lo anterior, pone a dichos municipios en una situación de desventaja respecto de los otros que integran la región y que no se encuentran bajo dicha declaratoria, poniendo de manifiesto una condición de pobreza que hace referencia a la existencia de una carencia (Perren & Lamfre, 2018) y que afecta de manera directa el bienestar de la población, impidiendo alcanzar una adecuada calidad de vida como medida de logro respecto de un nivel establecido como óptimo teniendo en cuenta dimensiones socioeconómicas y ambientales dependientes de la escala de valores prevaleciente en la sociedad y que varían en función de las expectativas de progreso histórico (Velázquez, 2001).

Acerca de la situación de los proyectos de agua potable a nivel país, existe registro respecto de que estas iniciativas siguen siendo escasas sobre todo en

---

<sup>2</sup> Establece Plan de desarrollo para territorios rezagados

áreas rurales (Fundación Amulén, 2019) y sin una fuente segura de abastecimiento (47,2% de la población, Censo 2017), con la consiguiente afectación que esto genera en la calidad de vida de las personas. De esta forma, la presente investigación propone el desarrollo de una metodología con base en el análisis multicriterio que permita identificar el estado de las comunas en estudio desde un diagnóstico de vulnerabilidad asociado a la situación de sus sistemas de APR así como de factores ambientales y antrópicos relevantes. Ello permitirá optimizar la toma de decisiones acerca de la intervención de estos proyectos, aportando un enfoque territorial que permita disminuir las situaciones de desequilibrio en la inversión territorial y orientando de mejor manera la asignación de recursos al mejoramiento de las inversiones que se desarrollen por este concepto a nivel local.

### **1.3. Planteamiento del problema**

Según la encuesta CASEN (2017) La XVI región de Ñuble (Ley 21033 Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2017) es la segunda más pobre del país, con una tasa de pobreza por ingresos de un 16,1% y una tasa de pobreza multidimensional de un 24,6%, sólo superada por la región de la Araucanía. Estas cifras cobran aún más relevancia al trasladarse al plano rural, donde los porcentajes aumentan significativamente a un 23,6% y un 38% respectivamente, lo cual se explica por ser la región con la mayor tasa de población rural respecto del resto del país (30,6%. INE, 2017).

En paralelo, a nivel nacional se implementa la nueva Política Nacional de Desarrollo Rural (Política Nacional de Desarrollo Rural 2014 - 2024.) que busca un cambio de paradigma desde la concepción actual de lo rural. Hoy, esta se mide para delimitar áreas urbanas y rurales según el número de habitantes, con un límite de 2.000 personas por localidad poblada (INE, Censo 2017) lo cual arroja como resultado que 2.149.740 personas viven en localidades rurales, equivalentes al 12,2% de la población nacional. Este parámetro se contrapone con criterios internacionales y con los lineamientos que actualmente establece la OCDE, la cual ha creado una taxonomía de las regiones rurales y urbanas que ha sido ampliamente adoptada y que define a las regiones de nivel TL3<sup>3</sup> como siendo predominantemente urbanas, intermedias o predominantemente rurales. Así, la OCDE establece que el 92% del territorio chileno es rural, albergando a 6,21 millones de habitantes que representan al 36% de la población nacional al 2012 (OCDE, 2016), generando concordancia entre políticas internacionales que sean comparables y con un enfoque territorial integral para el desarrollo de las regiones rurales en el país, situación extensible a la realidad de la región de Ñuble y en específico a la zona de rezago a analizar, la cual por su composición se cataloga como predominantemente rural.

En atención a los elementos expuestos precedentemente, surge la inquietud de realizar un estudio de vulnerabilidad de los sistemas de agua potable rural, que se define como la **fragilidad** a nivel de comunas declaradas zona de

---

<sup>3</sup> Sigla empleada por la OCDE que hace referencia a regiones pequeñas de nivel territorial 3

rezago a partir de un análisis multifactorial de variables presentes en el territorio de tipo ambiental, antrópicas y de infraestructura que las hacen susceptibles a ser afectadas negativamente. Lo anterior, considerando que estas iniciativas han sido exitosas en aumentar la cobertura de agua potable en zonas aisladas y en mejorar los índices de mortalidad y morbilidad (Blanco & Donoso, 2016) además de la calidad de vida de sus beneficiarios, contribuyendo a mejorar las condiciones de salud y bienestar de la población rural (DOH - MOP, 2015), situación que producto de la declaratoria de rezago ya establecida y las modificaciones climáticas que afectan al territorio pondrían en condición de peligro el suministro de este vital elemento, generando con ello una afectación directa a la calidad de vida de las personas que habitan en la zona.

#### **1.4. Pregunta de investigación**

Sobre la base de lo expuesto precedentemente, para la presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ***¿Es la antigüedad de los sistemas de APR presentes del Valle del Itata el principal factor de vulnerabilidad para las comunas que integran la Zona de Rezago o existen otras variables que pueden incidir en su categorización?***

#### **1.5. Objetivos**

A partir de la presentación del problema geográfico a abordar, la motivación respecto al tema descrito y la pregunta de investigación planteada, se establecen como objetivos a alcanzar en el desarrollo de la presente tesis los siguientes:

### 1.5.1. *Objetivo general*

- Categorizar de manera integral la vulnerabilidad física de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural a nivel municipal en la Zona de Rezago Valle del Itata.

### 1.5.2. *Objetivos específicos*

- Identificar y caracterizar los sistemas de APR presentes en el territorio a nivel de comuna.
- Analizar la vulnerabilidad de los sistemas de APR a nivel de comunas en función de variables complementarias (ambiental, antrópica e infraestructura) que potencialmente inciden sobre la zona de rezago.
- Realizar un análisis integrado de la vulnerabilidad para la categorización de los APR a nivel de comuna

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 La política de agua potable rural en Chile

La actual política de acceso al agua potable a nivel nacional surge a partir de los acuerdos tomados durante la XIIª Asamblea Mundial de la Salud, donde se discute respecto del “Saneamiento del medio” (acuerdo WHA<sup>4</sup> de 1959) y la importancia del suministro de agua suficiente para la protección y el mejoramiento de la salud, condición indispensable para el desarrollo económico y social. Con ello, se releva la coordinación necesaria de actividades en distintos ámbitos para la prosperidad de la iniciativa y se plantea el problema financiero como una piedra de tope en su concreción. Se insta entonces a una colaboración entre los gobiernos respecto del tema planteándose una serie de recomendaciones (OMS, 1959) orientadas a la priorización de programas nacionales para el desarrollo de proyectos de agua potable, la definición de su orgánica administrativa y legal, el disponer de fondos para tal efecto y agotar las posibilidades de acceso a préstamos y fondos internacionales que permitan dar cumplimiento al abasto del recurso hídrico para la población.

Posteriormente, se genera la Carta de Punta del Este de la Alianza para el Progreso (1961) que propone aunar energías y esfuerzos de los pueblos y gobiernos de las repúblicas americanas para así acelerar el desarrollo económico

---

<sup>4</sup> “World Health Agreement” o “Acuerdo mundial en salud”

y social, mediante un esfuerzo cooperativo que permita alcanzar un grado máximo de bienestar con igualdad de oportunidades. Se destaca la importancia del aumento de la esperanza de vida al nacer y el elevar la capacidad de aprender y producir mejorando la salud individual y colectiva, fijando la necesidad de suministro de agua potable y alcantarillado al 70% de la población urbana y el 50% de la rural, promoviendo un acceso equitativo y en condiciones técnicas adecuadas para una mejora en la calidad de vida de las personas.

A nivel país, para las fechas señaladas el porcentaje de suministro de agua potable del sector rural alcanzaba tan sólo el 6%. Por ende, se hizo imprescindible dar forma a una institucionalidad capaz de dar respuesta a los acuerdos asumidos, lo que se materializa en la implementación del Plan Básico de Saneamiento Rural (1964) el cual, a través de diversos hitos a lo largo de los años termina por dar forma al actual sistema de APR el que, a diciembre del 2018 cuenta con un universo de 1.902 sistemas materializados por el Estado, abasteciendo a un 99% de la población concentrada de zonas rurales con una cobertura de 1.735.133 habitantes y una inversión a la fecha aproximada de US\$1.350 millones, el 90% de la cual se ha realizado desde 1994 en adelante. Junto a la inversión señalada, la participación de las organizaciones comunitarias bajo la figura de comités o cooperativas que realizan la mantención, administración y mantenimiento ha sido relevante para su éxito, destacando la importancia del programa al abastecer de un recurso básico para la sobrevivencia y el bienestar de las personas.



Si bien es cierto la implementación del programa APR ha significado una mejora considerable en las condiciones de vida de la población que reside en zonas rurales, este se enfrenta en la actualidad a variados desafíos y amenazas, entre los que se cuenta el inevitable paso del tiempo de muchos sistemas APR desde su puesta en marcha ha derivado en una obsolescencia de estos, evidenciándose un deterioro y envejecimiento de los mismos lo que ha incidido negativamente en la capacidad de entregar agua potable en cantidad, calidad y continuidad (DOH - MOP, 2015). del 2018 se cuenta con un universo de 1.902 sistemas APR materializados por el Estado, abasteciendo a un 99% de la población concentrada de zonas rurales con una cobertura de 1.735.133 habitantes y una inversión a la fecha aproximada de US\$1.350 millones, el 90% de la cual se ha realizado desde 1994 en adelante. Junto a la inversión señalada, la participación de las organizaciones comunitarias bajo la figura de comités o cooperativas que realizan la mantención, administración y mantenimiento ha sido relevante para su éxito, destacando la importancia del programa al abastecer de un recurso básico para la sobrevivencia y el bienestar de las personas.

## **2.2 Contexto de implementación de la política de rezago nacional**

El proceso de avance a nivel nacional en la descentralización ha tendido a favorecer a las grandes concentraciones de población y de recursos en desmedro de las comunas y ciudades más pequeñas (SUBDERE, 2012). Reconociendo esta situación, desde el año 2007 a la fecha el Gobierno de Chile ha

implementado instancias para fortalecer los territorios en condición desfavorable respecto de los centros urbanos de mayor tamaño. Fruto de esto es la materialización, el año 2014, del Plan de Desarrollo para territorios rezagados, el cual busca un progreso armónico y equitativo de éstos con énfasis en la participación y capacidad de decisión a nivel local, fundado en principios de igualdad y con un incremento en la inversión pública.

Al promulgarse el plan precedentemente mencionado se establece además su ámbito de aplicación, incorporando una diversidad de comunas a nivel nacional, pero que para la región de Ñuble se ven ejemplarizadas en Cobquecura, Coelemu, Ninhue, Portezuelo, Quirihue, Quillón, Ránquil, San Nicolás y Trehuaco. Además, siete de estas comunas constituyen la unidad territorial provincia de Itata a la vez que todas conforman la Asociación de Municipalidades del Valle del Itata, la cual se constituyó el 18 de octubre del año 1995 en la ciudad de Concepción, con el fin de contribuir al desarrollo económico, social y cultural de los municipios que la integran, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y facilitando la búsqueda de soluciones a los problemas comunes de sus asociados (Estatutos AMVI, 2015).

A la fecha, la citada asociación se enfrenta a numerosos desafíos. A su actual condición de territorio rezagado, se suma el actual proceso de sequía que afecta a la zona en el contexto del cambio climático imperante. Lo anterior se evidencia en que, al año 2017 unas 157 localidades no cuentan con acceso a agua potable estimando en 30.486 personas afectadas por condiciones de

saneamiento básico deficitario (Asociación de Municipalidades del Valle del Itata, s.f.) situación que sin duda se verá agravada si se tiene en consideración el contexto de escasez hídrica cada vez más latente dentro del país, tanto a nivel de la macrozona central a nivel general como de la región de Ñuble en particular.

### **2.3 Calidad de vida en el espacio rural y el contexto de sequía actual**

Las aproximaciones respecto del concepto calidad de vida son diversas y se encuentran estudiadas desde distintos ámbitos multidisciplinarios, existiendo por ende una multiplicidad de enfoques según el área respecto de la cual el presente tema sea materia de estudio, siempre en directa relación con el concepto de bienestar.

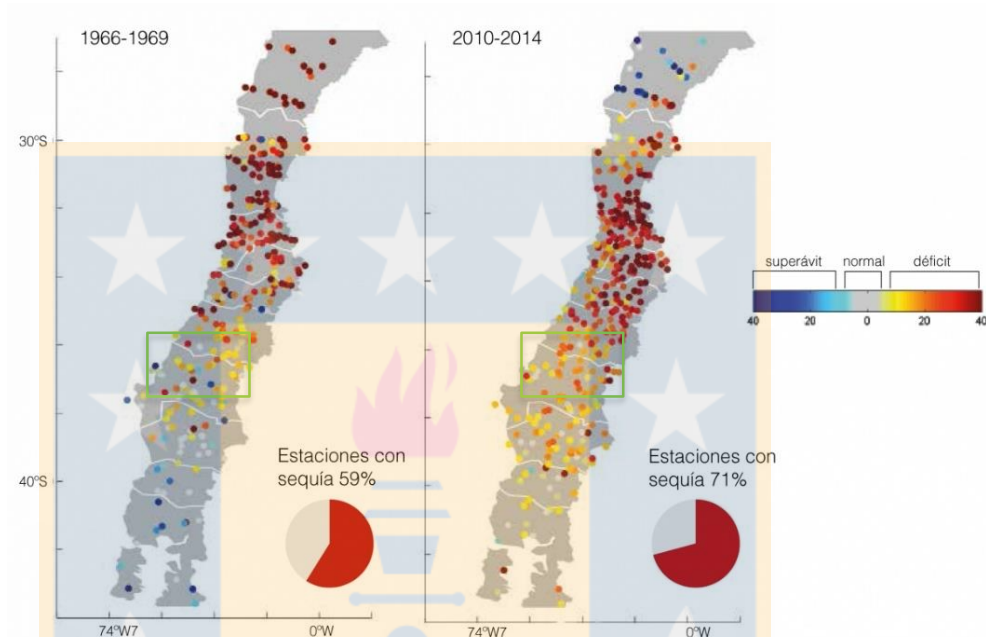
Pareciera existir un acuerdo en que la calidad de vida en el espacio rural se encuentra asociado al desarrollo sustentable que pueda darse al interior de este territorio, en donde los valores difieren de aquellos que se observan en la urbe encontrándose por ende más arraigados a la tierra. Los habitantes de este espacio serían, por ende, más conscientes del manejo responsable y renovable de los recursos que emanan de esta. Pese a ello, la presencia de factores de tipo ambiental y antrópico han venido en alterar esta relación. Estudios recientes han mostrado algunas tendencias históricas de cambios en la temperatura del país que manifiestan una tendencia a la baja en el océano y en la costa, mientras que, en el valle central, y especialmente en la cordillera, esta tendencia ha sido al alza (Falvey & Garreaud, 2009). Igualmente, la sequía ininterrumpida que afecta al

Chile central desde 2010 ha traído déficits de agua caída de entre un 20 – 40%, lo cual ha venido acompañado de efectos negativos en la disponibilidad del agua, de vegetación e incendios forestales que han escalado generando impactos sociales y económicos (Garreaud, y otros, 2019). Si bien más de la mitad del déficit pluviométrico es producto de alteraciones climáticas de origen natural, un cuarto del déficit observado es consecuencia directa del cambio climático antrópico (Centro del Clima y la Resiliencia, 2015) lo cual pone de manifiesto nuestra responsabilidad respecto de gestionar eficientemente nuestros recursos estratégicos, toda vez que sucesos como los señalados han venido en poner a los territorios rurales en una condición de estrés ambiental que genera una serie de impactos negativos que afectan directamente el modo vida rural, desde el agua para consumo humano hasta su empleo en la actividad silvoagropecuaria, lo cual viene en acrecentar la condición de vulnerabilidad social que enfrentan estas zonas, cuyos recursos sociales, financieros, ambientales y políticos no son lo suficientemente robustos, redundantes o rápidos para crear una respuesta en forma de resistencia, resiliencia y/o adaptación a los impactos ambientales (Norris, Stevens, Pfefferbaum, Wyche, & Pfefferbaum, 2008).

El actual proceso de sequía que afecta al país es uno de los más extremos de los que se tenga cuenta desde que se comenzó con el registro de datos en el año 1915. Antecedentes como los del informe de Actualización del Balance Hídrico Nacional señalan que, para la zona centro sur de nuestro país, se evidencia una disminución de la precipitación y un incremento del calentamiento

promedio a nivel local respecto a la última medición realizada hace más de 30 años (1987), proyectándose además una reducción del caudal medio anual de los cursos hídricos así como un aumento de las temperaturas para el período 2030 – 2060 (MOP - DGA, 2017). A su vez, se observa una intensidad variable para los procesos de sequía multianuales a lo largo de Chile central, con condiciones severas para el Norte Chico pero cercanas a la normalidad para el sur del Maule para el período 1966-1969, situación que sin embargo se ve agravada durante la actual mega sequía, donde el déficit pluviométrico se mantiene sobre el 30% hasta la región de la Araucanía, sobre la base del registro comparativo de estaciones con sequía para el período 2010 – 2014 en Chile Central (Centro del Clima y la Resiliencia, 2015), el cual evidencia un incremento de un 59 a un 71 por ciento de los puntos de medición bajo dicha condición, como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1:** Comparación de Estaciones con sequía en Chile Central, período 2010 - 2014 (en cuadro verde, ubicación de la Región de Ñuble).



*Fuente:* (Centro del Clima y la Resiliencia, 2015)

A nivel nacional, para el 2015 se identificaban 540 comunidades rurales sin redes de abastecimiento de agua potable y con un porcentaje de cobertura de apenas un 2%, derivado principalmente de la escasez de aguas superficiales producto de la inexistente gestión de la misma a nivel de cuenca (Delgado, Torrez-Gómez, Tironi-Silva, & Marín, 2015), generando una situación de fragilidad en donde la conservación del recurso hídrico por medio de políticas públicas en proceso de revisión constante y con aceptación y validación social será fundamental para enfrentar el desbalance hídrico y climático que se proyecta

afecte al país en el futuro, optimizando de esta manera un uso sustentable del agua en medio del contexto de sequía y desertificación imperante.

#### **2.4 Riesgo, amenaza y vulnerabilidad**

En virtud de que la presente investigación busca establecer los niveles de vulnerabilidad presentes en el territorio zona de rezago a analizar, corresponde realizar una revisión conceptual de este factor y otros asociados al mismo como son el riesgo y la amenaza, similares pero diferentes entre sí. La revisión de los conceptos antes mencionados desde la perspectiva del análisis geográfico se ha vuelto una constante dentro de la gestión de desastres, toda vez que engloban peligros latentes que pueden afectar de sobremanera el desarrollo de un territorio en sus aspectos físico, social y económico.

Acerca del riesgo, este en su forma natural se define como “la probabilidad de que en un espacio ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas” (Rojas & Martinez, 2011), definición que puede extrapolarse al desarrollo de otros tipos de riesgo no necesariamente naturales, como puede ser aquel que se genera producto de la acción del hombre sobre un determinado territorio, área o ecosistema. Tiene como una de sus características el ser un fenómeno dinámico y continuo que cambia y evoluciona constantemente en función de dos variables (amenaza y vulnerabilidad) y su conjunción en un determinado tiempo y lugar, tanto en el momento del impacto de fenómeno como durante el periodo de

recuperación y reconstrucción consiguiente y cuya magnitud dependerá del grado de estas dos variables (Cardona, 2001); (Chardon, 2008), construyéndose de manera paralela a los procesos de desarrollo de los territorios, como consecuencia de no considerar las limitantes de estos o no dimensionar los impactos de las acciones (proyectos, políticas, etc.) sobre este (Cooperación Suiza para América Central, 2013) pudiendo afectar total o parcialmente un sistema determinado.

Respecto de la amenaza, se define como el “Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales” (IPCC , 2014). Vale decir, corresponde a un factor de riesgo externo de un sistema, sujeto o comunidad expuestos a fenómenos que potencialmente amenazan el ser humano y su entorno (Cardona, 2001), durante cierto período de tiempo en un sitio dado. En su manera clásica se distingue según su origen, el cual puede ser natural (producto de manifestaciones propias de las dinámicas terrestres), socio-natural, tecnológico o antrópico (BID, 2002) de intensidad tal que genere daños al espacio en el cual este se desarrolla pudiendo ser, cuando mucho, parcialmente controlable desde el manejo humano del medio en el cual sucede, siendo fundamental en este aspecto la evaluación de las mismas con la finalidad de poder realizar un pronóstico de su comportamiento para acercarse a



la probabilidad de ocurrencia y frecuencia de dichos fenómenos, lo anterior mediante la recopilación de información general, observación en terreno y procesamiento de la información.

Sobre la vulnerabilidad, se define como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente, teniendo relación directa con la susceptibilidad de la comunidad a los impactos o amenazas, estando estrechamente vinculada a las condiciones socio económicas y de infraestructura de la comunidad (Carrasco, 2021) así como a la localización de asentamientos humanos en zonas de riesgo y a las deficiencias de sus estructuras físicas (Wilches-Chaux, 1993). Si bien existen variados acercamientos al concepto desde diversos autores y ámbitos, esta ha tendido a ser conceptualizada en términos espaciales utilizándose con distintos énfasis: a) para describir el potencial de daño de un sistema físico, b) fragilidad del entorno construido y c) susceptibilidad de pérdida de los sistemas socioeconómicos (Cutter 2013 en Sandoval Díaz, 2020). Actualmente, existe consenso en que concurren principalmente tres factores como los más recurrentes a la hora de medir esta variable y que son: exposición (presencia de elementos de distinto tipo que podrían verse afectados negativamente), sensibilidad (grado en que un sistema o especie se vea afectado ya sea de manera positiva o negativa) y capacidad de adaptación o respuesta (capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles) (IPCC

, 2014); (Sharafi, Zarafshani, Keshavarz, Azadi, & Van Passel, 2020). Como concepto ha sido abundantemente abordado en diversas investigaciones sobre el tema y desde distintas perspectivas que cruzan un amplio espectro desde lo social hasta lo natural, pudiéndose mencionarse en este último campo estudios tales como la medición de vulnerabilidad ante peligros naturales (United Nations University, 2006), la generación de índices de vulnerabilidad ante sequía en México (Ortega-Gaucin, Bartolón, & Castellano Bahena, 2018), como evaluación de vulnerabilidad para la reducción de riesgos en sistemas de abastecimiento de agua (Saadati, 2010) o como indicador de vulnerabilidad a nivel de infraestructura en sistemas de agua potable ante ataques terroristas (Maiolo & Pantusa, 2018), entre otros.

A diferencia de la amenaza, la vulnerabilidad es un factor controlable, toda vez que es posible tomar medidas que permitan reducir sus efectos sobre las comunidades o ecosistemas respecto de la cual se mide este parámetro, pudiendo obtenerse impactos muy diferenciados por región y entre zonas urbanas y rurales, por lo cual se requiere potenciar estudios dirigidos a visibilizar las diversidades locales (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2018). Aplicando este concepto a la realidad de los sistemas de APR de las comunas de la zona de rezago Valle del Itata y frente al actual escenario de incertidumbre respecto de la disponibilidad del recurso hídrico, es posible asociar la vulnerabilidad de estos a una diversidad de factores de tipo ambiental, social, infraestructura y otros que influyen en su estado actual. Ante este escenario y a

la combinación de variables antes mencionadas, obtenemos en mayor o menor medida una acentuación de su condición de vulnerabilidad, requiriéndose por ende un análisis integral de los elementos que lo constituyen desde lo particular hasta su conjunto, identificando y cuantificando sus debilidades para determinar el grado de vulnerabilidad física de los APR con una mayor confiabilidad, minimizando la ocurrencia de eventualidades negativas a futuro a través de la implementación de mecanismos de vigilancia que monitoreen la ocurrencia y evolución de eventos que puedan impactar al abastecimiento hídrico (SISS, 2011) garantizando de esta manera una sostenibilidad del sistema en el tiempo.

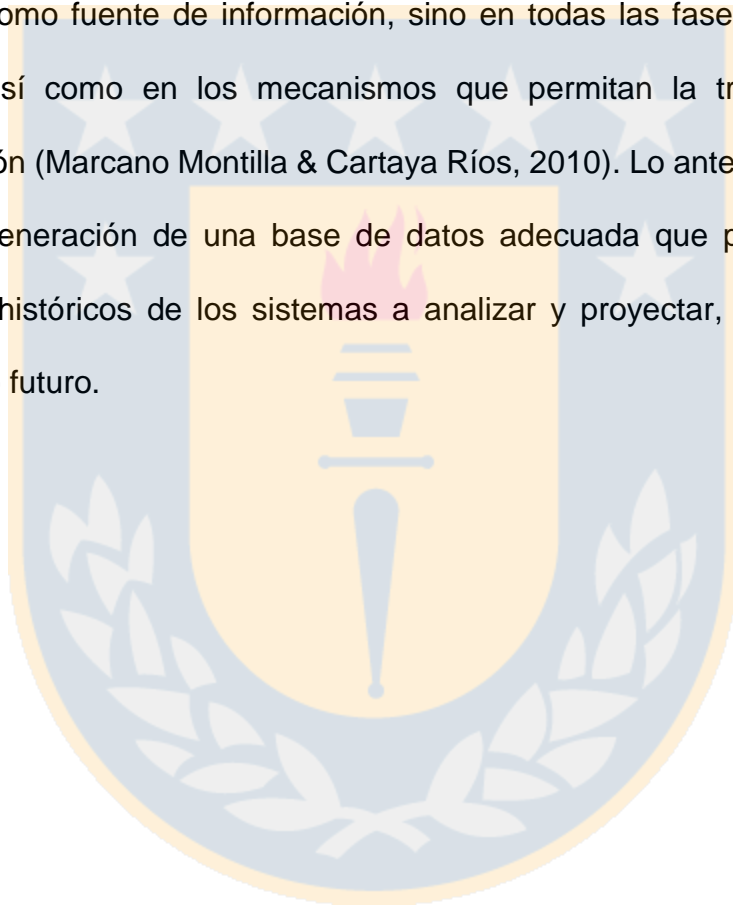
## **2.5 Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica**

En todo proceso de toma de decisiones, se requiere el establecimiento de medidas, parámetros y/o reglas que permitan generar una uniformidad de escalas de información, con el fin de establecer una comparativa entre elementos en igualdad de condiciones. De esta forma, es posible establecer cuanto más preferible resulta ser una alternativa respecto de otra implicando, necesariamente, la comparación entre alternativas sobre las que se puede optar frente a cierta disyuntiva presente (Pacheco & Contreras, 2008). De este modo, los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles, basado en un conjunto de criterios cualitativos y/o cuantitativos (Toskano, 2005) que permiten ser integrados de acuerdo con la opinión de informantes claves, en un solo marco de análisis (De

La Fuente, 2018) mediante la descomposición de un problema complejo en partes más simples, lo cual permite que el agente “decisor” pueda estructurar un problema con múltiples criterios en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas (Sainz, Álvarez, & Henriquez, 2012) por lo que puede ayudar a encontrar soluciones-compromiso entre los diferentes objetivos en conflicto mediante comparaciones de a pares entre dichos elementos, atribuyéndose valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas (Grajales-quintero, Serrano-Moya, & Hahn Von-H, 2013).

Para efectos de interpretar a nivel cartográfico la información procesada desde el análisis multicriterio, la implementación de nuevas tecnologías relacionadas al manejo de datos se ha vuelto fundamental toda vez que ha permitido dejar atrás la manera analógica de trabajo dando un salto cualitativo en la forma de representar de manera dinámica diversos sistemas de información. En ese sentido, el uso de los SIG se ha convertido en herramientas de trabajo esenciales en el planeamiento urbano y en la gestión de recursos, dada su capacidad para almacenar, recuperar, analizar, modelizar y representar amplias extensiones de terreno con enormes volúmenes de datos espaciales que los han situado a la cabeza de una gran cantidad de aplicaciones (Aguirre-Araus, 2013). Lo anterior ha puesto a los SIG como un recurso necesario para optimizar las acciones y análisis referidas a la planificación y gestión en un amplio espectro de campos de actuación de la sociedad (Bello Caballero, Soto Suarez, Muñoz

Castillo, & Pérez Vilorio, 2013). En lo específicamente orientado hacia gestión de riesgo de desastres, los sistemas en mención están orientados para lograr la prevención de sucesos en búsqueda de generar mayores beneficios en la planificación del territorio, prevención y mitigación, con participación comunitaria no sólo como fuente de información, sino en todas las fases de ejecución del mismo, así como en los mecanismos que permitan la transferencia de la información (Marcano Montilla & Cartaya Ríos, 2010). Lo anterior será primordial para la generación de una base de datos adecuada que permita contar con registros históricos de los sistemas a analizar y proyectar, de esta forma, su desarrollo futuro.



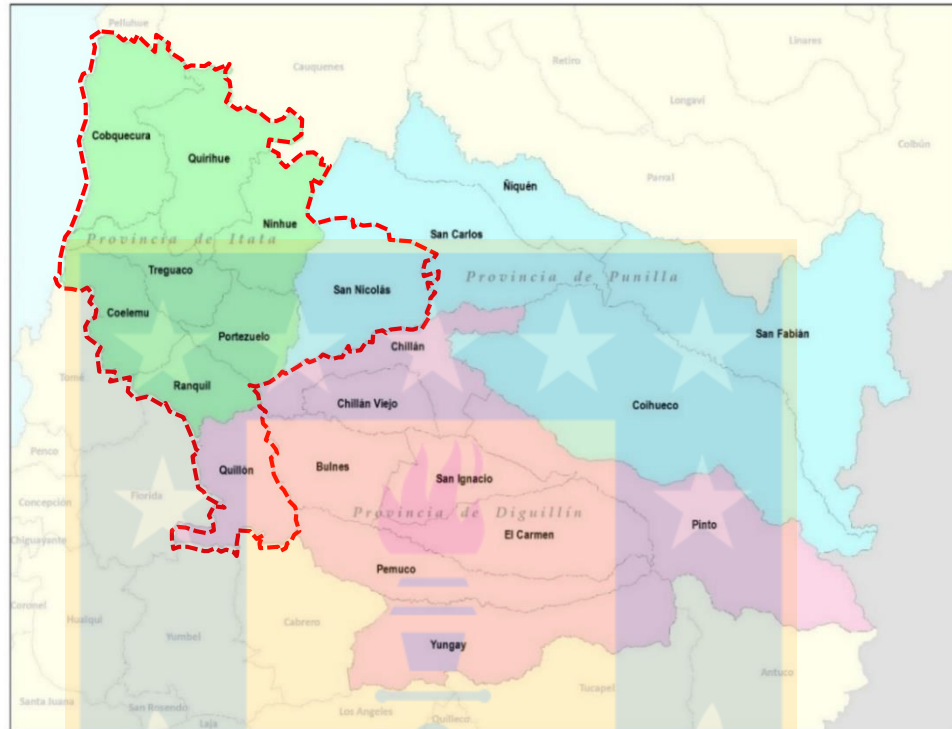
### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Descripción del área de estudio

Corresponde a la zona de rezago de la región de Ñuble, la cual se encuentra definida por el *Estudio identificación de localidades en condición de aislamiento* (SUBDERE, 2012) y que está conformada por las comunas de Quirihue, Cobquecura, Ninhue, Treguaco, Coelemu, Portezuelo, Ránquil, San Nicolás y Quillón, las que integran la *Asociación de Municipalidades del Valle del Itata*. Es importante mencionar que están inscritas bajo el numeral identificador 40 en el Registro Único de Asociaciones Municipales con personalidad jurídica de derecho privado, según consta en Resolución Exenta de la SUBDERE N° 4074 del 07.04.2015. El objetivo de la asociación es “Ayudar a facilitar la búsqueda de solución de problemas que sean comunes a los Municipios asociados y lograr el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles velando por la promoción de la autonomía municipal, los intereses locales y propender a profundizar el proceso democrático” (SUBDERE, 2015).

La distribución territorial de las comunas, según antecedentes del Sistema de Información territorial y estadísticas de la Biblioteca del Congreso Nacional, tiene una superficie de 3.660 km<sup>2</sup> correspondiente al 27,77% de la región de Ñuble y con 82.920 habitantes equivalentes al 17,25% de la población total de la región (INE, 2017), como se muestra en la figura 2 y tabla 1 siguientes.

**Figura 2:** Sectorización de la zona de rezago en la región de Ñuble



Fuente: Sistema información territorial y estadísticas,  
Biblioteca del Congreso Nacional

**Tabla 1:** Detalle de población y vivienda del área de estudio

REGION	PROVINCIA	COMUNA	POBLACIÓN	VIVIENDAS
Ñuble	Itata	Cobquecura	5.012	3.213
		Quirihue	11.594	5.248
		Ninhue	5.213	2.299
		Treguaco	5.401	2.524
		Portezuelo	4.862	2.070
		Coelemu	15.995	6.140
		Ranquil	5.755	2.826
	Punilla	San Nicolás	11.603	4.727
	Diguillín	Quillón	17.485	10.739
Total zona de rezago Valle del Itata			<b>82.920</b>	<b>39.786</b>
% respecto del total regional			<b>17,25</b>	<b>20,45</b>

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos INE, Censo 2017

Respecto de sus características geográficas, la zona de rezago Valle del de Itata se corresponde con la cuenca del Río Itata que, junto a sus afluentes lo cruza de este a oeste. Se distribuye sobre la Depresión Intermedia; la Cordillera de la Costa, con altitudes relativamente bajas (400 msnm) y disectada en dos cordones que rodean la cuenca de Quirihue; y sobre las plataformas litorales de poca amplitud (menos de 5 km de ancho). La presencia de la Cordillera de la Costa, provoca cierta diferenciación topoclimática entre su vertiente occidental con mayor cantidad de precipitaciones, y su vertiente oriental con mayor aridez (Gobierno Regional del Biobío, 2016). Sus características comunales se describen como eminentemente rurales, con un potencial económico fuertemente vinculado a los recursos naturales. Según datos del SII (agosto 2014) se cuenta con 4.090 empresas que equivalen al 15% de las presentes en la región de Ñuble, siendo 1.316 de estas pertenecientes al rubro agrícola. Destaca la actividad agropecuaria como la más relevante, concentrándose el empleo de la población económicamente activa principalmente en la actividad agrícola. Actualmente, el enfoque de desarrollo está orientado a potenciar la actividad turística, en atención a sus particulares condiciones geográficas y diversidad de paisajes, con presencia de 51 km de playas que permiten la práctica del surf y valles hacia el interior donde la explotación del potencial vitivinícola del territorio surge como una oportunidad para el desarrollo a futuro de las comunas de este espacio geográfico.



## **3.2 Materiales y métodos**

### *3.2.1 Planteamiento metodológico*

El presente trabajo se estructura desde una recopilación información respecto a temáticas de interés, tales como el proceso histórico de los sistemas de APR, la declaratoria de zona de rezago del área de estudio y el estado en que se encuentra el país, la región de Ñuble y el territorio Zona de Rezago Valle del Itata producto de las actuales condiciones de sequía y escasez hídrica imperantes a raíz del proceso de cambio climático actual. Desde ahí, se desprenden actividades para el logro de los objetivos en conformidad con los pasos metodológicos generales siguientes:

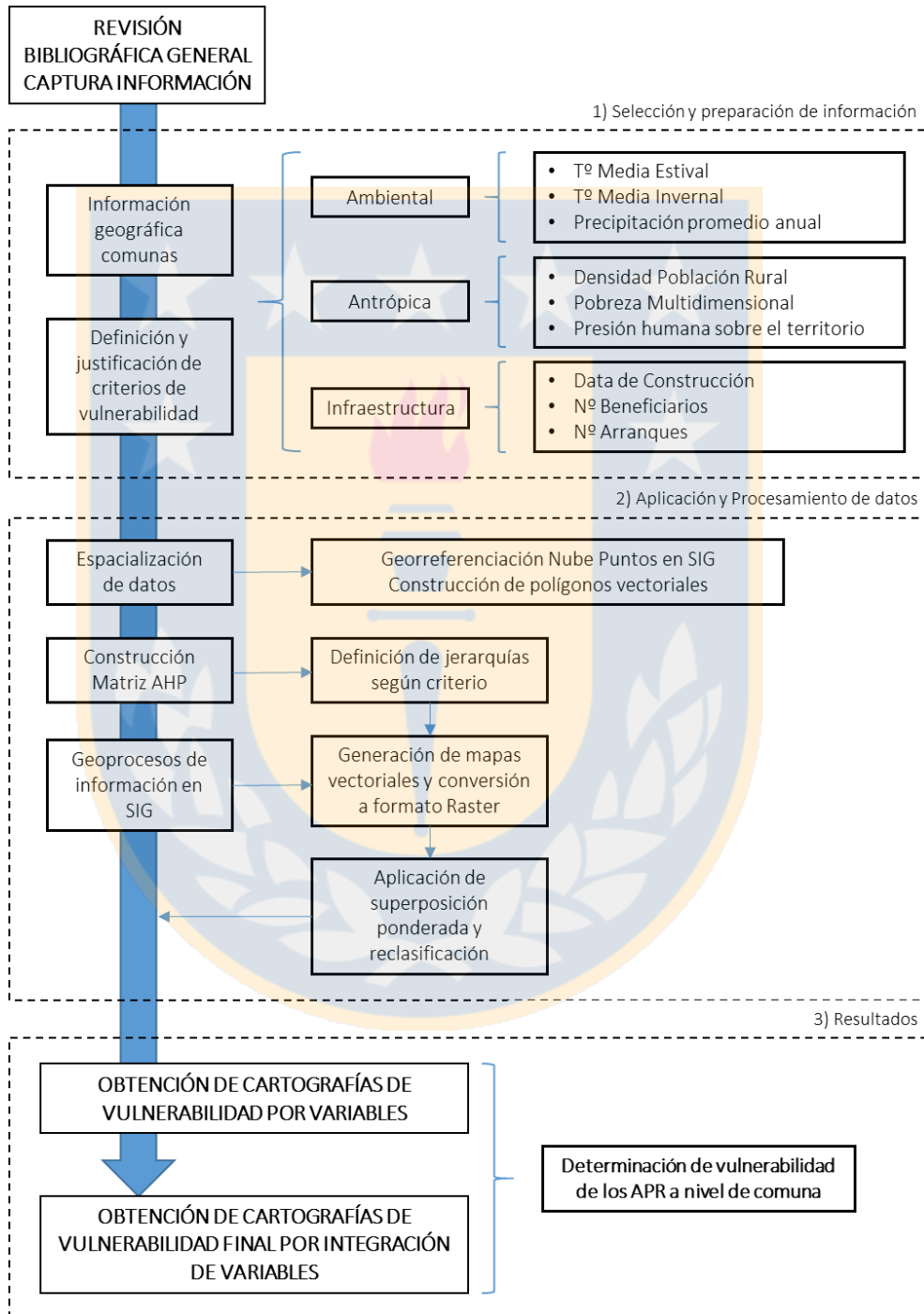
Se propone un análisis integrado desde las particularidades presentes en el territorio que afectan a la zona de estudio y en específico a las comunas que la componen, lo anterior a partir de la identificación de variables que potencialmente intervienen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable que presentan las comunas con proyectos de APR en la zona de rezago. Para efectos de lo anterior y con la finalidad de entregar una imagen multidimensional, del problema, se tienen presentes variables de tipo ambiental, antrópicas y de infraestructura con sus correspondientes indicadores, las cuales se fundamentan en estudios e investigaciones que abordan, desde diversos ámbitos, las temáticas de interés que forman parte del presente trabajo.

Una vez identificadas las variables, se propone asignarles una ponderación a través de la metodología de análisis multicriterio a través del Proceso de

Análisis Jerárquico o AHP (Analytic Hierarchy Process), técnica desarrollada por Thomas L. Saaty y propuesta en la década de los 70. Surgido como un método multiatributo orientado a resolver problemas concretos de la toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, actualmente se aplica a una multitud de ámbitos, dada su capacidad de seleccionar alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto (Yepes Piqueras, 2018). Junto a lo anterior, se trabajó sobre la base de recopilación de información disponible en la web en formatos digitales, principalmente tablas en formato XLS y archivos de información geográfica en formato kmz y shapefile, los cuales fueron procesados en ArcGIS versión 10.4.1, previa unificación de coordenadas al datum WGS 84 Huso 18S, cuyo procesamiento derivó en la entrega de mapas a escala 1:600.000 con la representación gráfica de los resultados del análisis de vulnerabilidad por criterio.

En la Figura 3 se expone el resumen metodológico de este trabajo:

**Figura 3: Esquema metodológico general detallado**



Fuente: Elaboración propia

*a) Recopilación de información geográfica por comunas*

Según antecedentes proporcionados por la Asociación de Municipalidades del Valle del Itata, existen aproximadamente 4.900 familias en condiciones de saneamiento básico deficitario, situación a partir de la cual se han definido ejes estratégicos entre los que se cuenta la formulación y seguimiento, en el Sistema Nacional de Inversiones, de iniciativas de construcción de agua potable rural en las comunas que integran esta unidad territorial declaradas zona de rezago (Plan de Inversiones Valle del Itata, 2017 – 2019).

A la fecha, según información difundida a través de medios digitales por la misma Asociación, existen más de dos mil millones de pesos en proyectos relacionados al suministro de agua potable rural en espera de financiamiento, situación que se corrobora en el Plan de inversiones previamente mencionado, lo cual viene en poner de manifiesto la aguda realidad existente en dichas comunas donde la escasez hídrica es palpable producto de una diversidad de factores, tales como el estado de los sistemas de APR existentes dada su larga data, la falta de equipos conforme las actuales disposiciones que establece la normativa vigente o el declive de los niveles de agua producto del agotamiento de las napas subterráneas que implica la profundización, como consecuencia de la escasez hídrica producto del cambio climático imperante.

Se busca recopilar información que permita reconocer y espacializar mediante puntos en SIG la presencia de los sistemas de APR en las comunas de la zona de rezago, lo anterior considerando la información disponible en la página

web “Observatorio de la infraestructura y gestión del recurso hídrico” de la Dirección de Obras Hidráulicas, respecto de proyectos de agua potable rural financiados a través de esta modalidad, lo cual permite equiparar la comparación entre comunas y contar con información transversal respecto de data de construcción, beneficiarios y número de arranques.

La espacialización se realizó con el software ArcGis 10.4.1 y Google Earth Pro 7.3.3.7786, apoyado en documentación de libre disposición en la web, disponible en la página web del programa APR (<http://www.doh.cl/APR/Paginas/Inicio.aspx>), en el Geoportal Infraestructura de Datos Espaciales IDE Chile así como el Observatorio de la infraestructura y gestión del recurso hídrico (<http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Inicio>). Dado que la comuna de Quirihue no cuenta con proyectos de APR bajo la modalidad DOH – MOP se considerará para el efecto de estudio proyecto con financiamiento SUBDERE. Por otro lado, Ninhue no cuenta con proyectos colectivos financiados a través de esta u otra modalidad no existiendo antecedentes al respecto en virtud de lo cual se determina dejarla fuera del análisis.

Como producto esperado se busca obtener cartografía a escala 1:600.000 con distribución de APR por comuna mediante capa vectorial de nube de puntos en SIG con información de beneficiarios, hogares, arranques, estado y año de construcción.

*b) Definición de criterios de vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable por comuna*

La evaluación de la vulnerabilidad para efectos del presente estudio requiere identificar y analizar la misma respecto de tres áreas principales. Para ello, se tiene presente el estudio de Escolero et al (2016) el cual, a través del diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable en la ciudad de México, identifica tres variables generales de vulnerabilidad: ambiental, socio-administrativa y de la infraestructura, las que fueron definidas desde una etapa de taller de expertos desde una lista de indicadores representativos, los que se agruparon en los factores previamente mencionados.

Para la presente investigación, se propone conservar dos de las tres variables consideradas en el estudio base (ambiental e infraestructura) pero considerando la adaptación del factor socio-administrativo hacia uno de tipo antrópico, lo anterior en consideración de que las tres variables propuestas sean lo más representativas de aquellas que forman parte de un proceso de formulación de proyectos a presentar ante el Sistema Nacional de Inversiones. De esta manera, las variables y su justificación se señalan en la Tabla 2:

**Tabla 2:** Comparativa para justificación de variables utilizadas y homologadas a la realidad chilena

Variables Escolero et al. (2016)	Presente estudio	Definición y origen de los datos para el caso chileno
Ambiental	Ambiental	El MMA (2016) considera a Chile como un país altamente vulnerable al cambio climático, situación que el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC , 2014), destaca por los severos impactos que este tiene sobre los recursos y ecosistemas, entre ellos el recurso hídrico.
Socio - Administrativa	Antrópica	Las presiones que el ser humano ejerce sobre los recursos del territorio son sistémicas y cruzan a los diferentes recursos naturales y a las diferentes actividades que las comunidades humanas realizan. En el medio rural, la conexión entre las actividades ejercidas por los habitantes y el medio son directas. Muchas de estas acciones se sustentan en el uso extractivo de algún recurso natural desde donde obtienen una materia prima (CONAF, 2021)
Infraestructura	Infraestructura	Sistema de abastecimiento de agua potable de carácter colectivo que comprende obras de captación, conducción, almacenamiento, desinfección y distribución; con sus respectivas conexiones domiciliarias y medidores, las que reemplazan a los sistemas de abastecimiento artesanal (DOH - MOP, 2015)

Fuente: Adaptada de Escolero et al., 2016

Las variables generales previamente enunciadas se componen de indicadores particulares, los que se han seleccionado desde diversas fuentes y se han considerado pertinentes para el análisis a desarrollar, dada su capacidad de representar, desde distintas aristas, la vulnerabilidad ambiental, antrópica y de la infraestructura que enfrenta el territorio Valle del Itata.

En la tabla 3 a continuación, se presenta un resumen de las variables y los indicadores tenidos en consideración para el presente análisis, para posteriormente describir cada uno de ellos con mayor detalle.

**Tabla 3:** *Indicadores para el análisis de la vulnerabilidad de las variables propuestas*

Variable	Indicadores	Descripción
Ambiental	Temed	Temperatura media estival
	Timed	Temperatura media invernal
	PPA	Precipitación promedio anual
Antrópica	DR	Densidad población rural
	PMD	Pobreza Multidimensional
	IPH	Presión humana sobre el territorio
Infraestructura	Antigüedad	Data construcción APR
	Población	Población Atendida APR
	Conexiones	Número de arranques APR

*Fuente: Elaboración propia*



### **Variable Ambiental**

Se tienen presentes los indicadores Temed (temperatura media estival), Timed (temperatura media invernal) y PPA (precipitación promedio anual), los cuales se extraen desde el estudio desarrollado por (INFODEP, 2016)<sup>5</sup> a partir del procesamiento de series históricas de estaciones proporcionadas por una diversidad de actores como la Dirección Meteorológica de Chile, la Dirección de Aguas, Universidades, Institutos de investigación y privados.

(Valencia et al, 2014) selecciona indicadores de tipo precipitación y temperatura para la dimensión biofísica (conjunto de estructuras y relaciones en el contexto biótico y abiótico) teniendo en cuenta argumentos de tipo inductivos, es decir, que se dan sobre la base de datos o información disponible de variables medidas en la zona. Para el caso del valor obtenido del indicador de temperatura estival e invernal, se establecerá un menor valor de vulnerabilidad para aquellas temperaturas menores en contraposición a las temperaturas mayores registradas en la zona. Sin embargo, para el ítem precipitación promedio anual se propone una inversión de la escala de valores y categorías, ello en función a que un mayor registro de precipitaciones como el informado refleja una mejor capacidad hídrica de las comunas en estudio.

---

<sup>5</sup> Información agroclimática para el desarrollo productivo

Así, para la zona de rezago en estudio y sus comunas se cuenta con la siguiente base de datos de caracterización climática, la cual se muestra en la tabla 4 a continuación.

**Tabla 4.** Valores promedio por comuna para el período 1980 – 2010

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INFODEP. 2016

COMUNA	TXE	TNE	TXJ	TNJ	Temed	Timed	PPA	PPA MIN	PPA MAX
Cobquecura	22,3	11,4	13,4	6,0	16,0	9,2	935	786	1077
Quirihue	26,4	11,8	13,2	6,0	18,1	9,1	965	842	1113
Ninhue	27,5	11,6	12,8	5,5	18,6	8,7	957	885	1119
Treguaco	24,4	12,0	13,2	5,6	17,3	8,9	916	801	1093
Portezuelo	27,7	11,5	12,9	5,2	18,6	8,6	1036	976	1162
Coelemu	23,5	11,8	13,3	5,7	16,8	9,0	979	853	1162
Ranquil	27,2	11,2	13	5,4	18,2	8,8	1278	1145	1490
San Nicolás	28,5	11,6	12,5	4,7	19,0	8,2	989	927	1072
Quillón	27,6	11,2	13	5,2	18,4	8,6	1319	1186	1646

Parámetros usados por INFODEP

TXE	Temperatura máxima estival (Máxima media mes ENERO)
TNE	Temperatura mínima estival (Mínima media mes ENERO)
TXJ	Temperatura máxima invernal (Máxima media mes más frío, JULIO)
TNJ	Temperatura mínima invernal (Mínima media mes más frío, JULIO)
Temed	Temperatura media del período estival (Dic-Ene-Feb)
Timed	Temperatura media del período invernal (Jun-Jul-Ago)

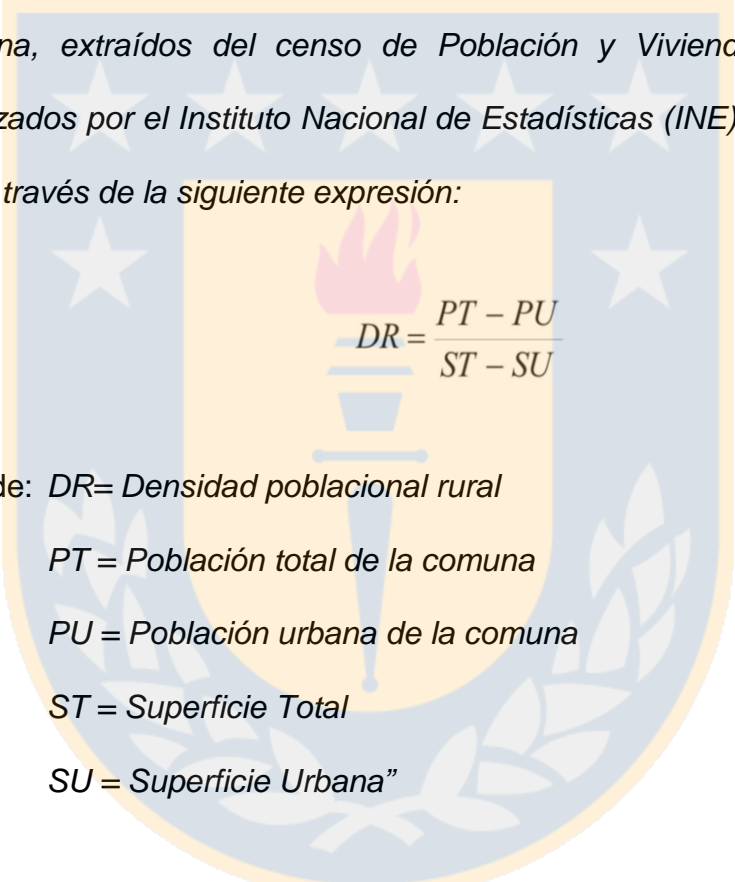
PPA	Precipitación normal anual
PPA MIN	Precipitación anual más baja
PPA MAX	Precipitación anual más alta

### **Variable Antrópica**

Se utilizaron los indicadores densidad población rural, pobreza multidimensional y Presión humana sobre el territorio.

El uso del indicador de densidad poblacional rural se utilizó en los trabajos realizados por (Altieri, 2016) y (Arévalo, Lozano, & Sabogal, 2011), quienes señalan que el crecimiento previsto durante los próximos años generara impactos antropogénicos negativos en los recursos naturales los cuales se incrementarán, especialmente respecto a la disponibilidad del agua para uso humano. A su vez, (CEPAL, 2014) indica que la concentración de la población trae consigo adversidades, sea porque causa presiones excesivas sobre el ecosistema ocupado, por superación de los límites de funcionamiento de las cadenas productivas, por saturación de las redes de infraestructura o por agotamiento y colapso de los mercados e instituciones sociales creados para cantidades o densidades de población inferiores. Además, en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales, es considerado para el cálculo y actualización del indicador integrado de desertificación, degradación de tierras y sequía (CONAF, 2021) sobre la base de datos del Censo de población y vivienda (INE, 2017) . En virtud de lo señalado, para el cálculo del presente Índice se tendrá la siguiente definición:

*“Relación entre la población y superficie total de la comuna versus su población y superficie urbana. Para su obtención se empleará la metodología usada por CONAF (2021) que utiliza la información a nivel de comuna de la población total, población urbana, superficie total y superficie urbana, extraídos del censo de Población y Vivienda del año 2017, realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y cuyo cálculo se da a través de la siguiente expresión:*


$$DR = \frac{PT - PU}{ST - SU}$$

Donde: *DR= Densidad poblacional rural*

*PT = Población total de la comuna*

*PU = Población urbana de la comuna*

*ST = Superficie Total*

*SU = Superficie Urbana”*

Respecto del indicador de pobreza multidimensional, este se adapta desde (Barbosa & Weynants, 2018) quienes proponen una serie de indicadores de vulnerabilidad a escala continental, entre los cuales se cuentan empleo y remuneraciones, vivienda y servicios básicos, salud y distribución del ingreso, siendo su referente más cercano a nivel nacional el indicador propuesto. (Rodriguez et al, 2018) profundiza en esa idea, concluyendo que la pobreza es

un fenómeno dinámico y complejo cuyo abordaje tradicional con base en los ingresos resulta insuficiente, por cuanto deja fuera de su ámbito de referencia una serie de privaciones en la dotación personal y de contexto que tienen los pobres, siendo particularmente deficiente en la estimación de la pobreza rural. Se tiene presente como fuente de los datos la Encuesta de Caracterización socioeconómica CASEN (MIDESO, 2017).

Al principio de esta investigación, se plantea como parte del problema geográfico la situación de pobreza con la cual nace la región de Ñuble (tasa pobreza por ingreso 16,1%, tasa pobreza multidimensional 24,6%), sólo superada por la región de la Araucanía sobre base de datos de la encuesta CASEN 2017, lo cual la sitúa como la segunda más pobre del país. A su vez, se expone que esta situación es mayor en el espacio rural por ser la región con mayor tasa de población residiendo en dicho espacio geográfico (23,6% y 38%, respectivamente). Sobre la base de los datos entregados por CASEN y aplicando la Metodología de Estimación para Áreas Pequeñas SAE, se obtiene que las comunas de la zona de rezago no escapan a la realidad antes descrita e incluso sobrepasan los promedios regionales. Como se muestra en la Tabla 5, el número de personas en situación de pobreza multidimensional promedia un 33,02%, lo cual deja en evidencia la disímil situación que enfrenta el territorio respecto de las cuatro dimensiones del bienestar que componen este indicador: Educación, Salud, Trabajo y Seguridad Social y Vivienda, además de Entorno y Redes.

**Tabla 5.** Escenario de pobreza multidimensional Zona de Rezago

Nombre comuna	Nº de personas en situación de pobreza multidimensional	% de personas en situación de pobreza multidimensional	Límite inferior	Límite superior
Quillón	4.337	30,7%	24,2%	37,0%
Quirihue	3.623	35,3%	31,1%	45,0%
Cobquecura	2.033	47,2%	43,0%	57,1%
Coelemu	4.215	30,7%	24,3%	36,6%
Ninhue	1.463	34,8%	28,7%	42,3%
Portezuelo	1.493	35,5%	28,6%	42,0%
Ránquil	1.015	24,3%	16,6%	28,2%
Treguaco	1.071	23,7%	16,4%	27,8%
San Nicolás	3.310	35,0%	31,3%	44,2%
Total	22.560	Promedio 33,02%		

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos CASEN (2017)*

Finalmente, y en relación al indicador presión humana sobre el territorio, este se extrae igualmente desde el estudio de actualización del indicador integrado de desertificación, degradación de tierras y sequía (CONAF, 2021), el cual señala que las presiones que el ser humano ejerce sobre los recursos del territorio son sistémicas y cruzan a los diferentes recursos naturales y a las diferentes actividades que las comunidades humanas realizan. En el medio rural, la conexión entre las actividades ejercidas por los habitantes y el medio son directas. Según CONAF, muchas de estas acciones se sustentan en el uso extractivo de algún recurso natural desde donde obtienen una materia prima lo

cual justifica el uso del presente indicador, el cual se abordará conforme la definición siguiente:

*“Índice compuesto que representa el efecto de la presión humana sobre la degradación y desertificación del territorio. Se trabajará en conformidad con la metodología empleada por CONAF (2021) y con información socioeconómica de MIDESO (2017) y del Censo Agropecuario (INE, 2007), agrupando en una expresión los tres mayores factores que explican la presión sobre el medio, los cuales se expresan en la fórmula siguiente:*

$$IPH = DR * K_1 + IUS * K_2 + IP * K_3$$

Donde: *IPH= Índice de presión humana sobre los recursos del territorio*

*DR = Índice de densidad de la población rural*

*IUS = Índice de intensidad del uso de suelo rural*

*IP = Índice de pobreza”*

K1, K2 y K3 son factores de ponderación asignados a las variables en base a su nivel de impacto sobre el índice de presión humana en la comuna. En este caso, CONAF (2021) determinó que K1 tiene valor de 0,444, K2 un valor de 0,333 y k3 un valor de 0,222, lo que mantiene una proporción 3:2:1.

### **Variable Infraestructura**

Se trabajará con los indicadores data de construcción (año promedio de construcción de los APR por comuna), población atendida (promedio de beneficiarios conectados y con suministro del sistema) y número de arranques (promedio de conexiones que se tiene por sistema APR a nivel de comuna), todos ellos extraídos desde el Informe final de evaluación hidráulica de agua potable rural (DOH - MOP, 2015) y en línea desde el Observatorio infraestructura y gestión del recurso hídrico (DOH, 2019) y que están intrínsecamente relacionados a los sistemas de APR presentes en las comunas en estudio.

Respecto de la antigüedad de los sistemas de APR, (Alcán Henriquez, 2018) señala que, dentro de los indicadores de vulnerabilidad del sistema de abastecimiento hídrico de la ciudad de Antofagasta, un indicador a considerar es el envejecimiento de la infraestructura como amenaza al sistema de abastecimiento dentro de la etapa de uso del sistema, ello según la antigüedad de la infraestructura respecto a su vida útil estimada, estando expuesta en caso de encontrarse con su vida útil cumplida. Este indicador es relevante dado que el programa de APR establece estándares técnicos que deben cumplir los sistemas, sin embargo, se constata que la edad promedio de los APR existentes a nivel nacional al año 2014 es de 22,35 años, la que supera la vida de previsión o vida útil de 20 años (DOH - MOP, 2015) derivando en la presentación de problemas en el suministro de agua potable en cantidad, calidad y continuidad con su correspondiente afectación a los beneficiarios del sistema.



Respecto de la población atendida y el número de arranques, se tiene presente el Informe final de evaluación Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural (DOH - MOP, 2015) que entre sus indicadores de evaluación propone el Porcentaje de cobertura de Agua Potable Rural para la población que vive en localidades rurales concentradas y semi-concentradas por año, dato que está directamente relacionado con las variables propuestas.

*c) Espacialización de Datos*

La información de los APR se obtuvo desde los registros del Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico (<http://sit.mop.gov.cl/observatorio/Inicio>) de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, específicamente capas vectoriales de información geográfica disponibles a nivel de puntos en formato Shapefile (SHP) la cual contiene información respecto de:

- Antigüedad del sistema
- Número de arranques
- Beneficiarios
- Tipo de sistema (concentrado/semiconcentrado)
- Estado de actividad, administración y asesoría.

Respecto de los datos correspondientes a las variables ambientales y antrópicas, estos se distribuyeron por medio de polígonos vectoriales, los cuales contienen información atinente al presente estudio y relacionadas con los

indicadores de vulnerabilidad precedentemente descritos. Lo anterior se complementa con capas vectoriales de tipo polígono que describen los límites de las comunas en análisis y de la región de Ñuble, con información sobre superficie de la comuna y población, sus límites urbanos además de sus cursos de agua para la zona en estudio a nivel de ríos, esteros y quebradas, disponibles en el mismo formato y extraído desde la plataforma IDE Chile y la Mapoteca de la Biblioteca del Congreso Nacional, respectivamente. El geoprocesamiento de los datos y capas fue realizado en el software Arcgis versión 10.4.1 para posterior obtención de cartografías a escala 1:600.000. El resumen de final de información se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6:** Resumen de información geográfica utilizada

Nº	Nombre	Fuente	Formato	Tipo	Datum
1	Agua potable rural	DOH-MOP	Shapefile	Vectorial – Puntos	WGS84
2	División política administrativa 2020	IDE Chile		Vectorial – Polígonos	WGS84
3	Red hidrográfica nacional	Mapoteca BCN		Vectorial – Lineas	WGS84
4	Microdatos entidades Censo 2017 Ñuble	INE		Vectorial – Polígonos	WGS84
5	Zonificación de los instrumentos de planificación territorial de Ñuble	MINVU		Vectorial – Polígonos	WGS84

*Fuente: Elaboración propia sobre la base de las fuentes indicadas*

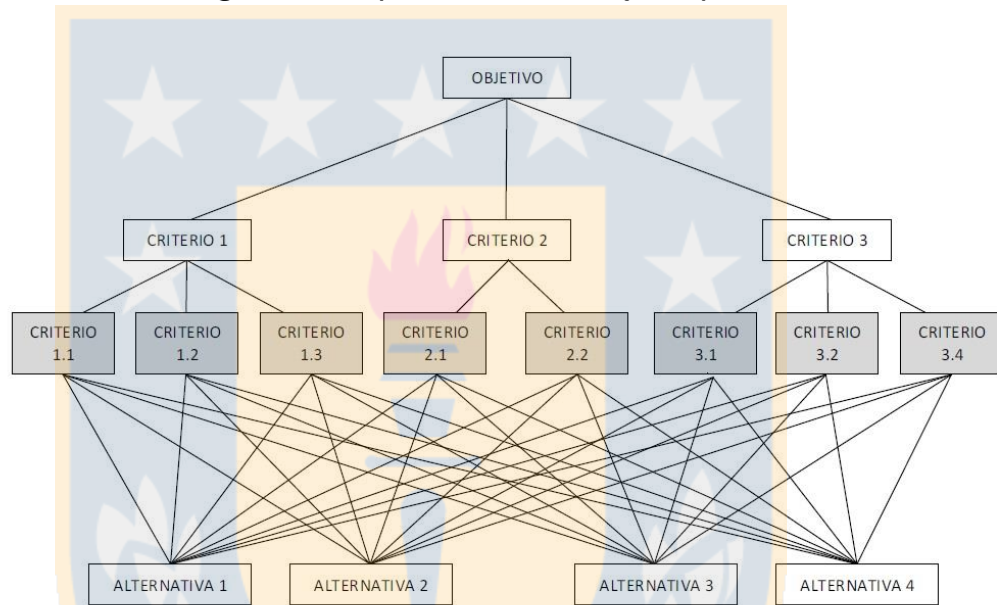
*d) Generación Matriz Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)*

Para el desarrollo de las correspondientes cartografías por factor, se procederá según el Proceso de Jerarquía Analítica de Saaty (en adelante AHP), asignando un peso numérico relativo a cada una de las variables, proceso que se repetirá la cantidad de veces necesaria según las variables de análisis disponibles. Según señala (Saaty, 1994) los juicios y valores varían de un individuo a otro, por lo que se necesita una nueva ciencia de juicios y prioridades que posibilite alcanzar la universalidad y la objetividad. Así, la AHP se presenta como una metodología que aspira a combinar lo racional con lo inmaterial, mediante la captura de información para la creación y el análisis de datos por medio de comparaciones pareadas. En palabras de (Hurtado & Bruno, 2005), permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes. (Linares, Meliéndrez, Milía, & Rosso, 2009), por su parte, mencionan que esta metodología está diseñada para resolver problemas complejos de criterios múltiples.

Como se desprende de lo señalado previamente, se está ante un sistema que nos brinda un vasto espectro de estructuración de un problema, su representación, cuantificación, asociación a objetivos y evaluación de sus posibles soluciones, donde ya no se contempla la existencia de una “verdad única” sino la de “muchas verdades” asociadas a la percepción de la realidad de los diferentes actores participantes en la resolución del problema (Moreno Jiménez, 2002). Conforme se muestra en la figura 4 (Yepes Piqueras, 2018) se

propone la realización del análisis mediante la construcción de un modelo jerárquico de cuatro niveles (objetivo, criterios, subcriterios y alternativas), como se visualiza en el esquema de la figura 4:

**Figura 4: Esquema estructura jerárquica**



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

Para efectos de poder realizar el AHP requerido para el presente estudio, se procedió a su aplicación y posterior validación en dependencias de la Municipalidad de Bulnes, siendo sometida a la opinión de equipos de formulación de proyectos y apoyo social como son las direcciones de SECPLAN y DIDECO, respectivamente, en un grupo total de 8 personas a las cuales se les realizó la aplicación de encuesta para definir los pesos de las distintas variables (Anexo 1).

Dada la variedad de factores y sub-factores a sopesar, se realizaron comparaciones de a pares de cada uno de ellos desde su escala particular si corresponde a la general, ingresándose el valor de preferencia del elemento por sobre el cual se está comparando. En este sentido, la ventaja del AHP respecto a otras técnicas de evaluación multicriterio, consiste en que además de poder incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión, permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse afuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos (Avilez Puentes, 2020).

Para una mejor comprensión de los pasos a desarrollar, se postula la ejecución de un mapa jerárquico general que contenga los criterios de decisión, para posteriormente realizar la construcción de una matriz de comparación de criterios entre pares de elementos, simplificando de este modo la toma de decisiones y obteniendo como resultado el peso de los criterios, para la elaboración de las cartografías correspondientes. Para efectos de obtener estos datos, se postula el desarrollo y aplicación de una encuesta a actores de interés como los descritos en el párrafo precedente, datos que posteriormente fueron sistematizados en planilla de cálculo digital Excel. La comparación por pares señalada se genera otorgando valores de intensidad relativa entre criterios mediante el empleo de la escala fundamental de número absolutos de Saaty, la cual se compone por números impares para representar las intensidades de los juicios sobre la base de los trabajos de Weber y Fechner entre estímulos y sensaciones, donde estos números pueden considerarse las marcas de clase de

los intervalos pares (Moreno Jiménez, 2002). La tabla de números absolutos mencionada se muestra en la tabla 7 a continuación:

**Tabla 7:** *Tabla de números absolutos de Saaty*

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	Ambos criterios comparados son igual de importantes
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el criterio B
5	Importancia alta	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el criterio B
7	Importancia muy alta	El criterio A es mucho más importante que el criterio B
9	Importancia extrema	La importancia del criterio A respecto del criterio B es absoluta
2,4,6,8	Valores intermedios cuando se requiere matizar	

*Fuente: Saaty, 1990*

A partir de los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta, se realiza la construcción de la matriz de comparación por pares de criterios para cada categoría y subcategoría, posterior a lo cual se realizará el cálculo de los pesos de estos de manera posterior a la normalización de la matriz señalada precedentemente (Tabla 8).

**Tabla 8:** Ejemplo de matriz de comparación de criterios

	C 1	C 2	C 3
C 1	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>
C 2	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>
C 3	A <sub>31</sub>	A <sub>32</sub>	A <sub>33</sub>

Fuente: BIP (2019) en Avilez Puentes (2020)

A modo de resumen de los pasos a seguir según la metodología de Saaty y considerando la matriz normalizada precedentemente expuesta, se procederá conforme se muestra en la tabla 9:

**Tabla 9:** Pasos para obtención de pesos jerarquizados según Saaty

Paso	Acción	Comentarios
1	Construcción de matriz de comparación por pares de criterios	1.1 Aplicación de escala de números absolutos de Saaty a actores clave.
2	Normalización de la matriz	<p>2.1 División de cada elemento por la sumatoria de los elementos de la columna de pertenencia, lo anterior mediante la siguiente expresión:</p> $A'_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_{ij}}$ <p>2.2 Obtención de vector propio W conformado por el peso relativo de los criterios, promediando los elementos de la fila correspondiente a la matriz normalizada A', según la fórmula siguiente:</p>

		$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n A'_{ij}}{n}$ <p> <i>W<sub>i</sub></i> = Peso relativo del criterio <i>i</i>  <i>A<sub>ij</sub></i> = Elemento (<i>i,j</i>) de la matriz de comparación  <i>A'<sub>ij</sub></i> = Resultado de la comparación del criterio <i>i</i> respecto del criterio <i>j</i> y normalización.  <i>n</i> = Número de criterios </p>
3	Verificación de consistencia	Definición de la consistencia de los juicios del tomador de decisiones en el transcurso de la serie de comparaciones pareadas. Consta de tres etapas: determinación del vector de suma ponderada, determinación del vector de consistencia y cálculo de la inconsistencia de la matriz (Linares et al, 2009). Si el cálculo de RC (razón de consistencia) es igual o inferior a 0,10 se consideran consistentes los juicios entregados.
4	Obtención de alternativas de decisión	Ranking de aptitudes o alternativas de decisión ordenado de forma creciente según el paso específico de aplicación. Para el caso en particular de este estudio, se refiere a la obtención de los pesos o ponderaciones jerarquizados que permitan dar paso a la realización de los geoprocesos en SIG descritos a continuación.

*Fuente: Elaboración propia según Avilez Puentes (2020)*

e) *Geoproceso de información en SIG*

Consulta el procesamiento de la información geográfica previamente descrita, buscando recoger la caracterización territorial en conformidad con las variables de análisis propuestas (ambiental, antrópica e infraestructura), con la



finalidad de determinar el estado de vulnerabilidad en que se encuentran las comunas en las cuales se emplazan los proyectos de APR. Lo anterior, sobre la base de un análisis integrado siguiendo el proceso de jerarquía analítica descrito previamente junto con los procesos de generación de mapas raster a desarrollar mediante mapeo y procesamiento de la información en SIG Arcgis 10.4.1.

Sobre la base de lo expuesto y en conformidad con el detalle de criterios señalado en las tablas 4 a 6 de factores y variables para el análisis de vulnerabilidad, se propone la construcción de un índice de vulnerabilidad por variable, indicador e integrado con reclasificación de entidades en cuatro niveles de vulnerabilidad (bajo - moderado – severo y extremo), la cual se analizará en función de cada componente según la capacidad expuesta para cada amenaza, asignándole un valor entre 0 y 1 para el indicador de vulnerabilidad. Este indicador es una medida cuantitativa de la vulnerabilidad del componente analizado respecto a la amenaza a la que se expone, en donde 0 significa que no existe vulnerabilidad del componente, mientras que el 1 representa una vulnerabilidad total del componente en cuestión (Alcán Henríquez, 2018).

Se procederá, en primera instancia, a la generación de archivo raster de 300x300 ppp a partir de la cartografía vectorial inicial, la cual se calculará y normalizará mediante desviación estándar y valores mínimos y máximos según los datos trabajados y los valores de información de referencia para la variable a partir de la cual se genera la cartografía. Dichos valores serán posteriormente reclasificados en los cuatro niveles inicialmente descritos, utilizando el método de

quebres naturales (Natural Breaks) de ArcGIS, obteniéndose así los valores de referencia para cada variable y/o indicador. Dicha clasificación se basa en el algoritmo de rupturas naturales de Jenks, en donde las clases se basan en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Las rupturas de clase se crean de manera que los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos (ESRI, 2020).

Para el desarrollo de las cartografías finales por criterio, se empleará la herramienta Superposición Ponderada de ArcMap, con la finalidad de que puedan igualarse a la clasificación en niveles propuesta, entregando por medio de esta modalidad una cartografía total por variable. El uso de esta utilidad hace posible la superposición de varios archivos raster al multiplicar cada uno por su peso y sumar los resultados, ofreciendo la posibilidad de ponderar y combinar varias entradas para generar un análisis integrado, desde la suma de los raster de entrada para crear un raster de salida (ESRI, 2021). Los valores de ponderación para cada una de las categorías descritas serán los obtenidos de la matriz de comparación por pares de criterios realizada para las variables en estudio (Anexo 2.1 a 2.4).

## 4. RESULTADOS

En conformidad con las etapas establecidas para la presente investigación, los pasos metodológicos planteados y los insumos empleados para la consecución de las metas señaladas precedentemente, a continuación, se procede a presentar los resultados obtenidos en consonancia con los objetivos establecidos anteriormente.

### 4.1 Caracterización de los sistemas APR en el territorio a nivel comunal

Actualmente el área de estudio cuenta con un total de 29 sistemas ejecutados bajo la modalidad APR DOH-MOP, que benefician a un total de 27.095 personas, el 32,67% de la población total del área de estudio, con 8.730 arranques ejecutados que equivalen al 21,94% de las viviendas existentes en el territorio (para efectos de cálculo establecidos por la DOH, 1 arranque equivale a un grupo familiar o vivienda con un total estimado de 3,1 beneficiarios).

El detalle de la cobertura de los sistemas por comuna muestra una predominancia de los sistemas de tipo concentrado respecto de los semi concentrados, equivalente al 95 por ciento del total, destacando Treguaco, Coelemu, San Nicolás y Quillón como las que concentran la mayor cantidad de población beneficiarias, equivalente al 72,13% de la población total abastecida de las comunas que conforman la zona de rezago, en contraste con la situación

de Quirihue que es la comuna con el sistema más reciente, pero con la menor cantidad de beneficiarios, como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10: Resumen de población y vivienda de los sistemas por comuna**

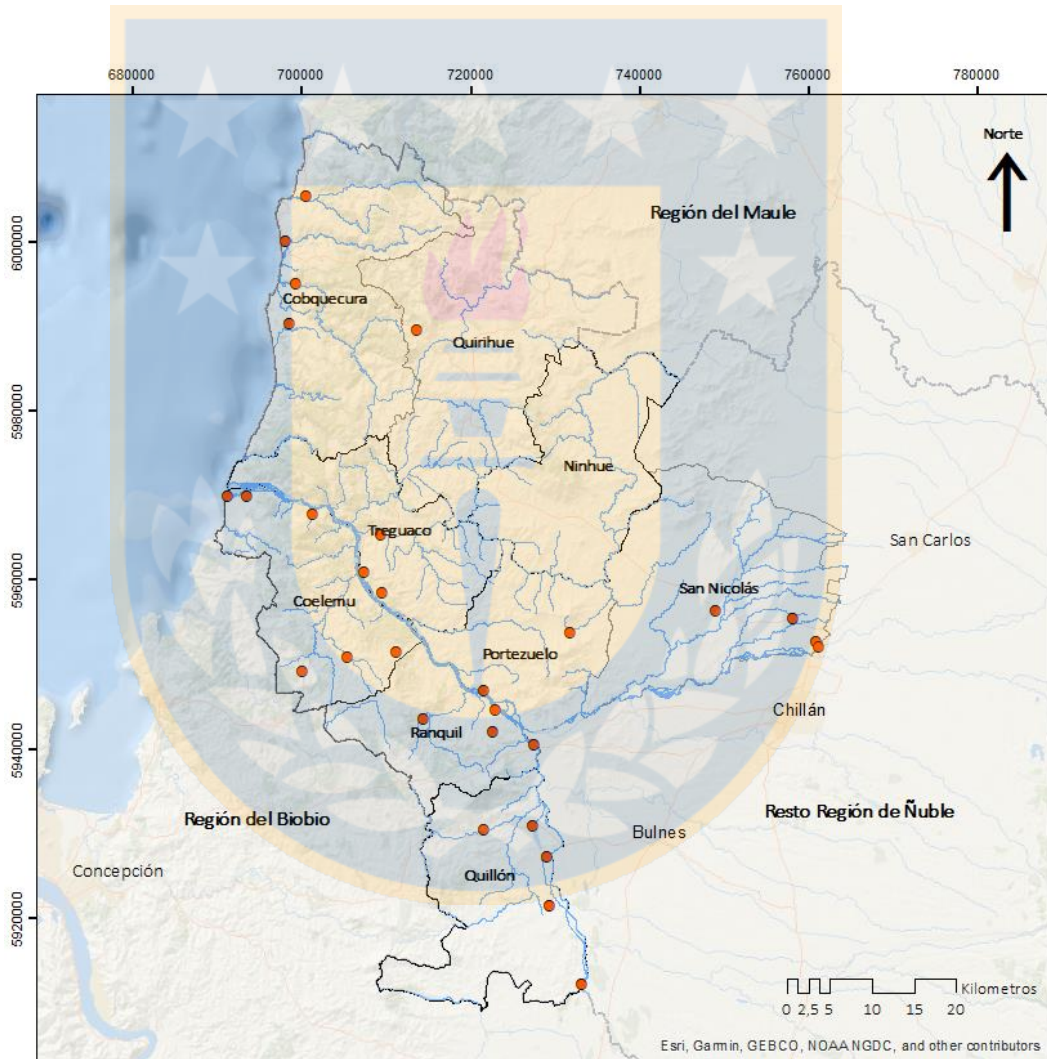
REG.	PROV.	COMUNA	POBL.	VIV.	POBL	VIV
					APR	APR
Ñuble	Itata	Cobquecura	5.012	3.213	2232	720
		Quirihue	11.594	5.248	80	16
		Ninhue	5.213	2.299	Sin sistema APR - DOH	
		Treguaco	5.401	2.524	4098	1322
		Portezuelo	4.862	2.070	2713	875
		Coelemu	15.995	6.140	3680	1187
		Ranquil	5.755	2.826	2523	814
	Punilla	San Nicolás	11.603	4.727	8100	2613
	Diguillín	Quillon	17.485	10.739	3667	1183
Total Zona de rezago Valle del Itata			<b>82.920</b>	<b>39.786</b>	<b>27.095</b>	<b>8.730</b>
% respecto del total área de estudio					<b>32,67</b>	<b>21,94</b>

*Fuente: Elaboración propia según datos INE – DOH MOP (2019)*

Se observa una distribución de los sistemas existentes en la zona de rezago con un marcado énfasis sobre la base de dos criterios: primero, presencia al interior de los centros urbanos principales de cada comuna o en el entorno cercano a estos; y segundo, una distribución aledaña a los límites entre territorios comunales, destacando las zonas San Nicolás – Chillán, Coelemu – Treguaco, Ranquil-Portezuelo y Quillón – Bulnes, respondiéndolo que responde a la

marcada presencia que presenta el sistema fluvial del río Itata, que da nombre a la asociación territorial que agrupa a las comunas en estudio. La distribución de los APR se muestra en el Mapa 1.

**Mapa 1:** Distribución de los APR en la Zona de Rezago Valle del Itata.



*Fuente: Elaboración Propia según datos DOH – MOP y Censo 2017*

Respecto de la relación que desarrollan los sistemas presentes en el territorio con los núcleos poblados existentes, en función de los datos vigentes obtenidos según el último Censo de población y vivienda (2017), se aprecia una predominancia en el emplazamiento de los APR cercanos a caseríos y aldeas. Dicha situación obedece principalmente al hecho de que la mayoría de los centros urbanos presentes en las comunas que integran la zona de rezago corresponden a sistemas de tipo concesión bajo tutela administrativa y técnica de prestadores de servicios privados (Essbio). Constituyen la excepción a lo señalado los centros urbanos principales de las comunas de Treguaco, Portezuelo y San Nicolás, además del barrio Villa Tenesse en Quillón el que, aunque se encuentra dentro del trazado urbano de la ciudad, se abastece desde un sistema propio con un alcance de 300 familias y 930 beneficiarios. Los centros urbanos previamente individualizados contabilizan actualmente 5.993 arranques que benefician a un total estimado de 18.578 personas, equivalentes a un 68,57% del total de arranques y beneficiarios existentes para los APR del área de estudio, siendo el porcentaje restante el correspondiente a APR emplazados en el espacio rural de las comunas en análisis. El resumen de los proyectos de APR presentes en las comunas se detalla en la tabla 11.

**Tabla 11:** Listado de proyectos APR en la zona de rezago

Comuna	Nombre	Año	Arranq.	Estado	Benef.
	PILICURA	2015	130	SEMIC	403
	BUCHUPUREO	1967	350	CONC	1085
	TAUCÚ	1985	136	CONC	422
	SAN JOSE – LAS ACHIRAS	2017	104	SEMIC	322
Coelemu	GUARILIHUE	1984	314	CONC	973
	MAGDALENA	2005	63	CONC	195
	PERALES	1985	270	CONC	837
	RANGUELMO	1983	350	CONC	1085
	VEGAS DE ITATA	1979	125	CONC	388
	PANGUE - MEIPO	2010	65	CONC	202
Treguaco	DENECÁN	1998	125	CONC	388
	HERNAN BRAÑAS	1993	371	CONC	1150
	TREGUACO	1969	826	CONC	2561
Quirihue	EL GUANACO (PMB - SUBDERE)	2016	16	No aplica	80
Portezuelo	ORILLA DE ITATA	1982	95	CONC	295
	PORTEZUELO	1983	780	CONC	2418
Ranquil	EL CENTRO-CEMENTERIO	1980	297	CONC	921
	RANQUIL-SAN IGNACIO DE PALOMARES	1980	200	CONC	620
	NUEVA ALDEA	1978	150	CONC	465
	PASO HONDO – VEGAS DE CONCHA	1998	167	CONC	518
San Nicolás	PORTAL DE LA LUNA	2005	234	CONC	725
	PUENTE ÑUBLE	1997	610	CONC	1891
	SAN NICOLÁS	1965	1490	CONC	4619
	EL MANZANO	2005	279	CONC	865
Quillón	CHILLANCITO DE QUILLÓN	1988	303	CONC	939
	EL CASINO	2006	201	CONC	623
	LIUCURA BAJO	2008	296	CONC	918
	PUERTO COYANCO	1978	83	CONC	257
	VILLA TENNESSE	1967	300	CONC	930
TOTAL			8730		27095

Fuente: DOH-MOP, 2019

## **4.2 Análisis de la vulnerabilidad física de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural municipal**

Para realizar el análisis es necesario recordar que se lleva a cabo el análisis de tres variables: ambiental, antrópica e infraestructura, cuyos resultados se presentan a nivel de variables e indicadores se presentan a continuación.

### *4.2.1 Vulnerabilidad según variable Ambiental*

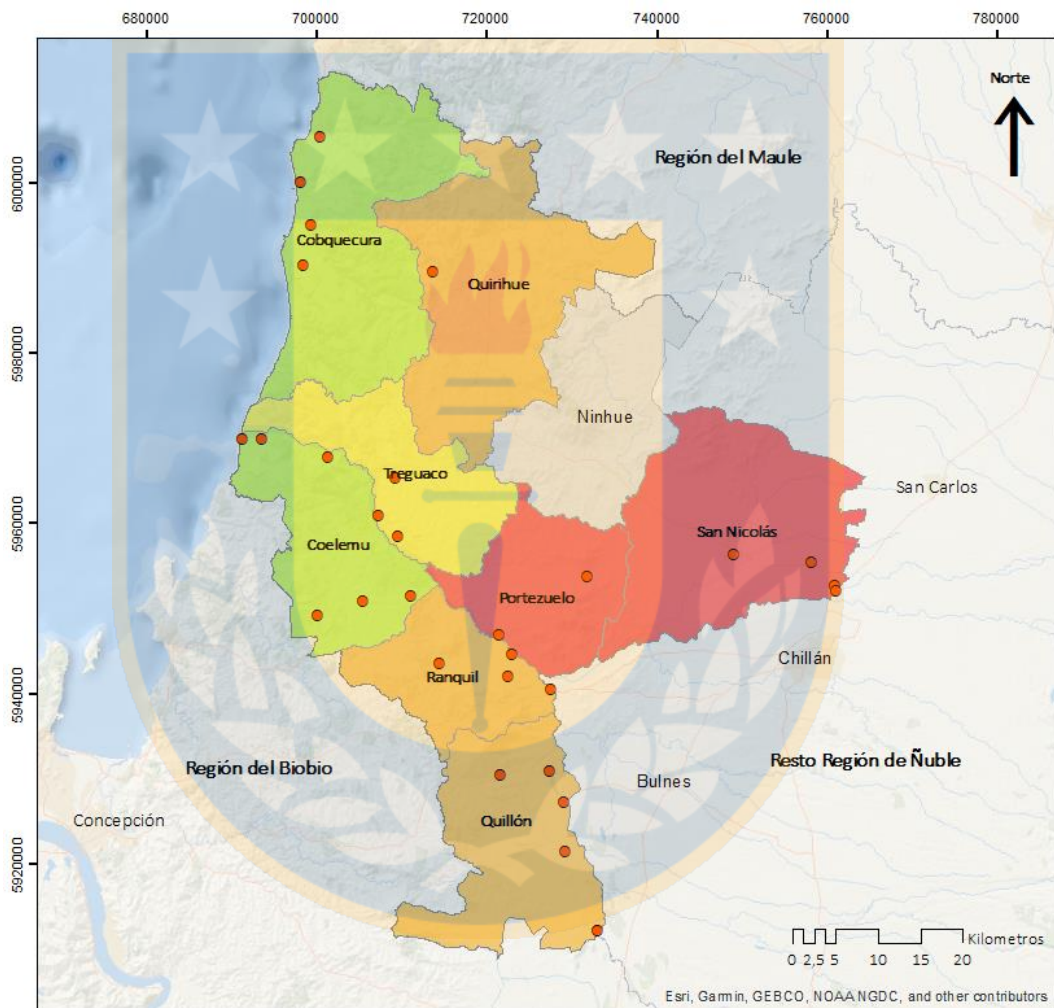
#### *a) Temperatura media estival (Temed)*

Se aprecian diferencias significativas entre comunas, visualizándose un incremento de las temperaturas promedio de máximo 2 grados para la estación de verano. Lo anterior, sitúa a las comunas de San Nicolás y Portezuelo en una categorización de vulnerabilidad ambiental extrema (incremento de 1,6 y 2 grados respecto de la menor temperatura registrada) mientras que, en el otro extremo, se sitúa la comuna de Cobquecura con una categorización de vulnerabilidad ambiental leve (16 grados promedio para la temporada) seguida por Coelemu (16,8 grados), lo cual puede explicarse desde su situación de comunas costeras donde el papel del mar como elemento autoregulador de las temperaturas juega un papel fundamental. Respecto del resto de las comunas, se tiene a Treguaco con una vulnerabilidad ambiental moderada, mientras que para Quirihue, Ranquil y Quillón se obtiene una categorización de indicador severa, con temperaturas estivales superiores en 1,1 a 1,4 grados respecto de



Cobquecura. La visualización de la vulnerabilidad categorizada para el presente indicador se muestra en el mapa 2 a continuación.

**Mapa 2: Indicador de vulnerabilidad Temed Línea base 1985-2010**



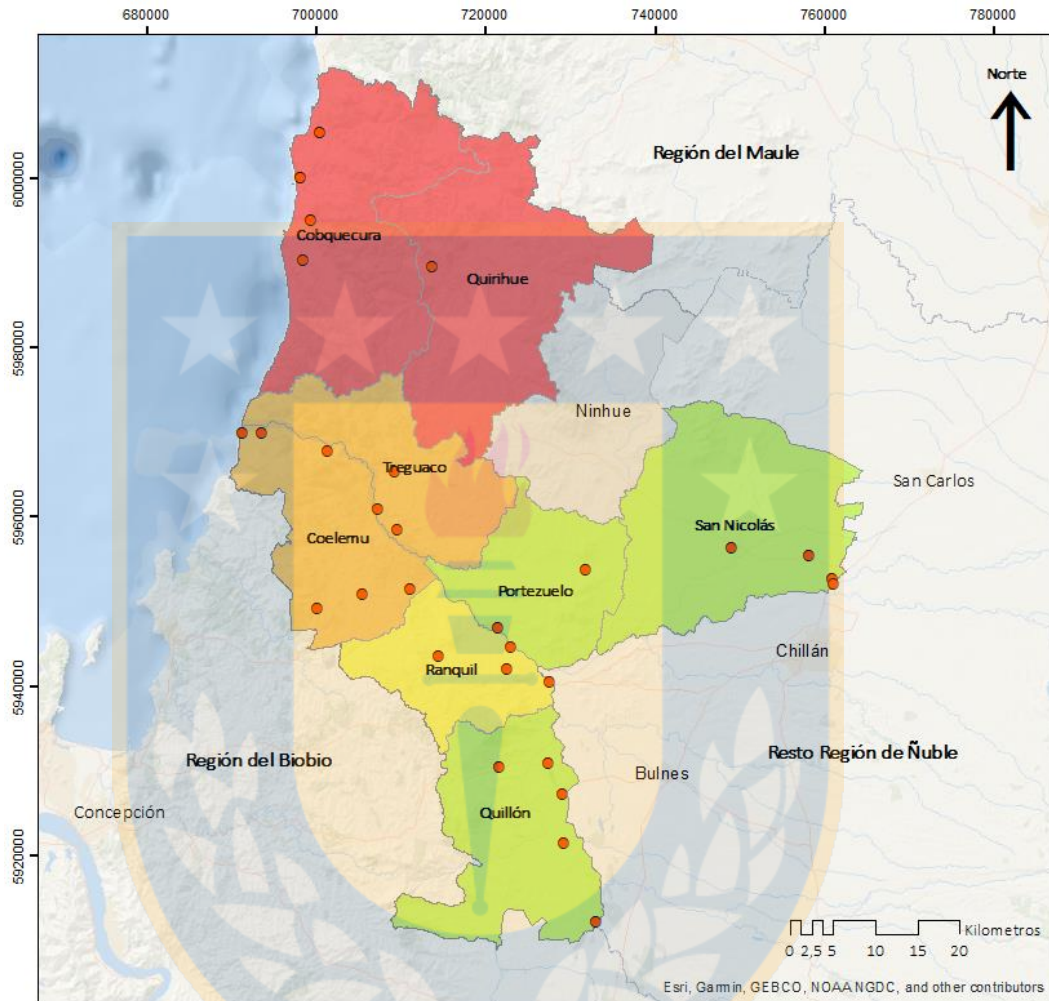
Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,134)	(0,135 – 0,274)	(0,275 – 0,698)	(0,699 – 1)

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de datos INFODEP, 2016

*b) Temperatura media invernal (Timed)*

Para el presente indicador se observa una situación de mayores temperaturas para las comunas asociadas a la zona costera y vecinas a esta del área en estudio (Cobquecura, Quirihue, Treguaco y Coelemu) las cuales evidencian clasificaciones de severo y extremo en atención a sus registros de temperaturas entre 8,9 y 9,2 grados para el registro línea base, superiores en 0,7 y 1 grado respecto de aquellas comunas con temperaturas más bajas, las cuales se encuentran en situación de vulnerabilidad baja y moderada y que se concentran hacia el interior del área de estudio, destacando San Nicolás como aquella con la temperatura promedio invernal más baja registrada (8,2 grados) seguida de Quillón y Portezuelo que muestran un incremento de 0,4 grados respecto de este registro. La visualización de la vulnerabilidad categorizada para el presente indicador se muestra en el mapa 3 a continuación.

**Mapa 3: Escenario de vulnerabilidad Timed Línea base 1985 - 2010**



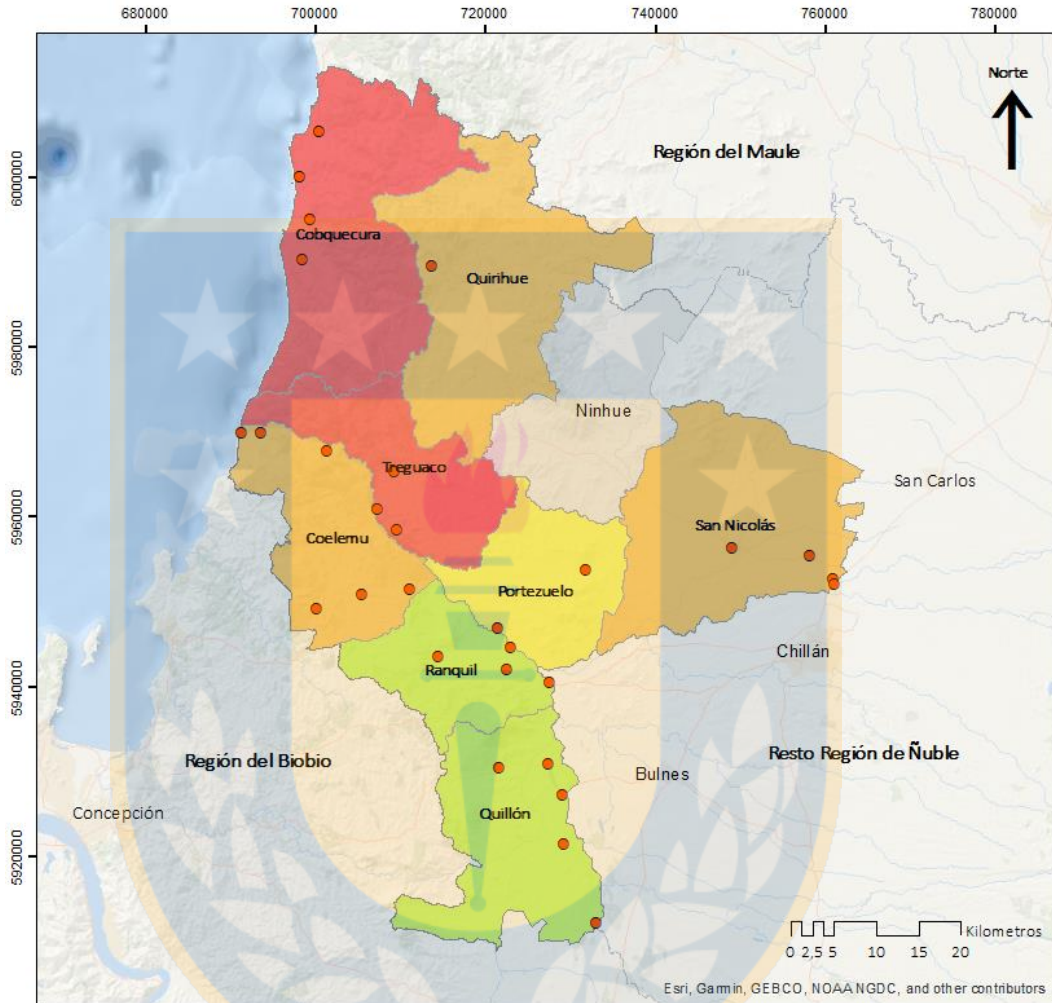
Rangos del indicador			
Bajo (0 – 0,268)	Moderado (0,269 – 0,514)	Severo (0,515 – 0,754)	Extremo (0,755 – 1)

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de datos INFODEP, 2016

c) *Precipitación promedio anual (PPA)*

Se observan registros de agua caída positivos para las comunas de Quillón y Ránquil, con precipitaciones promedio anuales de 1319 y 1278 mm los cuales se encuentran por sobre los registros en la comparación de las otras comunas. Para estas, se observa un registro inferior de precipitaciones para los distintos registros de agua caída, el cual entrega una caracterización de vulnerabilidad por este concepto moderado para Portezuelo, tercera comuna con un registro superior a los 1000 mm de agua caída. Para el resto de las comunas se aprecia una categorización de severa a extrema, con un registro de precipitaciones menor (entre 330 y 403 milímetros) respecto del mejor registro realizado, lo cual sitúa en el peor rango de categorización del presente indicador a las comunas de Treguaco y Cobquecura, con registros promedios de 916 y 935 milímetros respectivamente, escenario que se vuelve claramente desfavorable para la presencia de los diversos sistemas de agua potable rural presentes en estas comunas, cuyo menor registro de precipitaciones tiene incidencia directa en la acumulación de agua a nivel de las napas que es desde donde se extrae el recurso hídrico, derivando en un agotamiento en la capacidad de entrega de caudal de las mismas. La visualización de la vulnerabilidad categorizada para el presente indicador se muestra en el mapa 4.

**Mapa 4: Escenario de vulnerabilidad PPA Línea Base 1985 - 2010**



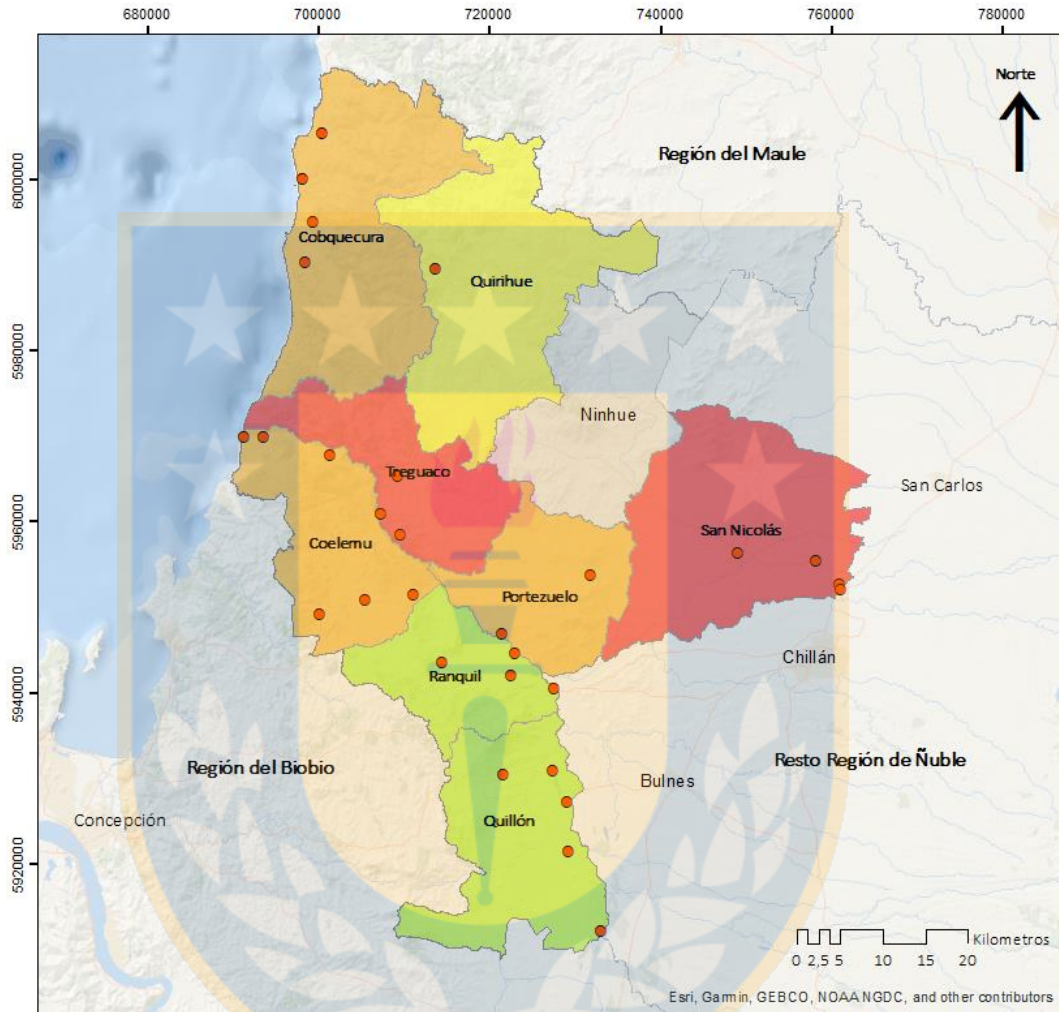
Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,238)	(0,239 – 0,362)	(0,363 – 0,485)	(0,486 – 1)

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de datos INFODEP, 2016

d) *Vulnerabilidad ponderada de indicadores variable ambiental*

En atención a la priorización de parámetros establecida por Saaty (Anexo 2.1), con un énfasis relevante para la variable precipitación promedio anual (65%) seguido de la variable temperatura media invernal (28%) y media estival (7%), para el escenario línea base se observa una situación favorable para las comunas de Quillón y Ránquil, las cuales cuentan con el mejor registro de precipitaciones y menor temperatura respecto de las otras que integran el territorio. Como contraparte, la zona costera arroja una categorización de vulnerabilidad ambiental integrada de severo a extremo (caso de Treguaco y Cobquecura) además de San Nicolás hacia el interior, situación que se explica producto de la menor precipitación normal anual promedio y mayor temperatura estival. Para el resto de las comunas hacia el centro del territorio, se observan rangos de vulnerabilidad de moderado a severo, ello en atención a que el registro de precipitaciones se establece al centro de los registros más extremos con un incremento moderado de temperatura invernal, pero una importante alza en la temperatura promedio estival que pone en situación de atención a los APR que integran estas comunas, equivalentes al 40% de los que se encuentran presentes en el territorio en análisis. La visualización de la vulnerabilidad categorizada para el presente indicador se muestra en el Mapa 5.

**Mapa 5: Vulnerabilidad ambiental ponderada Línea Base 1985 - 2010**



Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,329)	(0,330 – 0,440)	(0,441 – 0,475)	(0,476 – 1)

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de datos INFODEP (2016)

#### 4.2.2. Vulnerabilidad según variable Antrópica

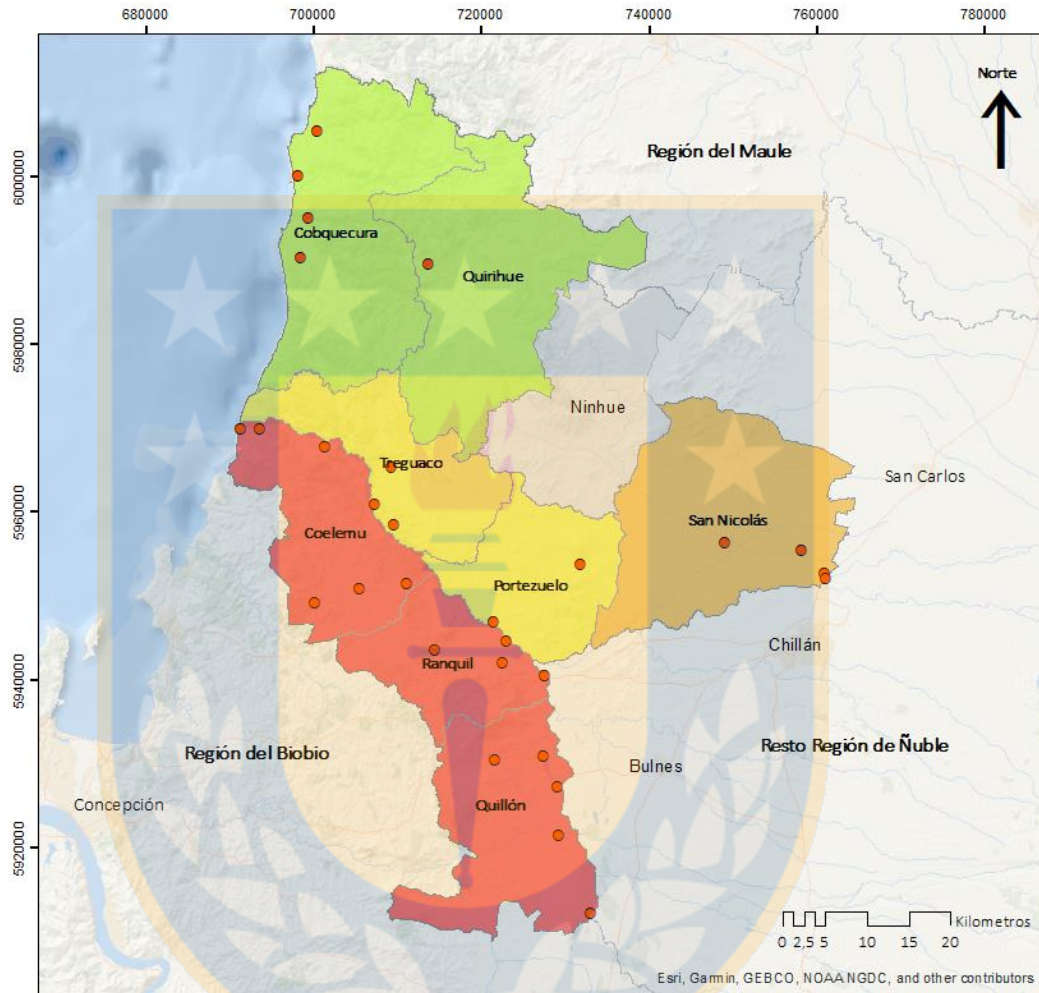
Se tienen presentes los indicadores Índice de densidad rural (DR), Índice de Pobreza Multidimensional (PMD) e Índice de presión humana sobre el territorio (IPH), los cuales fueron seleccionados en virtud de la capacidad que tienen de aportar información respecto de la situación humana en las comunas seleccionadas y su influencia en el territorio.

##### a) *Índice Densidad Rural*

Se observa una categorización de vulnerabilidad antrópica baja para Quirihue (índice 0,053) y Cobquecura (índice 0,129), lo anterior como resultado de la vastedad territorial de ambas comunas, las que en conjunto equivalen al 35 por ciento del territorio en análisis, lo cual deriva en una densidad poblacional inferior en dicho espacio. Para las comunas de Coelemu, Ránquil y Quillón la situación es contrapuesta (índices superiores a 0,8), lo cual se explica dado que la relación entre población urbana y total se encuentra entre las más altas para la zona en estudio, en comparación a la superficie rural disponible versus la que se encuentra aprobada por sus planes reguladores comunales. El resto de las comunas (Treguaco, Portezuelo y San Nicolás) se distribuyen en los rangos de categorización de vulnerabilidad moderado y severo según se muestra en el mapa 6.



**Mapa 6: Vulnerabilidad según Índice Densidad rural**



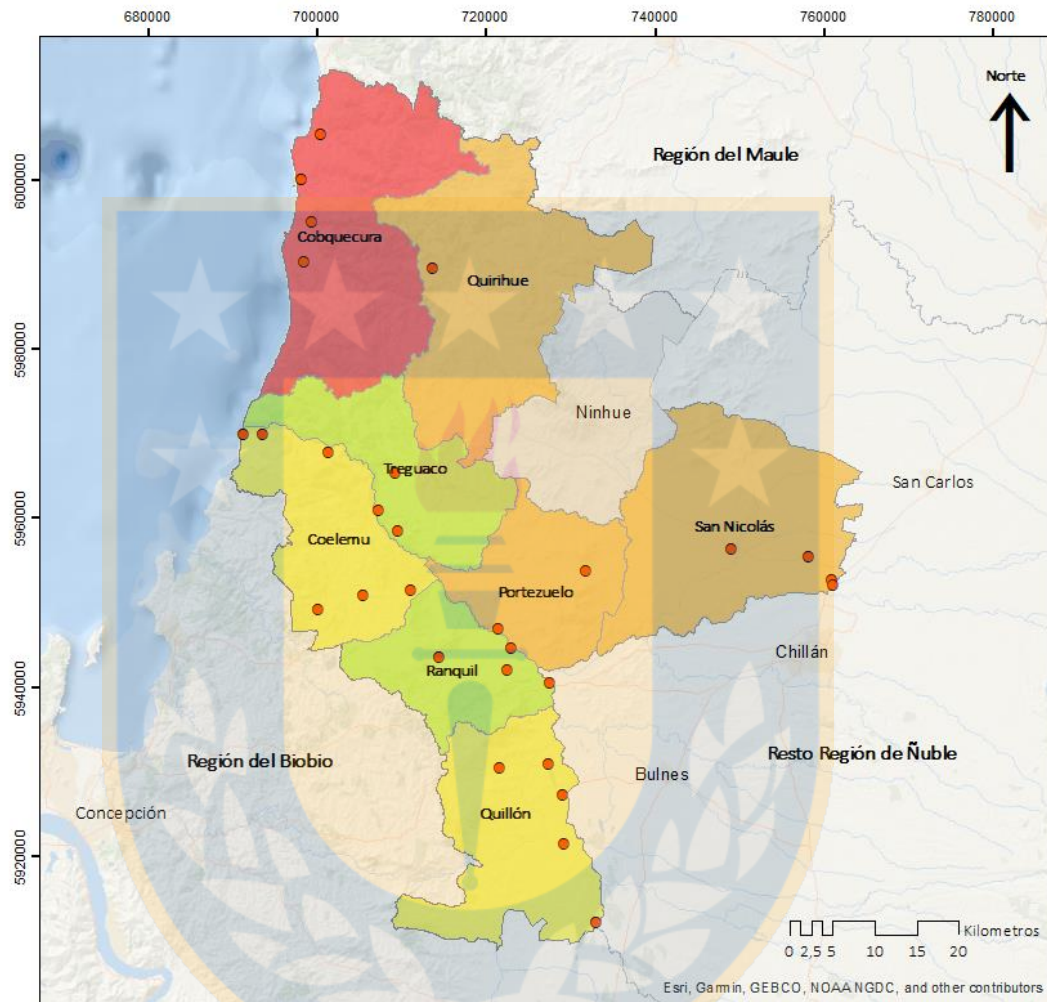
Rangos del indicador			
Bajo (0 – 0,128)	Moderado (0,129 – 0,423)	Severo (0,424 – 0,688)	Extremo (0,689 – 1)

*Fuente: Elaboración Propia*

*b) Índice Pobreza Multidimensional*

Se tiene a Cobquecura como la única comuna con vulnerabilidad extrema dado su porcentaje de personas en situación de pobreza (34,2% PPI – 47,2 PMD) duplicando las tasas de referencia regionales, en contraposición a la situación de Ranquil y Treguaco que entregan porcentajes inferiores al promedio establecido para ambos indicadores. El resto de las comunas arrojan resultados de moderado a severo, destacando la cercanía de las primeras (Coelemu y Quillón) con la región del Biobío lo cual puede explicar un vínculo productivo y funcional de estas comunas hacia dicha zona, mientras que para las segundas se aprecia una distribución hacia el interior de la región de Ñuble y hacia el Maule. Dentro de los múltiples factores tras las cifras expuestas se cuentan una baja escolaridad, alta ruralidad, población envejecida y sueldos bajo los promedios nacionales, con una alta especialización en la actividad forestal que lidera el uso laboral seguido por la agrícola (53,4% versus 21,3%), ambas con una baja productividad e impacto negativo en los ingresos. Respecto de la crisis hídrica y la precariedad en el acceso al agua potable, datos del Censo 2012 arrojan que sólo un 42% de las viviendas disponen de una red pública de agua potable; un 37,5% consume agua, ya sea de un río o vertiente; un 15% obtiene agua a través de pozos y norias, mientras que un 4,9% declaran que el agua de su vivienda proviene de camión aljibe (GEO-Safe Ltda., Rhyma Ing. SpA, 2018). Los resultados para el presente indicador se presentan en el mapa 7.

**Mapa 7: Vulnerabilidad según Índice Pobreza Multidimensional**



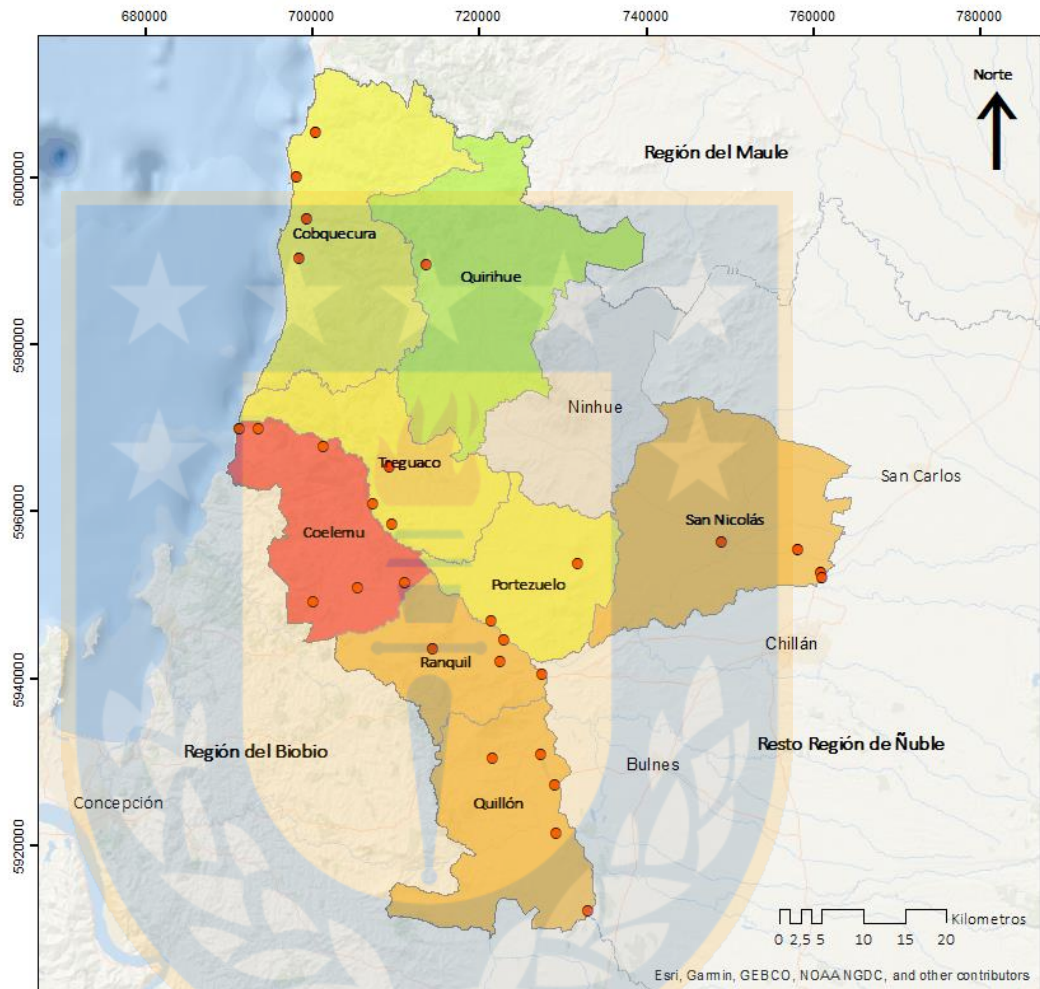
Rangos del indicador			
Bajo (0 – 0,128)	Moderado (0,129 – 0,393)	Severo (0,394 – 0,636)	Extremo (0,637 – 1)

*Fuente: Elaboración Propia*

c) *Índice presión humana sobre el territorio*

Destaca para efectos de la presente subvariable la baja vulnerabilidad de Quirihue dentro del análisis ya que, si bien comparte cifras de uso de suelo similares a los de Coelemu (comuna con peor valorización), sobre todo en lo correspondiente a uso forestal, su mayor superficie comunal, menor superficie urbana y mejor índice de densidad rural la sitúan a la cabeza de la lista. La situación de Coelemu en el otro extremo se explica producto de la valorización en el cálculo del presente indicador de la densidad de uso suelo rural por sobre la pobreza multidimensional, en cuyos índices de vulnerabilidad la comuna en mención figura con clasificación extrema por sobre las otras comunas presentes en el territorio. Para el resto de las comunas se mantienen valores de vulnerabilidad de moderado a severo, ello en virtud de la presencia de valores similares para densidad población rural y pobreza multidimensional, con excepción de Cobquecura para este último caso pero que dada la baja ponderación de dicho indicador para la presente subvariable verifica una baja presión humana sobre el territorio. La categorización de vulnerabilidad para el presente indicador se muestra en el mapa 8.

**Mapa 8: Vulnerabilidad según Índice Presión Humana sobre el territorio**



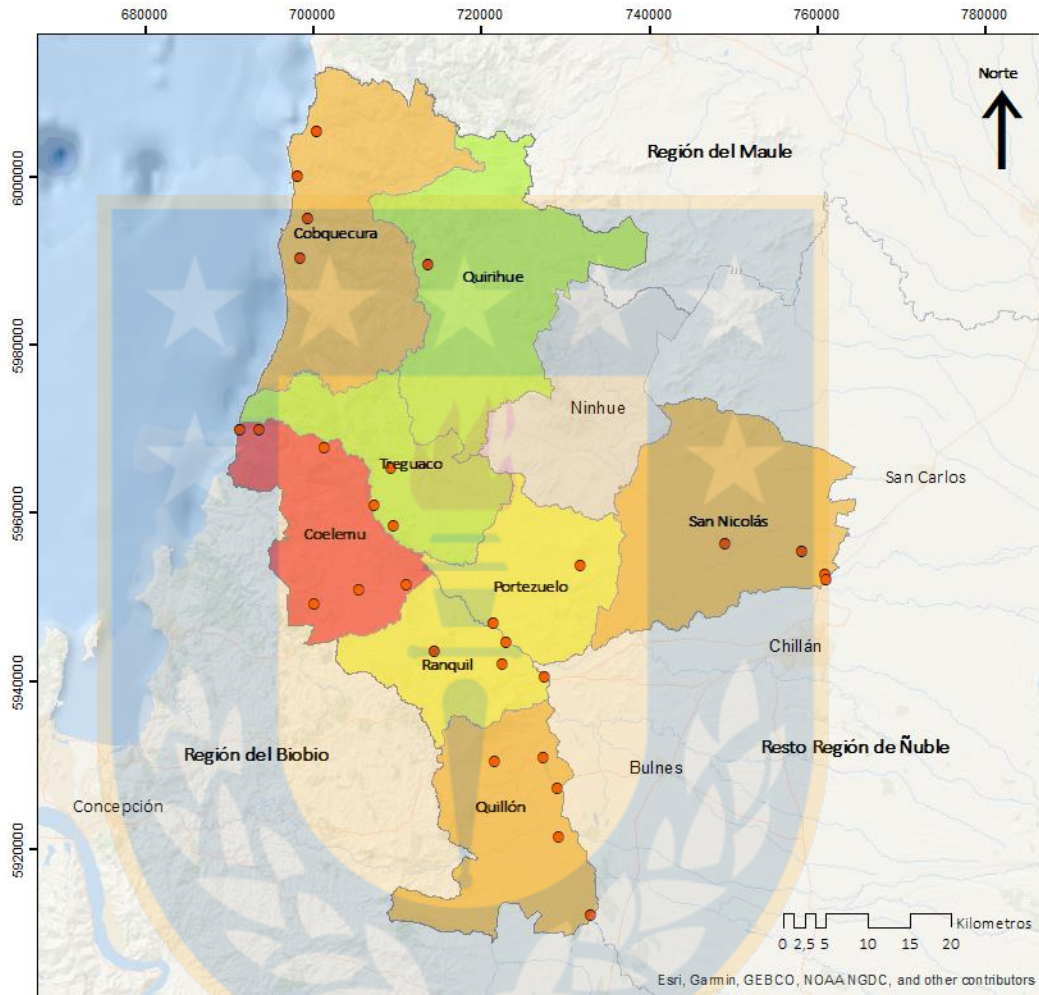
Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
0 – 0,285	0,286 – 0,463	0,464 – 0,546	0,547 - 1

*Fuente: Elaboración Propia*

d) *Síntesis de vulnerabilidad antrópica final*

La cartografía de síntesis final se realiza en conformidad con el cálculo de pesos establecido para cada uno de los indicadores previamente analizados (Anexo 2.2) que señala un mayor valor al índice de presión humana sobre el territorio (67%), seguido del índice Pobreza Multidimensional (23%) y el índice de densidad de población rural (10%). Los resultados arrojan una categorización de vulnerabilidad antrópica baja para las comunas de Quirihue y Trehuaco. Para el resto de las comunas se observa una transición de valores de moderado a severo para la presente variable, con una concentración de aproximadamente el 60% de los APR del territorio. En el extremo opuesto se encuentra Coelemu, que al igual que en la cartografía previa conserva su categorización de vulnerabilidad extrema, ello en atención a la alta ponderación del IPH en su caracterización. Los resultados se muestran en el mapa 9 a continuación.

**Mapa 9: Vulnerabilidad integrada por comunas para variable antrópica**



Rangos del indicador			
Bajo (0 – 0,343)	Moderado (0,344 – 0,455)	Severo (0,456 – 0,553)	Extremo (0,554 – 1)

Fuente: *Elaboración Propia*

#### *4.2.3. Vulnerabilidad según variable Infraestructura*

La gran mayoría de los sistemas APR considerados en el presente estudio tiene una data de construcción superior a los 20 de años desde su ejecución que es el plazo que se considera como vida útil de un proyecto según la metodología de inversiones MIDESO. Un análisis preliminar determina que el 13,79 por ciento de los APR tiene una antigüedad superior a los 50 años, mientras que el grueso de los sistemas cuenta con entre 20 a 40 años de antigüedad (55,16 por ciento), lo cual presenta un serio problema para el abastecimiento del recurso hídrico a la población beneficiaria de estos. Para efectos de la presentación de los datos que corresponden a la presente variable y la obtención de la categorización de vulnerabilidad de infraestructura por comuna, se procedió a generar la media tanto de antigüedad como de beneficiarios y número de arranques de los APR.

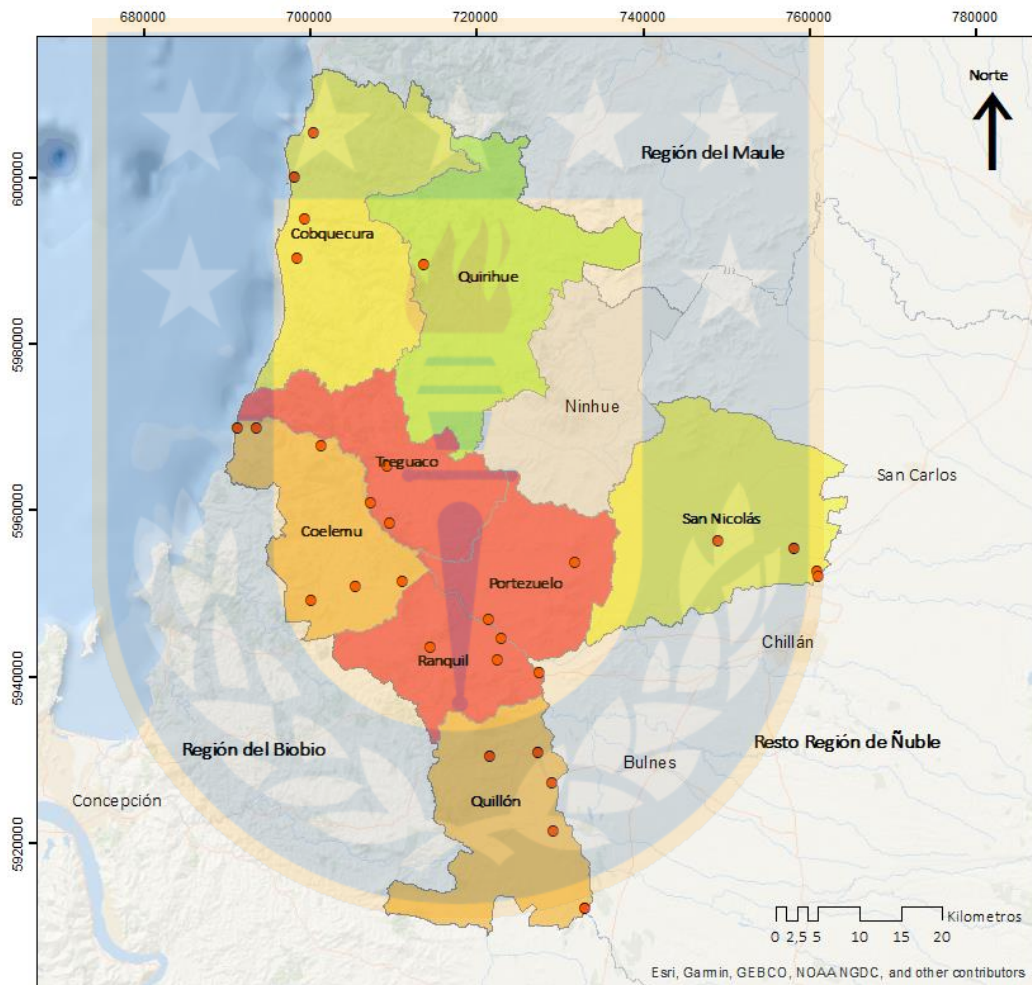
##### *a) Indicador vulnerabilidad por data de construcción*

Para el primer indicador, exceptuándose la comuna de Ninhue que carece de proyectos APR – MOP, se observa una situación leve y moderada para las comunas del sector norte de la zona de rezago, destacando Quirihue (al contar con un único sistema colectivo del año 2015) y Cobquecura respectivamente (si bien la antigüedad promedio de esta última se encuentra justo en el umbral con 25 años). Para el resto de las comunas, se observan antigüedades promedio superiores a este parámetro, con una mínima de 28 años para el caso de San Nicolás y una máxima de 38,5 años para Portezuelo, lo cual pone en situación



de vulnerabilidad por este concepto a aproximadamente el 66 por ciento del territorio, como se evidencia en el mapa 10.

**Mapa 10:** Vulnerabilidad APR por comuna según data de construcción.



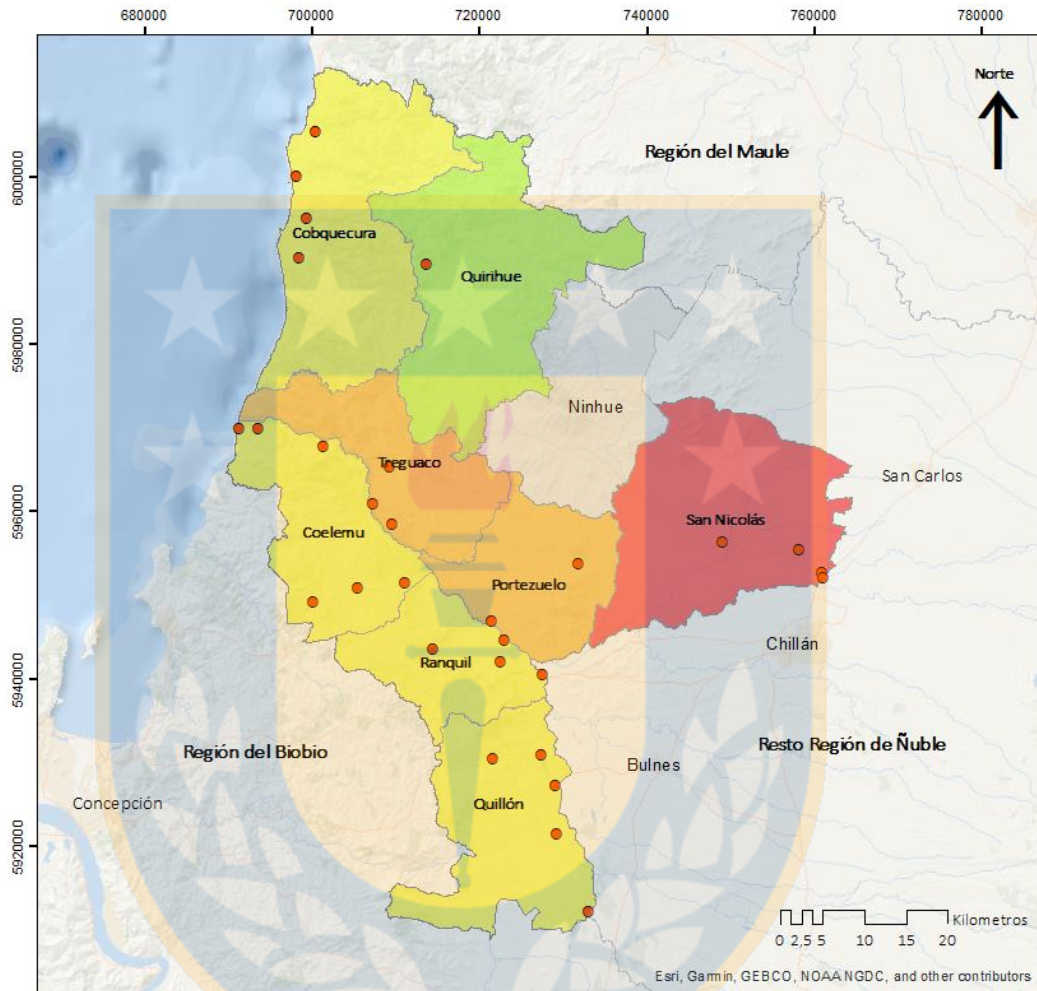
Rangos del indicador			
Bajo (0 – 0,068)	Moderado (0,069 – 0,572)	Severo (0,573 – 0,672)	Extremo (0,673 – 1)

Fuente: Elaboración Propia según datos DOH – MOP (2019)

*b) Indicador vulnerabilidad por número de beneficiarios*

Respecto a la vulnerabilidad por beneficiarios, se observa una relación directa entre la antigüedad de los APR y sus beneficiarios, en virtud a que producto de su mayor data de construcción se han realizado ampliación de redes que han incluido más beneficiarios, convirtiéndose en algunos casos en el principal sistema de abastecimiento de las comunas, como ocurre en San Nicolás. Así, los sistemas con sobre 30 años de antigüedad concentran al 68 por ciento de los beneficiarios de la zona en estudio. Coincidentemente, para la cartografía de categorización de vulnerabilidad del presente indicador se tiene que nuevamente Quirihue presenta la mejor situación respecto del resto de las comunas, dado su bajo número de beneficiarios atendidos (80 personas). Para las comunas con vulnerabilidad moderada existe una similitud entre ellas que tiene relación con que sus APR atienden a agrupaciones a escala de aldeas y pueblos según la clasificación censal. Ello lleva a que aquellas comunas con un nivel grave de vulnerabilidad son las que sus APR abastecen núcleos censales del tipo ciudad, como ocurre con Treguaco, Portezuelo y San Nicolás, cuyos centros urbanos se abastecen desde estos sistemas con un elevado número de beneficiarios potencialmente afectados en caso de falla por suministro del sistema, como puede apreciarse en el Mapa 11.

**Mapa 11: Vulnerabilidad de los APR por comuna según beneficiarios**



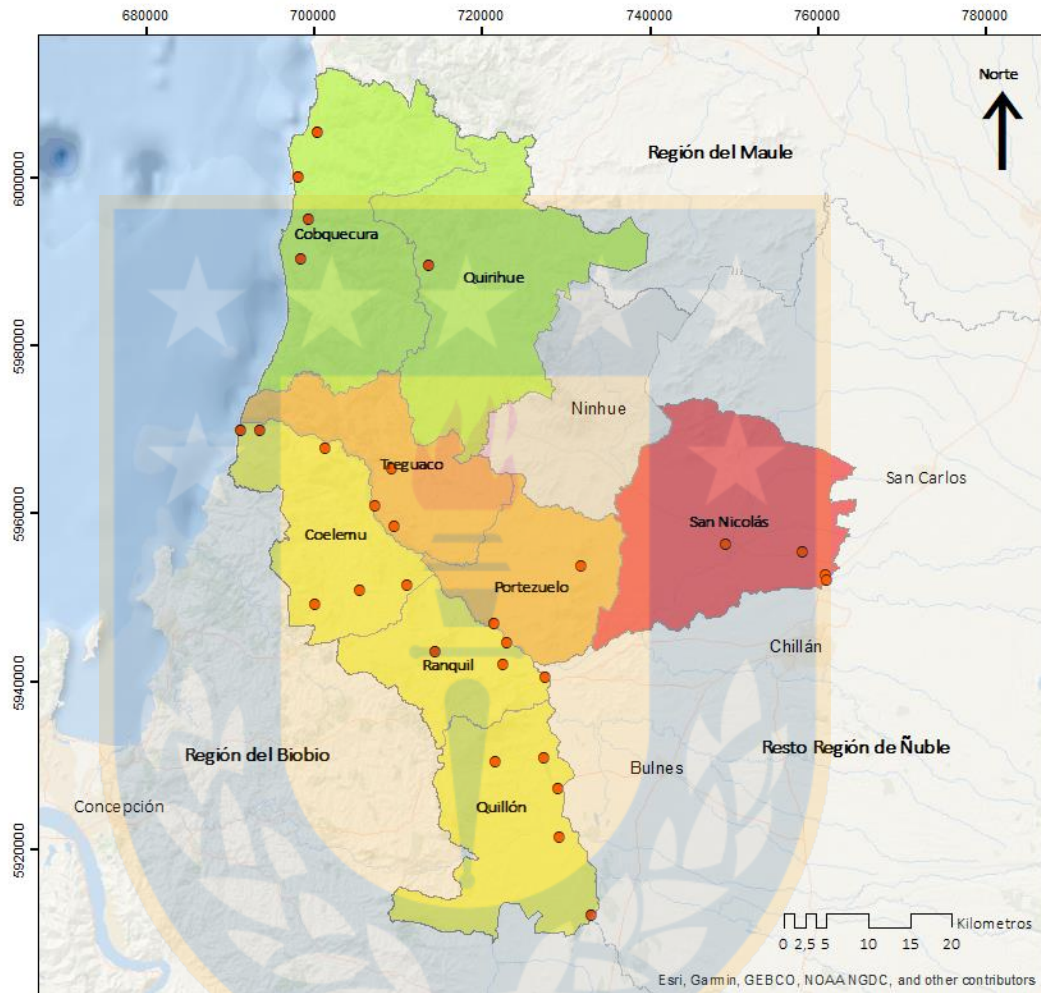
Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,129)	(0,130 – 0,448)	(0,449 – 0,799)	(0,8 – 1)

*Fuente: Elaboración Propia según datos DOH - MOP.*

c) *Indicador de vulnerabilidad por número de arranques*

Como tercer indicador en análisis se tuvo en consideración el número de arranques por APR (1 arranque = 4 beneficiarios. DOH, 2016), para los cuales se obtiene una cartografía de vulnerabilidad cuya espacialización en el territorio muestra una distribución focalizada al centro del mismo, con una categorización severa a extrema para las comunas emplazadas en esa área, ello en atención y como se mencionó a la gran cantidad de arranques (4810 en total) los que, para el caso de esas comunas (Treguaco, Portezuelo y San Nicolás), abastecen sus centros urbanos principales, con una afectación del 55 por ciento del total de arranques en caso de interrupción del suministro y desabastecimiento del recurso. Les sigue la continuidad Coelemu - Ranquil - Quillón la cual muestra un nivel de vulnerabilidad moderado con 3184 arranques en condición de afectación que equivalen al 36,47 por ciento. Ya en el rango de categorización baja de vulnerabilidad por arranques tenemos a las comunas de Cobquecura y Quirihue las que, en su conjunto, contabilizan el 8,43 por ciento del total de arranques para el presente indicador, con una potencial afectación de 2312 personas en caso de interrupción de suministro. Los resultados se muestran en la cartografía correspondiente al mapa 12.

**Mapa 12:** Vulnerabilidad de los APR por comuna según nº de arranques



Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,227)	(0,228 – 0,351)	(0,352 – 0,643)	(0,644 – 1)

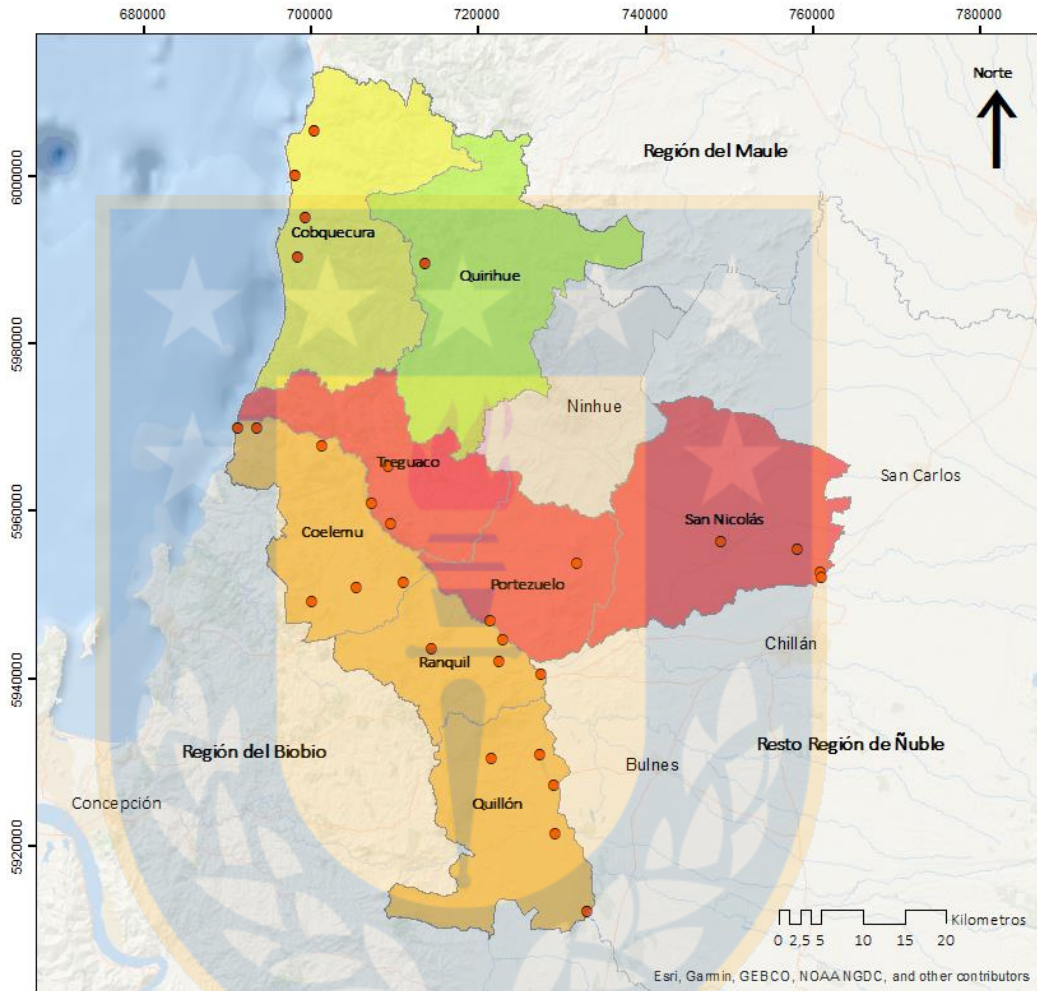
Fuente: Elaboración Propia según datos DOH - MOP.

d) *Categorización final de vulnerabilidad para la variable infraestructura*

Se realizó con el cálculo de pesos establecido en el Anexo 2.3 señala un mayor valor a la Data de construcción (60%), seguido del número de beneficiarios y arranques (20% cada uno) Estos últimos factores se ponderan en igualdad de proporciones dado que los actores relevantes encontraron igualdad de importancia en su ponderación.

Se observa vulnerabilidad extrema para las comunas de la zona central del área en estudio, las cuales coinciden entre si al contar con sistemas cuyas edades promedio tiene entre 40 y 60 años aproximadamente con una alta demanda de población que, como se mencionó precedentemente, se atiende principalmente desde el centro urbano principal de las comunas en análisis, convirtiéndose en el principal sistema de abastecimiento en función de su cobertura. Para el resto de las comunas, se observa una mixtura entre sistemas nuevos y antiguos con una distribución que se constata atiende núcleos poblacionales principalmente de carácter rural de escala pequeña y mediana, que sin embargo afecta de manera severa a cuatro de las nueve comunas en análisis. Dicha transición beneficia a Cobquecura pero más directamente a Quirihue que como ya se menciona consta de un sistema totalmente nuevo y con un bajo número de beneficiarios, por ende sus probabilidades de falla son bajas de la misma manera que lo son sus afectados en caso de darse dicho escenario. Los resultados para la presente variable se muestran en el Mapa 13.

**Mapa 13: Vulnerabilidad ponderada sistemas APR variable infraestructura**



Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,093)	(0,094 – 0,430)	(0,431 – 0,634)	(0,635 – 1)

*Fuente: Elaboración Propia*

### **4.3 Categorización integral de la vulnerabilidad de los sistemas APR**

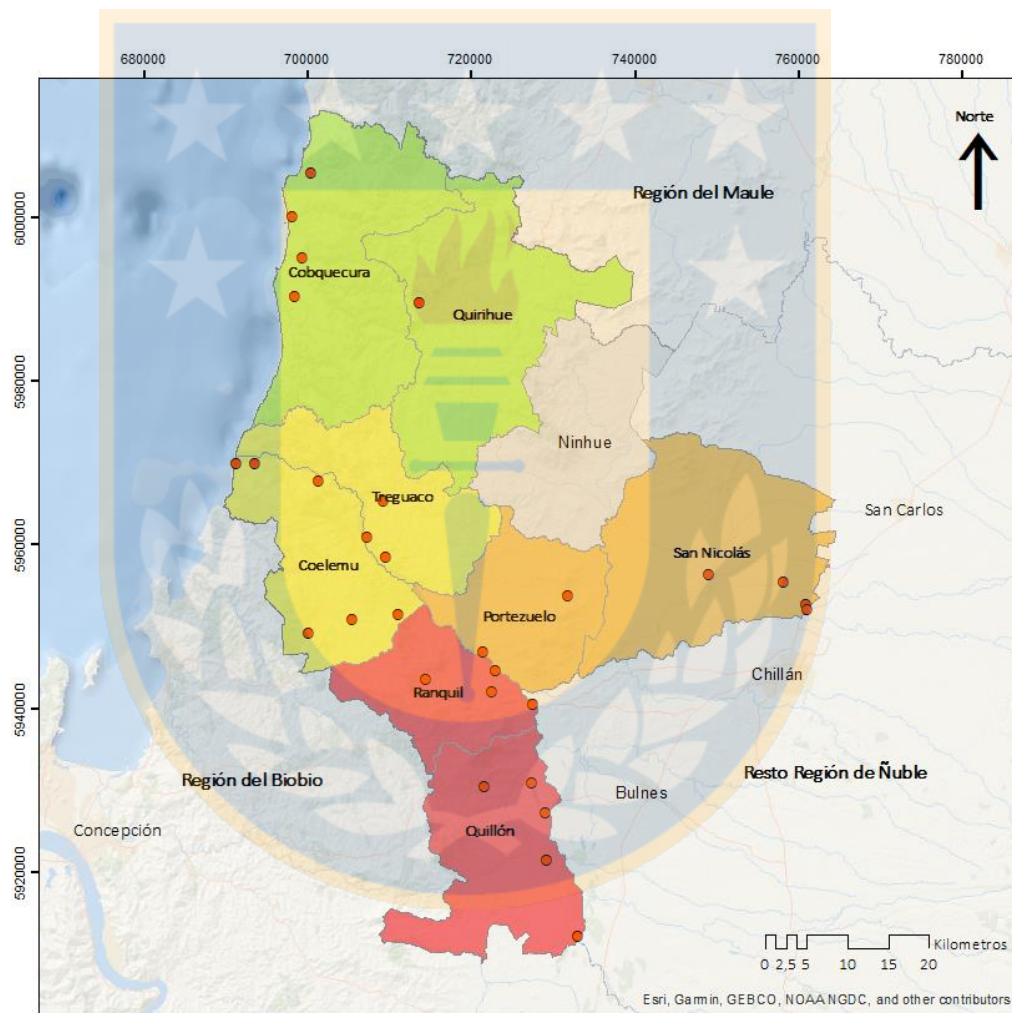
Una vez realizado el análisis de vulnerabilidad en particular para las variables Ambiental, Antrópica e Infraestructura, se establece el desarrollo de un análisis integrado considerando la combinación de las variables generales mencionadas precedentemente, lo que permitirá categorizar la vulnerabilidad en los niveles definidos para conocer el estado de las comunas con APR y la situación del territorio. El cálculo de pesos establecido para los ítems previamente analizados (Anexo 2.4), que en la validación por parte de actores relevantes señala que la variable Ambiental (65%) es la de mayor relevancia para efectos de los resultados a presentar, seguido de la variable infraestructura (28%) y finalizando con la variable Antrópica (7%), las que en su conjunto definen la situación de las comunas.

Teniendo presente la ponderación de factores antes mencionada, se observa una categorización de vulnerabilidad integrada baja a moderada para las comunas de la zona costera y cercana a esta (Cobquecura, Quirihue, Treguaco y Coelemu), que bajo el enfoque actualmente planteado se encuentra relacionado a una menor disminución de precipitaciones y condiciones de degradación de tierras respecto de las otras comunas de la zona en estudio principalmente producto de la influencia del clima costero en las mismas, destacando además la presencia de sistemas APR de edad baja a media, los cuales cuentan con una cobertura a nivel de asentamientos rurales



principalmente de entre 500 y 1000 beneficiarios con un tope de hasta 2000 de estos. El Mapa 14 muestra los resultados correspondientes a lo señalado.

**Mapa 14:** Categorización integral de vulnerabilidad de los sistemas APR a nivel de comunas



Rangos del indicador			
Bajo	Moderado	Severo	Extremo
(0 – 0,384)	(0,385 – 0,468)	(0,469 – 0,601)	(0,602 – 1)

Fuente: Elaboración Propia

Como contraparte, para las comunas interiores se observan rangos severos a extremos de vulnerabilidad, dentro de cuyo rango se clasifican las comunas de San Nicolás, Portezuelo, Ránquil y Quillón. La categorización final es mayoritariamente coincidente con los mapas de la variable infraestructura y de la variable ambiental. Ello se explica que en atención a que, para la variable Ambiental, se pondera de manera más alta elementos tales como la disminución de precipitaciones con rangos de entre 150 y 200 mm, sumado a un aumento de temperaturas cercana y superior a los 2 grados en época estival. Por la parte infraestructura, se observa una alta afectación de población en caso de falla principalmente por su cobertura en la zona urbana con una alta población, atendiendo la antigüedad media a alta de sus sistemas de APR que oscila entre los 20 y 40 años, lo cual pone en situación de vulnerabilidad al 62,75% de los beneficiarios totales de la zona de rezago, equivalente a 17.003 personas las que, al extrapolarlas a la población total del área de estudio, corresponde al 20,50 por ciento de esta.

## 5. DISCUSIÓN

La adaptación y la planificación de medidas, se basan en el conocimiento de los “impactos” y “vulnerabilidades” esperables en un territorio (Proyecto Klimatek, 2016). Desde esa perspectiva, categorizar la vulnerabilidad de las comunas que integran la zona de rezago de la región de Ñuble desde un enfoque multifactorial centrado en los proyectos de APR presentes en el territorio supone realizar un análisis pormenorizado de las variables que intervienen en dicha clasificación, en donde la actuación por separado y en conjunto de los indicadores a considerar en el análisis tiene una clara influencia sobre los resultados finales obtenidos, respecto de los cuales el aporte de los Sistemas de Información Geográfica resulta clave, ya que adquieren un papel preponderante en la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de la información espacial existente (Gonzalez-Ramirez & Bejarano-Salazar, 2019) como herramientas que facilitan enormemente el pre y post proceso de la información espacial. Esta situación se verifica para el presente estudio a través de la obtención de cartografías a nivel de los indicadores y variables precedentemente expuestos, las cuales permiten presentar los resultados obtenidos de una manera clara y consistente en los cuatro niveles de vulnerabilidad propuestos, con referencia a índices particulares que permiten asignar valores particulares por comuna en conformidad con la metodología utilizada.

A partir de la consideración de elementos de tipo ambiental, antrópico y de infraestructura para las comunas donde existen sistemas de APR para el presente estudio, se denota una alta influencia del primero y el último de estos sobre la categorización de vulnerabilidad de estas. En este contexto, cabe preguntarse respecto de las transformaciones que han surgido en el territorio y como estos procesos tienen directa influencia en la composición del tejido urbano y rural en el cual se emplazan los sistemas APR y en las comunidades que se nutren de estos. (Esteves & Miranda Gassul, 2019) señalan que la existencia de asentamientos agrupados implica la revisión en las políticas que el Estado lleva adelante en dichos sectores puesto que surgen nuevas actividades que derivan de la combinación de factores ecológicos, sociales y económicos. Conocer estas transformaciones permitirá tener una imagen más clara de los escenarios comunales y regionales y de sus potenciales riesgos y vulnerabilidades a nivel de ecosistemas, sectores productivos, población y cambio en las coberturas vegetales, por nombrar algunos, los cuales serán la base para el desarrollo de herramienta que permitan la formulación de planes de mitigación y adaptación del cambio climático (Oviedo Torres, 2010), los que sin duda serán fundamentales para un manejo consciente del recurso hídrico a nivel de comunas y un mejor desarrollo de proyectos desde las municipalidades y los gobiernos regionales. Parte de estos planes de mitigación es fácilmente observable hoy en la entrega de agua potable a comunidades que se realiza a través de camiones aljibes desde los municipios, los cuales han venido a solventar la deficiencia

hídrica de los pozos de abastecimiento de agua potable a nivel particular y colectivo, en lo que viene a ser una consecuencia directa del proceso de sequía prolongada que afecta al país y que pone de manifiesto el traspaso de los límites entre proyectos e iniciativas, en una invitación a trabajar de forma coordinada en pos de la entrega de una solución integral a las comunidades afectadas por este problema.

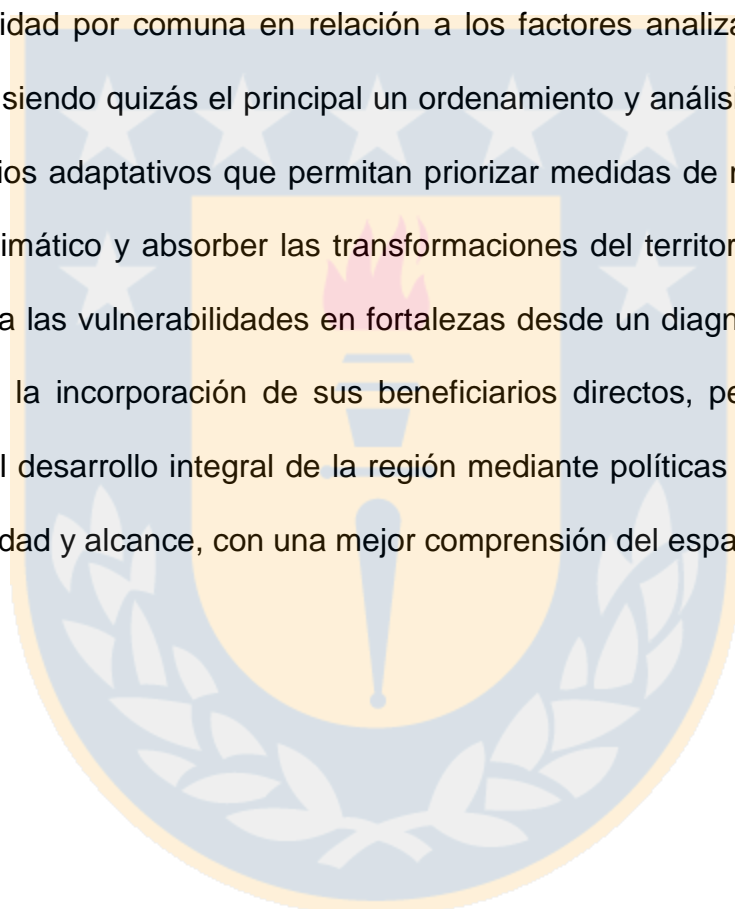
Así, y reconociendo la importancia del proceso de implementación de los APR en la accesibilidad al recurso hídrico por parte de la población, queda en el tapete la necesidad de una nueva aproximación más acorde a los desafíos de los tiempos actuales, que condense de manera integral los requerimientos inicialmente considerados, agregando además otros de tipo cultural e histórico que permitan el desarrollo de sistemas más resilientes en el tiempo que aseguren un óptimo abastecimiento de la población que surten. El BID (2020) plantea que los tomadores de decisiones generalmente se encuentran con la dificultad e imposibilidad de encontrar un solo escenario que describa óptimamente las condiciones futuras de los sistemas, dada la complejidad que se genera al tratar de cuantificar o acordar condiciones futuras regionales que son cambiantes e inciertas, situación que es validada en el presente estudio, donde la interacción entre diversos indicadores y variables permite graficar parcialmente lo que sucede a nivel de comunas con los proyectos de APR en la zona de rezago, ello en consideración a que las variables escogidas si bien permiten representar territorialmente el problema estudiado podrían hacerlo en mayor profundidad

según se dispusiese de una mayor cantidad de elementos a cuantificar, los cuales podrían arrojar más precisión respecto del presente tema en análisis o de otros que pudiesen ser relevantes para efectos de la formulación de proyectos de interés público. A ello se suma el problema de los datos y su disponibilidad, los cuales muchas veces son celosamente resguardados por las entidades que realizan estudios no contribuyendo a su difusión y a una mejora en el conocimiento de nuestro espacio geográfico. (Pire Cordero, 2010) señala que es pertinente apoyar el desarrollo y expansión de las bases de datos bibliográficas que den visibilidad al conocimiento, siendo indispensable el aprovechamiento de los medios electrónicos de comunicación para la difusión de la ciencia y la investigación, situación que no siempre se verifica al momento de plantearse frente a un estudio y que muchas veces lleva a trabajar con los datos disponibles y no con aquellos que sean los más precisos para tal efecto.

En otro ámbito de consideración, corresponde también hacer mención a nivel gubernamental respecto de la excesiva especialización o sectorización de la gestión pública no proporciona respuestas a condiciones estructurales o complejas de las sociedades y limita la forma de enfrentar de manera integral los problemas latentes (CEPAL, 2014). Se requiere por ende de la incorporación de un mayor número de enfoques y variables permitirá desarrollar una mejor planificación del territorio, generando una presión equilibrada sobre los factores que inciden en la realidad de las comunas, mediante la aplicación de estrategias de desarrollo integral que contribuirán a disminuir los desequilibrios que atentan

contra el crecimiento de las mismas, incorporando elementos de sustentabilidad que colaborarán a la mitigación de factores adversos y que generará una situación base desde la cual poder pensar la intervención a futuro del territorio.

De esta forma, los desafíos a tener en consideración para disminuir la vulnerabilidad por comuna en relación a los factores analizados sin duda son variados, siendo quizás el principal un ordenamiento y análisis del espacio rural con criterios adaptativos que permitan priorizar medidas de mitigación frente al cambio climático y absorber las transformaciones del territorio, convirtiendo de esta forma las vulnerabilidades en fortalezas desde un diagnóstico correcto del lugar con la incorporación de sus beneficiarios directos, permitiendo de esta manera el desarrollo integral de la región mediante políticas públicas de mayor potencialidad y alcance, con una mejor comprensión del espacio urbano y rural.



## 6. CONCLUSIONES

La aplicación de herramientas de análisis geográfico en la determinación de la vulnerabilidad de los APR a nivel de las comunas que componen la zona de rezago Valle del Itata viene en poner de manifiesto las desigualdades y similitudes que componen este territorio. Por un lado, desde la denominación completa de esta área geográfica como zona con brechas de desarrollo, el presente estudio viene en corroborar, más allá de los resultados, la situación crítica que afecta a las comunas, lo cual pone en afectación directa de suministro a más del 50 por ciento de la población beneficiaria. Dentro de los factores que se consideran más relevantes para lo señalado y respondiendo a la pregunta de investigación, se tiene que claramente la variable ambiental y sus indicadores asociados son el elemento más relevante que incide en la categorización realizada en el presente estudio, lo cual relega a un segundo lugar la situación de infraestructura de los APR que se presumía como el principal factor a considerar en la vulnerabilidad de las comunas. Respecto de la influencia de la variable antrópica en el resultado final, esta se considera despreciable dada su baja valorización en la priorización de los criterios. De lo anterior se desprende que la valorización dada por profesionales clave resulta fundamental dentro del proceso de asignación de pesos a las variables, relevando la influencia de elementos como temperatura y precipitación por sobre aquellos relativos a la antigüedad y beneficiarios de los sistemas analizados. Ello no resta validez a



estos otros criterios ni a aquellos de tipo antrópico previamente analizados, sino viene en reflejar una postura asumida por un determinado número de tomadores de decisión, la cual puede variar en el tiempo en función de los intereses asociados y de la mirada que se tenga en particular respecto de los proyectos de agua potable rural en análisis o de otros medibles a través de la metodología expuesta en el presente estudio.

Habiéndose dado respuesta a la pregunta de investigación inicialmente planteada, en virtud de los resultados obtenidos surgen otras inquietudes a las que la presente investigación puede dar respuesta, como por ejemplo cuales son los elementos más relevantes que inciden en la caracterización final obtenida por las comunas en análisis o cuáles son los elementos que diferencian, sobre la base de los resultados, la situación que afecta a las comunas costeras respecto de aquellas emplazadas hacia el interior del territorio. Dado que los índices obtenidos vienen en poner de manifiesto la importancia de la temperatura estival y las precipitaciones como elementos diferenciadores de la vulnerabilidad, claramente el efecto regulador del mar sobre el Valle del Itata y la medianía de edad de los sistemas analizados con menor cobertura de población explican la situación beneficiosa de este grupo de comunas respecto de aquellas hacia el interior más aquejadas de altas temperaturas y disminución de precipitaciones, situación que ante la presencia de otro tipo de indicadores y actores relevantes podría ser perfectamente variable, manteniendo la modalidad de manejo de datos presentada.

Si bien esta investigación viene en aportar un diagnóstico del territorio donde se encuentra la infraestructura de APR propiamente tal, sobre la base de elementos predeterminados seleccionados por actores claves, se hace necesaria la incorporación de un mayor número de variables e indicadores de otras áreas que permitan dotar de una mayor contundencia al análisis. En ese sentido, la disponibilidad de información no desagregada a nivel de entidades locales sino a escala comunal limita los alcances del estudio, requiriéndose un mayor detalle que permita acercar el análisis a una escala más local, permitiendo así una mayor y mejor precisión en los resultados obtenidos. Previo al desarrollo del presente trabajo y de sus resultados expuestos, se tuvieron en consideración una diversidad de indicadores que podrían haber aportado más precisión respecto del mismo, tales como: sequía, desertificación, degradación de tierras, evotranspiración, proyecciones climáticas, pobreza por ingresos, número de fallas de la infraestructura, capacitaciones de los comités por parte de organismos autorizados, entre otros, sin embargo el escaso conocimiento por parte de algunos municipios y la nula disponibilidad de datos llevo a trabajar con las variables e indicadores finalmente empleados, los cuales entregan una aproximación de la vulnerabilidad más allá del sistema propiamente tal como infraestructura puntual si no respecto de su situación en el territorio en el cual este se asienta. Así, es probable que los indicadores no sean del todo representativos o su diferencia sea reducida entre comunas como sucede con la temperatura promedio invernal, lo cual lleva a determinar que probablemente

este indicador en particular no sea el más adecuado para la categorización realizada, sin embargo, ante la escasez de datos el autor tomo la decisión de validarlo para efectos del presente trabajo. De lo anterior es posible concluir que ante un ejercicio con un nivel superior de detalle se podrá determinar con mayor y mejor precisión la vulnerabilidad en distintos niveles al interior de una misma comuna en particular y del área de estudio en general, permitiendo generar una imagen más acabada de la realidad presente en este espacio geográfico relacionado con los APR u otras entidades relevantes de estudiar.

Otro tema relevante a tener presente tiene relación con la gestión pública que ha de realizarse respecto del agua como elemento vital necesario para el desarrollo de las distintas actividades que el ser humano realiza en el territorio. Actualmente, el suministro del recurso mediante camiones aljibe se ha convertido en una constante del hacer gubernamental, limitando el consumo por usuario y grupo familiar a una cantidad de litros previamente establecida, lo cual muchas veces choca con el resto de las necesidades que una familia en particular tiene, ya que el agua no solo implica el consumo humano propiamente tal si no también el del resto de los elementos que conforman un hogar, dentro de los que se cuentan labores asociadas al aseo, higiene, animales, vegetación, etc. A lo anterior debe sumarse que dicho suministro de emergencia se encuentra particularmente focalizado en el espacio rural de las comunas, lo cual lleva a tener presente las condiciones de conexión territorial para una correcta entrega del recurso. Conocida es la situación de las rutas rurales y de que muchos

accesos se encuentran en predios donde no se dispone de la totalidad de recursos para mejorar estos caminos, lo cual lleva a una entrega parcializada del elemento sujeto a las condiciones de los mismos, limitando la disposición por parte de los grupos familiares del agua para su consumo. Igualmente, la entrega del agua mediante la modalidad señalada también pone de manifiesto muchas veces la incapacidad de recuperar los sistemas de suministro existentes de manera previa, ello dada la postura de muchos usuarios que no quieren perder dicho recurso por temor a que su anterior sistema de abastecimiento vuelva a entrar en situación de falla, lo cual los dejaría nuevamente en una situación de carencia hídrica a sustentar por parte de los planes de gobierno existentes.

Desde el punto de vista general de las comunas y su ordenamiento, se hacen necesarias reformas relevantes que permitan incorporar más antecedentes y actores en la discusión de la planificación de este territorio y sus interrelaciones, buscando brindar mejores condiciones especialmente a los habitantes de las zonas eminentemente rurales, históricamente dejadas de lado en pos del desarrollo urbano de las ciudades y viéndose expuestas a amenazas de sus sistemas naturales, que atentan contra su calidad de vida. Así, se deja de manifiesto la necesidad de un nuevo impulso al desarrollo rural, el cual se vuelve de vital importancia sobre todo en aquellas localidades que se conectan directamente con esta definición como sucede en el Valle del Itata, involucrando aproximaciones que tengan en consideración una diversidad de aspectos no

considerados habitualmente. Lo anterior permitirá desarrollar una concepción integral del territorio rural que sin duda impactará positivamente en su crecimiento posterior. De esta manera, trabajando sobre este espacio se podrá garantizar su proyección en el tiempo y su conservación futura, mediante iniciativas que tengan continuidad con las nuevas políticas que a futuro se desarrollen, validadas por actores relevantes desde la escala local a la general, con una visión acorde a los tiempos y en constante sinergia con el territorio desde el cual estas se originan.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre-Araus, A. (2013). Sistema de información geográfica para la gestión de la bioseguridad en la provincia Holguin. *Ciencia en su PC*, 103-110. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181332462008.pdf>

Alcán Henríquez, M. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento hídrico de la ciudad de Antofagasta*. Santiago: Universidad de Chile.

Altieri, D. (Enero de 2016). *The effects of overpopulation on water resources and water security*. Obtenido de <http://fubini.swarthmore.edu/~ENVS2/dan/Essay4.html>

Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia: Sector Agrícola. *Sostenibilidad, tecnología y humanismo*, 101-126.

Asociación de Municipalidades del Valle del Itata. (s.f.). *Asociación Valle del Itata*. Obtenido de <https://www.asociacionvalleitata.cl>

Avilez Puentes, M. A. (Septiembre de 2020). Identificación y priorización de entidades rurales con factibilidad de acceso al agua potable en la comuna de Coelemu, Región de Ñuble. Concepción, Chile.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Servicios de agua potable y saneamiento resilientes en América Latina y el Caribe*. División de Agua y Saneamiento. VI. Serie .

Barbosa, P., & Weynants, M. (2018). *Vulnerabilidad de las tierras secas a la desertificación, degradación de las tierras e impactos económicos y sociales*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.

Bello Caballero, L., Soto Suarez, M., Muñoz Castillo, M., & Pérez Vilorio, L. (2013). Los SIG como herramienta para optimizar la gestión del reparto Vista Alegre en Santiago de Cuba. *Arquitectura y Urbanismo*, 19-31. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-58982013000300003&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982013000300003&lng=es&tlng=es).

BID. (2002). *Gestión de riesgo de desastres naturales. Sistemas Nacionales para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Estrategias Financieras para la Reconstrucción en Caso de Desastres Naturales* . Washington D.C.: BID.

Blanco, E., & Donoso, G. (2016). Agua potable rural: desafíos para la provisión sustentable del recurso. *Actas de Derecho de Aguas*, 63-79.

Cardona, O. (Septiembre de 2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

Carrasco, C. (2021). *Aplicación de un índice integrado de riesgo a la sequía meteorológica en la cuenca del río Mataquito, Región de Maule*. Concepción: Universidad de Concepción.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (Julio de 2018). Proyecto "Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad". *"Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas"*. Santiago, Región Metropolitana, Chile: Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido de [www.cr2.cl](http://www.cr2.cl)

Centro del Clima y la Resiliencia. (2015). *La megasequía 2010 - 2015: Una lección para el futuro*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. Santiago, Chile: Informe en línea. Obtenido de <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>

CEPAL. (2014). *Metodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina*. Santiago, Chile: Área de Gestión del Desarrollo Local y Regional del Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social .

Chardon, A.-C. (2008). Amenaza, vulnerabilidad y sociedades urbanas una visión desde la dimensión institucional. *Gestión y Ambiente*, vol.11, núm.2, 123-135.

CONAF. (Enero de 2021). *Actualización a escala nacional de los mapas de desertificación, degradación de tierras y sequía (DTTS) de Chile*. CONAF. Santiago: Corporación Nacional Forestal. Obtenido de <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/ENCCR/Nota-Informativa-37.pdf>

Cooperación Suiza para América Central. (2013). *Guía para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento*. Managua: COSUDE.

Cutter 2013 en Sandoval Díaz, J. (2020). Vulnerabilidad-resiliencia ante el proceso de riesgo-desastre: Un análisis desde la ecología política. *Polis (Santiago)*, 214-239. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.32735/s0718-6568/2020-n56-1527>

De La Fuente, J. (2018). PMFarma. *El análisis multicriterio (MCDA) en la toma de decisiones*. Obtenido de <https://www.pmfarma.es/articulos/2341-el-analisis-multicriterio-mcda-en-la-toma-de-decisiones.html>

Decreto Supremo 1116 Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2 de Agosto de 2014). Establece Plan de desarrollo para territorios rezagados. *Diario Oficial*.

Decreto Supremo 1929 Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (26 de Junio de 2015). Agrega comunas a Plan de desarrollo para territorios rezagados. *Diario Oficial*.

Delgado, L., Torrez-Gómez, M., Tironi-Silva, A., & Marín, V. (2015). Estrategia de adaptación local al cambio climático para el acceso equitativo al agua en zonas rurales de Chile. *América Latina hoy*, 69, 113-137.

DOH - MOP. (2015). *Informe final de evaluación infraestructura hidráulica de agua potable rural (APR)*.

Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 409 - 427.

Esteves, M., & Miranda Gassul, V. (2019). Agua y Estado como ejes estructurantes de los procesos de transformación del hábitat rural en el árido de Mendoza (Argentina). *Revista de geografía Norte Grande* (73), 77-92.

Falvey, M., & Garreaud, R. (2009). "Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006)". *Journal of Geophysical Research*, N<sup>o</sup> 114.

Fundación Amulén. (2019). *Pobres de agua. Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto*. Santiago, Chile: Centro UC Derecho y Gestión de Aguas. Centro UC Cambio Global.

Garreaud, R., Boisier, J., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 421-439.

GEO-Safe Ltda., Rhyma Ing. SpA. (2018). *Prospección Geofísica Sector Rural Déficit Hídrico Valle del Itata*. Concepción: DGA - MOP.

Gobierno Regional del Biobío. (15 de Septiembre de 2016). Programa de Gestión territorial para zonas rezagadas. Plan Valle del Itata 2017 - 2019: Iniciativas e inversiones. Concepción, Chile.

Gonzalez-Ramirez, E., & Bejarano-Salazar, E. (2019). Sistemas de Información Geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, vol.2, núm.63, 293-311.



Grajales-quintero, A., Serrano-Moya, E., & Hahn Von-H, C. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, 285-306.

Hurtado, T., & Bruno, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

INE. (2017). *Censo 2017*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Estadísticas .

INFODEP. (2016). *Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050*. Santiago, Chile: Información para el Desarrollo Productivo Ltda.

IPCC . (2014). *Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo*. Ginebra: IPCC.

Ley 21033 Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (5 de Septiembre de 2017). Crea la XVI Región de Ñuble y las provincias de Diguillín, Punilla e Itata. *Diario Oficial*.

Linares, S., Meliéndrez, M., Milía, S., & Rosso, I. (2009). Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) en políticas sociales. Una propuesta orientada a la asignación de recursos. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. (GESIG-UNLU, Luján)*. Año 1, N° 1, Sección I: 62-80.

Maiolo, M., & Pantusa, D. (2018). Infrastructure Vulnerability Index of drinking water systems to terrorist attacks. *Cogent Engineering*, 5:1, 21.

Marcano Montilla, A., & Cartaya Ríos, S. (2010). La Gestión de Riesgos de Desastres y el Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Algunas Consideraciones. *Revista Universitaria Arbitrada de Investigación y Diálogo Académico*, 44-64.

MIDESO. (2017). *Informe Desarrollo Social 2017*. Santiago: Ministerio de Desarrollo Social.

MOP - DGA. (2017). *Actualización del Balance Hídrico Nacional*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile: Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf>

Moreno Jiménez, J. M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. *Revista Electrónica de comunicaciones y trabajos de ASEPUMA*, 28-77.

Norris, F., Stevens, S., Pfefferbaum, B., Wyche, K., & Pfefferbaum, R. (2008). Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster. *Am J Community Psychol*, 41, 127-150. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>

OCDE. (2016). *Estudios de Política Rural en Chile*. Obtenido de [odepa.gob.cl](http://odepa.gob.cl): <https://www.odepa.gob.cl/desarrollo-rural-2>

Ortega-Gaucin, D., Bartolón, J. d., & Castellano Bahena, H. (2018). Drought Vulnerability Indices In Mexico. *Water*, 10(11), 1671, 32.

Oviedo Torres, B. E. (2010). *Generación de escenarios de cambio climático regionales y locales a partir de modelos globales - Guía para tomadores de decisiones*. Bogota: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Santiago, Chile: Cepal - ONU.

Perren, J., & Lamfre, L. (2018). Calidad de vida en tiempos de post - convertibilidad. Una mirada desde la Patagonia (Neuquén, 2001 - 2010). *Boletín de Estudios Geográficos*, 175 - 217.

Pire Cordero, R. (2010). Disponibilidad de bases de datos oficiales como soporte a la investigación. *Compendium*, vol. 13, 65-83.

*Política Nacional de Desarrollo Rural 2014 - 2024*. (s.f.). Obtenido de [odepa.gob.cl](http://odepa.gob.cl): <https://www.odepa.gob.cl/desarrollo-rural-2>

Rodriguez et al. (2018). La reconfiguración del mapa de la pobreza multidimensional en Chile: Un análisis comparativo de las carencias y brechas en los hogares rurales. *Civilizar: Ciencias Sociales y Humanas* 18 (35), 53-72.

Rojas, O., & Martinez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20(1), 83-116.

Saadati, S. (2010). Vulnerability Assessment and Risk Reduction of Water Supply Systems. *World Environmental and Water Resources Congress 2010*, (págs. 4414 - 4426).

Saaty, T. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24, 19-43.

Sainz, R. O., Álvarez, R., & Henriquez, F. (2012). Objetivos Múltiples para la evaluación del desempeño de centros de investigación. Obtenido de <http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archiv>

- Sharafi, L., Zarafshani, K., Keshavarz, M., Azadi, H., & Van Passel, S. (2020). Drought risk assessment: towards drought early warning system and sustainable environment in western Iran. *Ecological Indicators*, 114, 106-276.
- SISS. (2011). *Guía metodológica para la elaboración de planes de emergencia de empresas sanitarias*. Santiago, Chile: SISS. Obtenido de <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue3450.html/>.
- Straka, J., & Tuzová, M. (2016). Factors Affecting Development of Rural Areas in the Czech Republic: A Literature Review. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 496-505.
- SUBDERE. (2012). *Estudio identificación de localidades en condición de aislamiento*. División de políticas y estudios - Departamento de estudios y evaluación.
- SUBDERE. (07 de 04 de 2015). Resolución Exenta 4074. Santiago, Metropolitana, Chile.
- Toskano, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. Facultad de ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- United Nations University. (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. Shibuya-ku, Tokyo: United Nations University Press.
- Valencia et al. (2014). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática*. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- Velázquez, G. (2001). Calidad de vida y fragmentación en la Argentina. La herencia de los noventa. *Revista del CESLA. International Latin American Studies Review*, 2, 162-194.
- Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global*. Bogota, Colombia.
- Yepes Piqueras, V. (18 de Noviembre de 2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. Obtenido de [victoryepes.blogs.upv.es/](http://victoryepes.blogs.upv.es/)

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1

#### Listado de indicadores empleados

Distribución normal de datos línea base 1985 – 2010

COMUNA	Temed (°C)	Dist. Normal Temed	Timed (°C)	Dist. Normal Timed	PPA (mm)	Dist. Normal PPA	Dist. Normal Integrada
Quillón	16	0,027	9,2	0,910	935	0,239	0,412
Quirihue	18,1	0,585	9,1	0,845	965	0,305	0,476
Cobquecura	18,6	0,765	8,7	0,386	957	0,286	0,348
Coelemu	17,3	0,275	8,9	0,642	916	0,201	0,330
Portezuelo	18,6	0,765	8,6	0,268	1036	0,485	0,444
Ranquil	16,8	0,134	9	0,755	979	0,338	0,441
Treguaco	18,2	0,624	8,8	0,514	1278	0,943	0,800
San Nicolás	19	0,871	8,2	0,027	989	0,363	0,304
Media	17,89		8,79		1041,56		
Desviación estándar	0,98		0,31		149,88		

Densidad de Uso rural por comunas

COMUNA	POB TOT COM	POB URB COM	SUP TOT COM	SUP URB COM	DR COM	DN_DR
Quillón	17485	10279	406,52	23,23	18,80	0,860
Quirihue	11594	9432	589,85	11,79	3,74	0,053
Cobquecura	5012	1677	569,21	51,62	6,44	0,129
Coelemu	15995	10297	342,32	22,18	17,80	0,816
Portezuelo	4862	1802	289,24	3,03	10,69	0,355
Ranquil	5755	1580	247,42	8,23	17,45	0,800
Treguaco	5401	1774	313	2,67	11,69	0,423
San Nicolás	11603	2843	565,94	1,01	15,51	0,688
Media					12,765	
Desviación estándar					5,582	

Índice de pobreza multidimensional por comunas

COMUNA	PMD_POB	PMD_PORC	DN_PMD
Quillón	4.337	0,31	0,393
Quirihue	3.623	0,35	0,636
Cobquecura	2.033	0,47	0,974
Coelemu	4.215	0,31	0,393
Portezuelo	1.493	0,35	0,611
Ranquil	1.015	0,24	0,129
Treguaco	1.071	0,24	0,113
San Nicolás	3.310	0,35	0,621
Media		0,327	
Desviación estándar		0,074	

Índice de intensidad de uso de suelo rural por comunas

COMUNA	Superficies según uso						Índice IUSR	DN Índice IUSR
	Agrícola	Ganadería	Forestal	Total Comuna	Total Urbana	Infraestructura		
Quillón	962,50	26,20	12887,36	40652	2323	150,30	0,411	0,149
Quirihue	393	126,1	34959,05	58985	1179	417,15	0,625	0,386
Cobquec.	770,98	101,5	45692,14	56921	5162	388,29	0,924	0,776
Coelemu	1114,8	49,9	34489,74	34232	2218	553,82	1,165	0,946
Portezuelo	339,7	91,7	14143	28924	303	92,92	0,534	0,272
Ranquil	1151,6	3,1	13036,48	24742	823	178,62	0,685	0,468
Treguaco	696,4	123,1	27696,1	31300	267	216,4	0,961	0,813
San Nicolás	295,85	78,6	19069,82	56594	101	96,2	0,355	0,108
Media							0,708	
Desviación estándar							0,285	

Índice de presión humana sobre el territorio por comunas

<b>COMUNA</b>	<b>IPH</b>
Quillón	0,393
Quirihue	0,636
Cobquecura	0,974
Coelemu	0,393
Portezuelo	0,611
Ranquil	0,129
Treguaco	0,113
San Nicolás	0,621
Media	0,499
Desviación estándar	0,136

Distribución normal de datos variable infraestructura por comunas

<b>COMUNA</b>	Data Constr.	DN Data Constr.	Nº Benef.	DNNº Benef.	Nº Arranq	DN Nº Arranq	DN Integr.
Quillón	31,6	0,672	733,4	0,448	237	0,449	0,582
Quirihue	5	0,068	80	0,129	26	0,129	0,093
Cobquecura	25	0,486	558	0,345	180	0,345	0,430
Coelemu	30	0,629	613,3	0,377	198	0,377	0,528
Portezuelo	38,5	0,828	1356,5	0,795	438	0,795	0,815
Ranquil	37	0,799	631	0,387	204	0,388	0,634
Treguaco	34,3	0,739	1366,3	0,799	441	0,799	0,763
San Nicolás	28	0,572	2025	0,968	653	0,968	0,731
Media	25,489		818,17		264,09		
Desviación estándar	13,753		653,15		210,68		

Índice de vulnerabilidad final

<b>COMUNA</b>	Ambiental	Antrópico	Infraestructura	Indicador Integrado
Quillón	0,8308	0,5423	0,582	0,741
Quirihue	0,419	0,3424	0,093	0,322
Cobquecura	0,3466	0,5472	0,43	0,384
Coelemu	0,418	0,694	0,528	0,468
Portezuelo	0,5258	0,4398	0,815	0,601
Ranquil	0,6987	0,4559	0,634	0,664
Treguaco	0,3269	0,3435	0,763	0,450
San Nicolás	0,4426	0,5537	0,731	0,531





## ANEXO 2

### **Elaboración de Matriz Multicriterio mediante proceso de jerarquía analítica**

#### **1) Objetivo:**

Se requiere la valorización de criterios para determinar la vulnerabilidad de los sistemas de Agua Potable Rural (APR), de las comunas que integran la agrupación territorial Valle del Itata (Cobquecura, Coelemu, Treguaco, Quirihue, Portezuelo, Ránquil, San Nicolás y Quillón).

#### **2) Criterios:**

Para efectos de validar el estudio solicitado, se solicita al informante la asignación de pesos para diferentes matrices comparativas entre criterios, lo anterior sobre la base de la siguiente escala de referencia:

<b>Valor</b>	<b>Definición</b>	<b>Comentarios</b>
1	Igual importancia	Ambos criterios comparados son igual de importantes
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el criterio B
5	Importancia alta	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el criterio B
7	Importancia muy alta	El criterio A es mucho más importante que el criterio B

9	Importancia extrema	La importancia del criterio A respecto del criterio B es absoluta
2,4,6,8	Valores intermedios cuando se requiere matizar	

Fuente: Saaty, 1990

### 3) Construcción de las matrices:

Sobre la base de la tabla anterior, para las matrices a continuación se realiza la siguiente consulta: ¿Cuánto supera este criterio al criterio con el cual se está comparando? **Favor completar sólo los espacios en blanco con el valor que usted considere adecuado.**

3.1) Valorización de importancia comparativa para las variables: Temperatura media estival (Temed), Temperatura media invernal (Timed) y Precipitación promedio anual (PPA)

Criterio (A)	Temed	Timed	PPA
Temed	1		
Timed		1	
PPA			1

3.2) Valorización de importancia comparativa para la variable antrópica

Criterio (A)	Densidad población rural	Pobreza multidimensional	Índice Presión Humana
Densidad población rural	1		
Pobreza multidimensional		1	
Índice Presión Humana			1

3.3) Valorización de importancia comparativa para variable infraestructura

Criterio (A)	Data construcción APR	Nº Beneficiarios atendidos	Nº Fallas
Data construcción APR	1		
Nº Beneficiarios atendidos		1	
Nº Arranques			1

3.4) Valorización de importancia comparativa para los variables generales

Criterio (A)	Ambiental	Antrópica	Infraestructura
Ambiental	1		
Antrópica		1	
Infraestructura			1

### ANEXO 3

#### Plantillas Saaty para ponderación de variables e indicadores

2.1 Cálculo y determinación de pesos para la variable ambiental sobre la base de indicadores Temperatura media estival (Temed), invernal (Timed) y Precipitación promedio anual (PPA)

DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)							
	Temed	Timed	PPA	Wi	Ci	LAMDAi	
Temed	1,00	0,20	0,14	0,31	0,07	0,94	
Timed	5	1,00	0,33	1,19	0,28	1,17	
PPA	7	3	1,00	2,76	0,65	0,96	
<b>Pi</b>	<b>13,00</b>	<b>4,20</b>	<b>1,48</b>	<b>4,25</b>		<b>3,06</b>	<b><math>\lambda_{max}</math></b>
				<b>PESOS</b>			
C1	Temed			0,07	<b>C1</b>		
C2	Timed			0,28	<b>C2</b>		
C3	PPA			0,65	<b>C3</b>		
				1,00			
<b>Ci=</b>	0,03244379			$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$			
<b>Rci=</b>	0,66			$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$			
<b>CR=</b>	0,0492	Consistente		$CR = Ci/Rci$			

2.2 Cálculo y determinación de pesos para la variable antrópica sobre la base de indicadores: Densidad Rural, Pobreza Multidimensional y Presión Humana sobre el territorio

DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)							
	Densidad rural	Pobreza Multidimensional	Presión Humana	Wi	Ci	LAMDAi	
Densidad rural	1,00	0,33	0,20	0,40	0,10	0,90	
Pobreza Multidimensional	3	1,00	0,25	0,91	0,23	1,20	
Presión Humana	5	4	1,00	2,71	0,67	0,98	
<b>Pi</b>	<b>9,00</b>	<b>5,33</b>	<b>1,45</b>	<b>4,03</b>		<b>3,08</b>	<b>λmax</b>
				<b>PESOS</b>			
C1	Densidad rural			0,10	<b>C1</b>		
C2	Pobreza Multidimensional			0,23	<b>C2</b>		
C3	Presión Humana			0,67	<b>C3</b>		
				1,00			
Ci=	0,041511514						
Rci=	0,66						
CR=	0,0629	Consistente					

$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$
$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$
$CR = Ci / Rci$

2.3 Cálculo y determinación de pesos para la variable infraestructura, sobre la base de indicadores: Data de construcción, número de beneficiarios y número de arranques.

DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)						
	Data construcción	N° Beneficiarios	N° Arranques	Wi	Ci	LAMDAi
Data construcción	1,00	3,00	3,00	2,08	0,60	1,00
N° Beneficiarios	1/3	1,00	1,00	0,69	0,20	1,00
N° Arranques	1/3	1	1,00	0,69	0,20	1,00
<b>Pi</b>	<b>1,67</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>3,47</b>		<b>3,00</b>
				<b>PESOS</b>		
C1	Data construcción			0,60	<b>C1</b>	
C2	N° Beneficiarios			0,20	<b>C2</b>	
C3	N° Arranques			0,20	<b>C3</b>	
				1,00		
Ci=	0					
Rci=	0,66					
CR=	0,0000	Consistente				

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

$$CR = Ci / Rci$$

2.4 Síntesis final con cálculo de pesos para las variables generales Ambiental, Antrópica e Infraestructura.

DETERMINACIÓN DE PESOS POR EL MÉTODO DE SAATY (EMC)							
	Ambiental	Antrópica	Infraestructura	Wi	Ci	LAMDAi	
Ambiental	1,00	7,00	3,00	2,76	0,65	0,96	
Antrópica	1/7	1,00	0,20	0,31	0,07	0,94	
Infraestructura	1/3	5	1,00	1,19	0,28	1,17	
Pi	1,48	13,00	4,20	4,25		3,06	$\lambda_{max}$
				<b>PESOS</b>			
C1	Ambiental			0,65	<b>C1</b>		
C2	Antrópica			0,07	<b>C2</b>		
C3	Infraestructura			0,28	<b>C3</b>		
				1,00			
Ci=	0,03244379						
Rci=	0,66						
CR=	0,0492	Consistente					

$$Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

$$CR = Ci / Rci$$