



ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RURAL EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO: USO DE INDICADORES DE INTENSIDAD ENERGÉTICA



Habilitación presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

MAXIMILIANO HERNÁN ROJAS YAÑEZ

Profesora Guía: Ph D. Ana Carolina Baeza Freer

Profesora Co-Guía: Dra. Patricia del Carmen González Sánchez

Concepción, Chile

2020

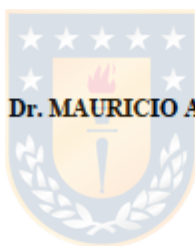


“ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RURAL EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO: USO DE INDICADORES DE INTENSIDAD ENERGÉTICA”

PROFESOR GUÍA: Dra. CAROLINA BAEZA FREER

PROFESOR CO- GUÍA: Dr. PATRICIA GONZÁLEZ SÁNCHEZ

PROFESOR COMISIÓN: Dr. MAURICIO AGUAYO ARIAS



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad: (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima (En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, mayo 2020



100 AÑOS
DE
1934 HICIMOS
RECIBIR
ESPÍRITU

Por el desarrollo libre del espíritu

Casilla 160 C - Correo 3 - Fono (56-41) 204072 - Fax (56-41) 2207076 - Ciudad Universitaria - Concepción - Chile - <http://www.eula.cl>



*Esta tesis de pregrado contó con el apoyo, colaboración y respaldo de la
Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas
de la Región del Biobío*

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.



AGRADECIMIENTOS

Este proceso no hubiese sido posible sin mi familia, Myriam, Patricio y Natalia, quienes me formaron y lo siguen haciendo. A Hiara, mi compañera, guía y contención, presente durante estos 6 años de estudio.

A la profesora Carolina Baeza, por sus sugerencias, motivación y apoyo en mi formación profesional. A Rodrigo Peña por el soporte y asesoría entregada.

A mis amigos, que con su aporte emocional facilitaron esta etapa mediante agradables conversaciones de distensión y estudio.



RESUMEN

El escenario de calentamiento global junto a la escasez hídrica, ha expuesto variadas dificultades a las que se enfrenta el desarrollo humano, en donde surgen con creciente preocupación los conflictos asociados al abastecimiento de agua para consumo humano. Ante lo anterior, los servicios sanitarios se han visto con la necesidad de enfocar sus esfuerzos en mejoras en materia de gestión. No obstante, los esfuerzos a desarrollar son particulares a las necesidades del contexto de cada servicio de abastecimiento agua potable y, es aquí en donde se agrava el problema.

En Chile, la diferencia de desarrollo entre los servicios sanitarios de agua potable ubicados en zonas urbanas y rurales es evidente, mientras en zonas urbanas la cobertura del servicio de agua potable alcanza el 100%, en la ruralidad el 47,2% de los habitantes no tiene abastecimiento regular, referido a la calidad y a la continuidad del servicio, agravado en algunas regiones como la del Biobío, que presenta una cobertura de solo el 32,4%. Los servicios de abastecimiento de agua potable rural, APR, requieren energía para su estabilidad y seguridad, existiendo un vínculo integrado de ambos recursos, conocido como nexo agua – energía. En el marco de este nexo surgen herramientas útiles para apoyar la gestión de los APRs, y una de ellas son los indicadores de desempeño energético. Es así como surge la inquietud de determinar la cantidad de energía (kWh/m³ facturado, kWh/persona/mes, kWh/persona/periodo) utilizada por los APRs de la región del Biobío y si esta energía se encuentra determinada por factores propios del servicio, como el clima, o los patrones de uso.

Este estudio logró una primera aproximación sobre la determinación del desempeño energético de ciertos APRs de la región del Biobío, logrando obtener información del 43% de los APRs construidos por la Dirección de Obras Hidráulicas, dependiente del Ministerio de Obras Públicas. Aquellas APRs que no fueron analizadas en esta investigación señalan la no disponibilidad de la

información requerida, entrega incompleta de los datos o no se pudo contactar con el servicio. En cuanto al desempeño energético de los APRs presentan una amplitud de rango para el gasto energético por volumen facturado mayor a los 8 kWh/m³ facturado, con gastos que van desde los 0,002 hasta los 8,5 kWh/m³ facturado y un promedio de consumo de agua por persona por día de 103 Litros/persona/día, a diferencia de los servicios de abastecimiento urbanos con 344 Litros/persona/día en promedio. Se estimó el aporte de GEI promedio por año de un servicio de abastecimiento rural de la región del Biobío en 15.385 kgCO_{2eq}/año, el cual es cerca de 7 veces menor al aporte promedio por planta de tratamiento de agua potable urbano según lo descrito en literatura.

En relación a la incidencia que tienen los factores sobre el gasto energético en los APRs, con la data obtenida no se observó una relación clara para asegurar que ciertas características hacen a un APR con mejor desempeño energético. Aun así, se destaca la importancia de incorporar estos datos en la gestión de APRs y realizar seguimiento de estos, ya que cuestionándose las tendencias de consumo, es posible trabajar con un enfoque en la operatividad y la eficiencia de los servicios y, así avanzar en calidad, continuidad y sustentabilidad de los servicios existentes y futuros, mejorando la calidad de vida de cientos de personas.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	ivv
INDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE ANEXOS	x
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Nexo agua – energía	2
1.2. Gasto energético y aporte a emisiones de gases de efecto invernadero de los servicios de abastecimiento de agua potable	3
1.2.1. Consumo energético en el agua potable.....	6
1.2.2. Contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero proveniente del gasto energético en la industria sanitaria	9
1.3. Agua potable en Chile	11
1.4. Agua Potable rural en Chile	13
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos	18
4. METODOLOGIA	19
4.1. Área de estudio	19
4.2. Levantamiento de información	21
4.3. Cuantificación de gasto energético y emisión de gases de efecto invernadero	25
4.3.1. Estimación de indicadores basado en el uso de la energía	28
4.3.2. Estimación de gases de efecto invernadero.....	29
4.4. Categorización del desempeño energético de los APR	31
4.5. Análisis de los indicadores estimados	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1. Levantamiento de información y elaboración de bases de datos	33

5.2. Desempeño energético y de emisión de GEI en los APRs estudiados	37
5.2.1. Estimación del gasto energético por volúmenes facturados (kWh/m ³) de cada APR.....	37
5.2.2. Gasto energético de los APRs basados en el consumo de agua por habitante en el periodo estudiado.....	51
5.3. Gases de efecto invernadero aportados por el gasto energético al producir agua potable en los APRs estudiados	62
5.4. Análisis de los indicadores de consumo de energía y su relación con factores que inciden en la cantidad de energía que se le incorpora a los servicios de abastecimiento de agua potable	68
5.4.1. Relación de indicadores de desempeño energético y factores topográficos	68
5.4.2. Relación de indicadores de desempeño energético y factores climáticos....	75
5.4.3. Relación de indicadores de desempeño energético y factor de patrones de uso – variable número de arranques	78
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
7. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE	84
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
9. ANEXOS	93
Anexo 1. Guion para realizar llamados a APR y asegurar la equidad y completa entrega de la información.	93
Anexo 2. Documento tipo de la forma en que se solicitaba la información requerida a los APR.	94
Anexo 3. Datos de APRs con los cuales se realizó cálculo del promedio de pérdida (según formulas indicadas en sección 4.3).	95
Anexo 4. Suma de gastos energéticos para APRs que reciben el servicio eléctrico de dos empresas diferentes.	96
Anexo 5. Indicadores, Valores normalizados y Categorización para los indicadores de desempeño energético: kWh/m³ facturado, kWh/persona/enero-octubre 2019 y kWh/persona/mes (según metodología descrita en secciones 4.3 y 4.4).	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de energía por persona para la provisión de agua por año en relación al uso total de agua por persona al día.....	9
Figura 2. Porcentaje de aporte de emisiones de gases de efecto invernadero según el combustible utilizado para la generación de energía durante el 2018.....	11
Figura 3. Cobertura de APR en Chile por región.....	16
Figura 4. Área de estudio, Región del Biobío.....	20
Figura 5. Ubicación geográfica de APRs construidos por la DOH vigentes a Octubre de 2019.....	21
Figura 6. APR visitados. (1) “Villa Juan Riquelme” (sala de desinfección) – (2) “Caleta Chome” (captación y sala de desinfección) – (3) “Canteras - El Hualle” (estanque de almacenamiento) – (4) “Chillancito de Cabrero” (estanque, sala de desinfección y filtro) – (5) “El Olivo” (filtro, sala de desinfección y estanque de almacenamiento) – (6) “Charrúa” (estanque de almacenamiento).....	24
Figura 7. Ubicación geográfica de los APR que proporcionaron información en este estudio.....	35
Figura 8. Promedio mensual del gasto energético por metro cubico facturado (kwh/m ³ facturado) en el periodo enero 2019 – octubre 2019 de los APR. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el período estudiado.....	38
Figura 9. Gasto energético mensual (kWh) por m ³ facturado en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Rios y Cayucupil.....	39
Figura 10. Volumen facturado (m ³) en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Rios y Cayucupil.....	40
Figura 11. Consumo energético (kWh) en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Rios y Cayucupil.....	41
Figura 12. Categorización según desempeño kWh/m ³ facturado por APR.....	42
Figura 13. Ubicación geográfica de los seis APR con menor indicador del uso de la energía por volumen facturado (kWh/m ³ facturado).....	44
Figura 14. Ubicación geográfica de los seis APR con menor indicador del uso de la energía por volumen facturado (kWh/m ³ facturado).....	46
Figura 15. Promedio mensual del gasto energético por metro cubico producido (kwh/m ³ producido) en el periodo enero 2019 – octubre 2019 de los APRs. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el período estudiado.....	49
Figura 16. Volumen y energía perdidos provocados por las pérdidas de agua para el APR “San Antonio – Temuco Chico – La Araucana”.....	51

Figura 17. Consumo de agua diario por persona. Estimación realizada a partir de los promedios mensuales de consumo de cada APR y con 30 días de referencia por mes.	53
Figura 18. Gasto energético acumulado por persona durante el período enero – octubre 2019. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información para dos y un mes respectivamente.	56
Figura 19. Categorización de gasto acumulado por persona durante el periodo en estudio (kWh/persona/enero – octubre 2019) según APR. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información para dos y un mes respectivamente. ..	58
Figura 20. Promedio mensual del gasto energético por persona (kWh/persona/mes) en el periodo enero 2019 – octubre 2019. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el período estudiado.	60
Figura 21. Consumo energético mensual por persona (kWh/persona/mes) de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) Las Delicias, Tirúa, Villa Las Rosas – Villa Peluca y Villa Los Ríos.	61
Figura 22. Categorización de desempeño de gasto energético por persona mensualmente (kWh/persona/mes) según APR.	62
Figura 23. Aporte de emisiones de GEI acumuladas por APR entre enero 2019 – octubre 2019. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información de gasto energético para dos y un mes respectivamente.	64
Figura 24. Aporte de emisiones de GEI acumuladas por persona entre enero 2019 – octubre 2019 según APR. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información de gasto energético para dos y un mes respectivamente.....	65
Figura 25. Relación Gasto energético por volumen facturado – Grado de pendiente...70	
Figura 26. Relación entre Longitud de distribución y Gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico”, ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados.....	72
Figura 27. Relación entre Longitud de Conducción y Gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico”, ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados.....	75
Figura 28. Relación Gasto energético por volumen facturado – Zona climática. Capa climática obtenida desde IDE con clasificación según Koppen.	76
Figura 29. Relación Gasto energético por volumen facturado – Precipitaciones estimadas totales por año.....	78
Figura 30. Relación entre número de arranques y gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico” ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados. A: Cuadrante superior izquierdo; B: Cuadrante superior derecho; C: Cuadrante inferior izquierdo; D: Cuadrante inferior derecho.	80
Figura 31. Objetivos para el Desarrollo Sustentable, “ODS”.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores que influyen en el uso de energía para el suministro de agua.	5
Tabla 2. Variables de operación de los APRs recolectados.	22
Tabla 3. Volúmenes mensuales facturados y cálculo de los producidos del APR “Agua y Sol”.	26
Tabla 4. Adaptación de consumo energético mensual para APR “Talcamavida”.	27
Tabla 5. Adaptación de consumo energético mensual para APR “Talcamavida”. (continuación)	27
Tabla 6. APR que proporcionaron información en este estudio.	33
Tabla 7. APR que proporcionaron información en este estudio (continuación).	34
Tabla 8. Gastos energéticos en servicios de abastecimiento urbano de agua potable.	47
Tabla 9. Cantidad de energía perdida por APR entre enero 2019 y octubre 2019 en 17 APR con datos de volumen facturado y producido.....	50
Tabla 10. Consumo de agua por persona al día en diferentes ciudades del mundo.....	54
Tabla 11. Potencial impacto debido a efectos del cambio climático.....	67
Tabla 12. Longitud lineal de distribución por APR. Esta longitud no presenta las variaciones de altura a las que se enfrenta el transporte de agua.	71
Tabla 13. Longitud lineal de conducción por APR. Esta longitud no presenta las variaciones de altura a las que se enfrenta el transporte de agua.	73
Tabla 14. Número de arranques abastecidos por APR.	79

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Guion para realizar llamados a APR y asegurar la equidad y completa entrega de la información.....	93
Anexo 2.Documento tipo de la forma en que se solicitaba la información requerida a los APR.....	94
Anexo 3. APRs, sus datos y formulas con las cuales se realizó cálculo del promedio de pérdidas.	95
Anexo 4. Suma de gastos energéticos para APRs que reciben el servicio eléctrico de dos empresas diferentes.	96
Anexo 5. Indicadores, Valores normalizados y Categorización para los indicadores de desempeño energético: kWh/m ³ facturado, kWh/persona/enero-octubre 2019 y kWh/persona/mes.	97

1. ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, el recurso hídrico ha sido percibido como parte integral de la vida, la economía y la estructura social, llegando a destacarse la relevancia en el desarrollo de todos los países. (Lundin M, Morrison GM, 2002; Stokes JR, Horvath A, 2009; Banco Mundial, 2019). No obstante, el escenario de la oferta hídrico actual dista de las necesidades que se requieren cubrir, ya que situaciones como el crecimiento poblacional, la urbanización, el cambio climático, junto con el aumento de la demanda de agua para la industria y la agricultura, tienen impactos en la disponibilidad y el acceso al agua, proyectando un aumento en la escasez de agua y el estrés hídrico. (Schaum C. et al., 2015). Mundialmente, aún existen 2200 millones de personas que no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura (Banco Mundial, 2019), y hay proyecciones preocupantes que plantean que un 75% de la población mundial puede tener falta de agua dulce disponible al 2050 (Hightower M, Pierce SA, 2008). Diversos estudios han evidenciado la problemática hídrica mundial, exponiendo por ejemplo ciudades como Beijing, Londres y Los Ángeles, que a pesar de presentar diferentes estados de desarrollo y ubicaciones geográficas, tienen en común que la demanda local de agua potable supera con creces la disponibilidad local. (Schaum C. et al., 2015). Frente a esta realidad resulta evidente que se requieren mayores y mejores esfuerzos para satisfacer la demanda, garantizar el cumplimiento legal y mitigar los efectos del cambio climático y tales adaptaciones a su vez, tendrán efectos económicos, ambientales y sociales (Dai et al., 2018). Ante esto, surge como estrategia beneficiosa para el bienestar humano y la sostenibilidad ambiental para las generaciones actuales y futuras un nuevo paradigma de los recursos (Rothausen S. & Conway D., 2011) que considera e identifica las interacciones entre los sectores clave y su mejora conjunta. Es así, como en la última década estudios se han preocupado de los

vínculos entre los recursos escasos y claro ejemplo de ellos son los sectores del agua y la energía.

1.1. Nexos agua – energía

El concepto “nexo agua –energía” estudia la interdependencia entre el agua, la energía y sus implicancias. *Conway D. et al. (2015)* y *Wakeel M. et al. (2016)* indican que la energía y el agua son dos recursos naturales, fundamentales y estrechamente relacionados entre sí que desempeñan funciones importantes en la seguridad nacional y la economía. Ante lo anterior, es esencial que se desarrolle una mejor comprensión de los perfiles de uso de energía, las tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero y se vuelva a evaluar las operaciones que requieren un uso intensivo de energía (*Ananda J., 2018*), aunque a pesar que en el pasado y en el presente, las políticas de ambos recursos se presentaron por separado, existe un claro reconocimiento de la necesidad de su integración (*Ewing B. et al., 2012*). Esta integración es el “Nexo Agua-Energía”, articulado originalmente por *Gleick PH. (1994)* se define como el marco conceptual para analizar y gestionar las interdependencias e interconexiones entre los procesos de gestión y uso de agua y energía y, actualmente recibe una atención creciente debido a las preocupaciones con respecto al agua utilizada en la producción de energía y la energía utilizada en el sector del agua. (*Feng K. et al., 2014*).

Implementar el nexo de la energía y el agua puede ayudar a minimizar el consumo de energía, agua y reducir las emisiones ambientales asociadas a los gases de efecto invernadero (*Wakeel M. et al., 2016*) convirtiéndose en una oportunidad importante para la solución de problemas técnicos, políticos, de planificación estratégica y direcciones político-administrativas. (*Mo W, et al., 2014; Siddiqi A, Diaz L, 2011; Weitz N. et al., 2017*). Ejemplo de esto es el trabajo que realizan los gobiernos de US, China, España y Australia, los cuales realizaron esfuerzos formales para estudiar el grado de acoplamiento entre la energía y el

agua, con la creación de equipos gubernamentales para la formulación de programas de I + D para abordar el nexo; estudios patrocinados por instituciones público – privadas para estimar el consumo de energía para el tratamiento del agua urbana y la desalinización del agua de mar, el papel que las nuevas tecnologías y políticas pueden desempeñar para reducir el consumo de energía; o programas universitarios centrados en identificar los vínculos entre las políticas climáticas, energéticas y de agua, cómo evitar los impactos negativos y soluciones que sean eficientes en términos de energía y agua, todo esto con el fin de minimizar el consumo energético, las emisiones ambientales, y así aportar a un sistema rentable, de consumo y al desarrollo sustentable. (*Siddiqi A, Diaz L, 2011*).

1.2. Gasto energético y aporte a emisiones de gases de efecto invernadero de los servicios de abastecimiento de agua potable

El suministro de agua potable solo se puede asegurar considerando eficientemente las herramientas de gestión y tecnológicas enfocadas en calidad, cantidad y acceso, e identificando los impactos en el medio ambiente de los procesos de extracción de agua, operación y distribución. El escenario actual de escasez hídrica y con él la explotación excesiva de los recursos hídricos existentes, la reducción del nivel de las aguas subterráneas, el transporte de agua intensivo a lo largo de muchos metros de tuberías y la extracción de agua de pozos cada vez más profundos, podría incrementar el consumo de energía y es en este punto donde uno puede identificar la estrecha relación entre el suministro de agua y la cantidad de energía a utilizar. (*Schaum C. et al., 2015*). El uso de energía genera diferentes impactos negativos dependiendo de la fuente de generación eléctrica, según la matriz energética estos efectos incluyen un aporte en el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, relevante a considerar en las políticas de mitigación del cambio climático y asociado a los impactos ambientales que afectan los ecosistemas locales y el clima global.

(Lane JL et al., 2015). En lugares con aumento en la escasez de agua, fuentes alternativas del recurso están siendo consideradas o utilizadas para satisfacer la creciente demanda de agua y/o para hacer frente a la sequía (Hussey K. and Pittock J., 2012), siendo la mayoría de estas fuentes alternativas de suministro más intensivas en energía que las opciones tradicionales. (Stokes J. and Horvath A., 2006). Estudios australianos indican que una planta de tratamiento para agua de mar (fuente alternativa, con proceso de osmosis inversa) utiliza en promedio, 40 veces lo que requiere una planta con tratamiento convencional (con procesos de sedimentación, coagulación, floculación, filtración (en presión, rápidos), desinfección con UV) (Cammerman, 2009, Wakeel, 2016).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, cobra trascendencia la cuantificación de energía asociada a la provisión de agua potable, definido como “energía incorporada” y que corresponde a la energía necesaria directa o indirecta para producir una unidad de volumen de agua tratada (Mo W et al., 2011; Santana M et al., 2017). Esta energía incorporada y el aumento de su uso puede verse exacerbado aún más por diferentes factores, como el crecimiento de la población, el cambio climático y la implementación de requisitos reglamentarios más restrictivos para mejorar la calidad del agua (Vieira AS et al., 2014); resultando relevante considerar aquellos factores que inciden en la cantidad de energía que se incorpora a los servicios de abastecimiento de agua potable. Estos factores podrían determinar la viabilidad en la producción de agua potable y su distribución, ya que es desde el proceso de captación del recurso que puede verse influenciado el consumo energético. Ejemplo de ello son las características que presenta el servicio en su captación, donde puede variar si la fuente es superficial o subterránea, la profundidad del pozo, la pendiente del terreno, la distancia o la eficiencia en bombas y motores; la etapa de tratamiento, con factores relacionados a las características estructurales y/o tecnológicas utilizadas en la transformación del agua cruda a agua potable; y finalmente, la distribución del agua potable, que presenta un rango de gasto energético

influenciado por la distancia a los destinos, el diseño de la red de distribución, la topografía, los canales de distribución o por la demanda de agua requerida por las personas. Todos estos factores son clasificados por *Lam et al. (2017)* en cuatro clases principales como señala la **Tabla 1**, exponiendo la variabilidad relativa al consumo energético en los diferentes servicios de abastecimiento. *Mo W. et al. (2016)* destacan la influencia que tienen algunos factores en la cantidad de energía utilizada, acentuando al calentamiento global debido a la probabilidad de su impacto a través de efectos combinados sobre la calidad y disponibilidad del agua, la infraestructura de servicio y las demandas de los usuarios, desafiando la gestión sostenible de los recursos de agua y energía.

Tabla 1. Factores que influyen en el uso de energía para el suministro de agua.

Clima	Topografía
Precipitación Temperatura Comportamiento climático	Distancia a la fuente Potencia de bombeo de agua cruda Tipo de fuente Cambio de elevación de la fuente Cambio de elevación de la distribución Longitud de distribución
Eficiencia operacional	Patrones de uso
Condición del sistema Eficiencia de bombeo Presión de distribución Regla operacional del sistema Sistema de gestión de energía	Población servida Área de servicio Demanda de agua Pérdidas de agua

Fuente: Lam et al., 2017.

Debido a que el sector sanitario es responsable de usar gran cantidad de energía (*Yonkin M et al., 2008; Howells M, Rogner HH, 2014*), los distintos servicios de abastecimiento y el uso de sus aguas enfrentan desafíos para lograr la eficiencia energética, además, de la disponibilidad y calidad del agua. (*Santana M et al., 2017*). El objetivo de los servicios de abastecimiento de agua es garantizar la seguridad del suministro, pero también reducir los costos de consumo de energía y los impactos ambientales asociados con la operación, es decir, buscar sistemas de suministro sostenibles; es por esto que surgen como opción distintas

herramientas que aportan al monitoreo de sistemas, la hidroinformática, el análisis de datos, la simulación, la optimización, que son aspectos clave que pueden desempeñar un papel importante en la eficiencia del sistema y apoyar la decisión en marcos integrados de agua y energía. Es un hecho que estas técnicas son aspectos importantes a considerar en la mejora de la gestión de sistemas de agua, lo que permite crear simulaciones hidráulicas y evaluar redes de distribución con respecto al diseño, la viabilidad de la infraestructura, la disponibilidad de agua y los patrones de demanda. (*Farina et al., 2016*).

1.2.1. Consumo energético en el agua potable

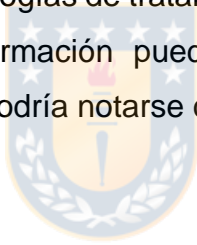
Frente a la importancia del gasto energético en los servicios de agua potable, han surgido diversas publicaciones relacionadas con este gasto, indicando:

- *Amores M. et al. (2013)* y *Lundie S. et al. (2004)* señalan que, la etapa de tratamiento es responsable del 17-30% del total de energía incorporada, convirtiendo a la distribución en el gran contribuidor con un gasto de 70-83% de la energía utilizada.
- *Cook S. et al. (2012)* prevé que, la demanda de energía relacionada con el agua en las ciudades de Australia aumente en un 200-250% de los niveles de 2007 para 2030.
- *IEA (International Energy Agency), (2016)* indica que, el consumo de energía del sector del agua en todo el mundo se contabilizó en 2014, principalmente en forma de electricidad, correspondiendo aproximadamente al 4% del consumo mundial total de electricidad, en donde el suministro y la distribución de agua representan la mayor parte del consumo de energía en el sector.
- *Chen PC. et al. (2018)* señala que, aproximadamente el 7% de la energía producida en todo el mundo, es usada en el ciclo antropogénico del agua, el cual incluye el aprovisionamiento de agua potable y el tratamiento de aguas residuales.

- El consumo de electricidad asociado a los sistemas de bombeo representa la mayor parte del consumo de energía en todo el sector del agua, pudiendo alcanzar hasta el 90% (*IEA, 2016; Lam KL et al., 2017; Grundfos, 2004*).
- *Aguas de Portugal, (2016)* indica que, en Portugal, cerca del 59% de los costos operativos corresponden a costos energéticos, mayormente en forma de electricidad, usada en el bombeo de agua.

La cuantificación de la energía utilizada en el sector de suministro de agua se realiza considerando el uso de diferentes indicadores, ya que ellos tienen la característica de ser comparables entre los distintos servicios en igualdad de condiciones, a diferencia de unidades monetarias que dependen de factores económicos y de mercado. Es así como surgen indicadores que proporcionan una representación real del rendimiento relativo de un servicio de abastecimiento cual sea este, en términos de uso de energía relacionado por persona por año e intensidad de energía para el suministro de agua (*Lam et al., 2017; Loubet et al., 2014; Olsson, 2012; Plappally et al., 2012; Lee et al., 2017*) De este modo, se ha estimado la energía incorporada a los sistemas de abastecimiento, entregando distintos valores que fluctúan entre 5,2 - 54,1 MJ/m³ de agua tratada (*Santana M. et al., 2017*); 10 - 372 kWh/persona/año (*Lam et al., 2017*); 0,5 - 5,5 kWh/m³ de agua tratada (*Mo W. et al., 2016*); 0,21 - 4,07 kWh/m³ de agua tratada (*Wakeel M. et al., 2016*); 0,07 - 0,39 kWh/m³ de agua tratada (*Molinos-Senante M, Sala-Garrido R, 2017*). La amplitud de estos rangos de gasto energético se debe a las características de fuente, proceso de tratamiento y distribución, ya que depende de los equipos y diseño de los sistemas la energía que necesitan los servicios de abastecimiento, ejemplo de ello queda demostrado en los estudios de *Xiang XZ. (2019)* quien indica que la energía utilizada para captar agua subterránea es en promedio de 0,43 kWh/m³ y para captar agua superficial es en promedio de 0,2 kWh/m³; o de *Molinos-Senante y Sala-Garrido (2018)* que señalan que un proceso unitario de tratamiento de filtro de gravedad rápido gasta en promedio

0,07 kWh/m³ a diferencia de un proceso unitario de tratamiento de filtro en presión que utiliza en promedio 0,21 kWh/m³. Cabe señalar que las necesidades, además, son influenciadas por la calidad del agua cruda, ya que al tener menor calidad requiere mayor intensidad de tratamiento y con ello de energía. La **Figura 1** presenta gráficamente las estimaciones recopiladas por *Lam et al. (2017)* para 30 distintas ciudades del mundo, indicando el uso de energía por persona para la provisión de agua por año en relación al uso total de agua por persona al día. Sobre los indicadores, para el cálculo de estos, son necesarias variables de intensidad total de energía incorporada al servicio de abastecimiento, volumen de agua tratada y cantidad de personas abastecidas, no obstante, pueden ser útiles otras variables que influyen en el indicador, tales como características de la fuente de captación, tecnologías de tratamiento y tipo de servicio (urbano, rural u otro). Además, esta información puede ser recopilada diferenciando las estaciones del año, ya que podría notarse cierta variabilidad.



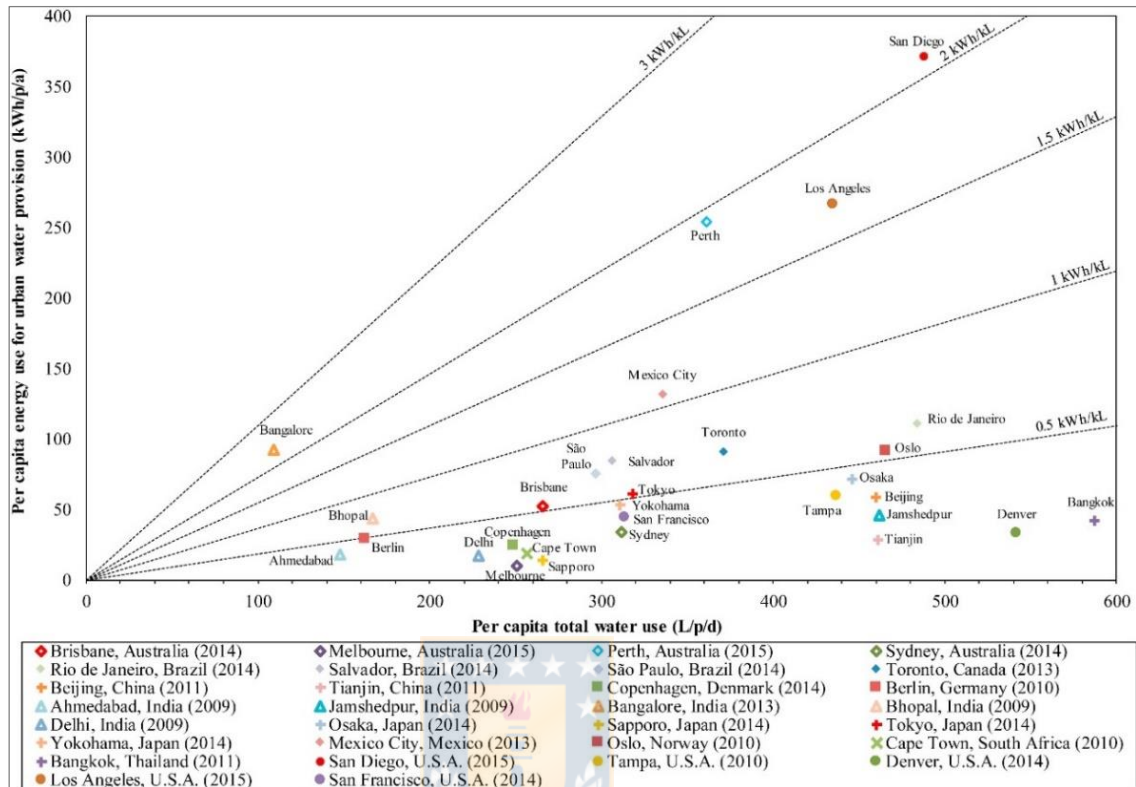


Figura 1. Uso de energía por persona para la provisión de agua por año en relación al uso total de agua por persona al día.

Fuente: Lam et al., 2017.

1.2.2. Contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero proveniente del gasto energético en la industria sanitaria

El desafío de lograr un servicio de agua potable con acceso universal, seguro y accesible para todos necesita de la construcción de un número mayor de instalaciones de tratamiento y con tecnología, lo que se traduce a aumentar indiscutiblemente la cantidad de energía requerida para su suministro y, por lo tanto, un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero. (*Molinos-Senante M; Sala-Garrido R, 2018*). Como síntesis de lo comentado en las secciones previas, las plantas de suministro de agua potable utilizan energía para extraer, transportar, tratar y depurar el agua potable, lo que a su vez aporta al calentamiento global al producir una cantidad considerable de emisiones de gases de efecto invernadero. (*Facchini A et al., 2017*). Como instrumento útil en

la gestión y evaluación del trabajo que se realiza surgen las huellas energéticas, definida en forma muy general, como la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de energía. (Pandey et al., 2010; Wiedmann, 2009), y es considerada una importante herramienta para cuantificar las emisiones de dichos gases. Para los servicios de abastecimiento de agua potable conllevan impactos financieros, ambientales y sociales que sugieren oportunidades de sostenibilidad que normalmente no se han tenido en cuenta en su planificación, diseño u operación. Y es en este contexto que proyecciones indican un aumento en la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero por los servicios de abastecimiento de agua potable, debido a los mayores requerimientos energéticos provocados por el aumento de demanda, la disminución en la disponibilidad del recurso, el estrés hídrico y la necesidad de incorporar tecnologías de tratamiento más intensivas energéticamente para alcanzar los estándares de calidad debido a la disminución de calidad del agua cruda. (Carvalho P et al., 2019).

Es así como diversos autores realizan la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero, medidas con distintas unidades, por ejemplo:

- *Ananda J. (2018)* estimó que, para 49 servicios de agua potable urbana en Australia, durante un período de 10 años (2005 - 2015) el nivel promedio de emisiones de efecto invernadero es de 448 toneladas por cada 1000 arranques (tonCO_{2eq}/1000 arranques).
- *Mo W. et al. (2016)* indicó que, para abastecer a 2,55 millones de personas en la costa noreste de Estados Unidos, durante un periodo de 6,5 años, se aporta con 7 kgCO_{2eq}/m³ de agua potable tratada.
- *Molinos-Senante M. y Guzmán C. (2018)* señalan que el aporte promedio por planta de tratamiento de agua potable urbana en Chile es de 109.004 kgCO_{2eq}/año, calculado en base a 36 plantas de tratamiento de agua potable con sistema de tratamiento convencional, durante el año 2014.

- *Racoviceanu, A.I et al. (2007)* analizaron cuatro plantas de tratamiento de agua potable en la ciudad de Toronto y reportaron un valor promedio de 15,3 millones de kgCO_{2eq} por año para las cuatro plantas.

En el caso de Chile, se presenta un sistema de distribución energética integrado, conocido como “Sistema Eléctrico Nacional” (SEN), el cual es la línea de transmisión eléctrica que abastece a todo el país. Por lo tanto, el SEN reúne toda la generación eléctrica, la cual se compone de diferentes matrices y cuyos aportes de emisión de gases de efecto invernadero durante el año 2018 se presentan en la **Figura 2**.

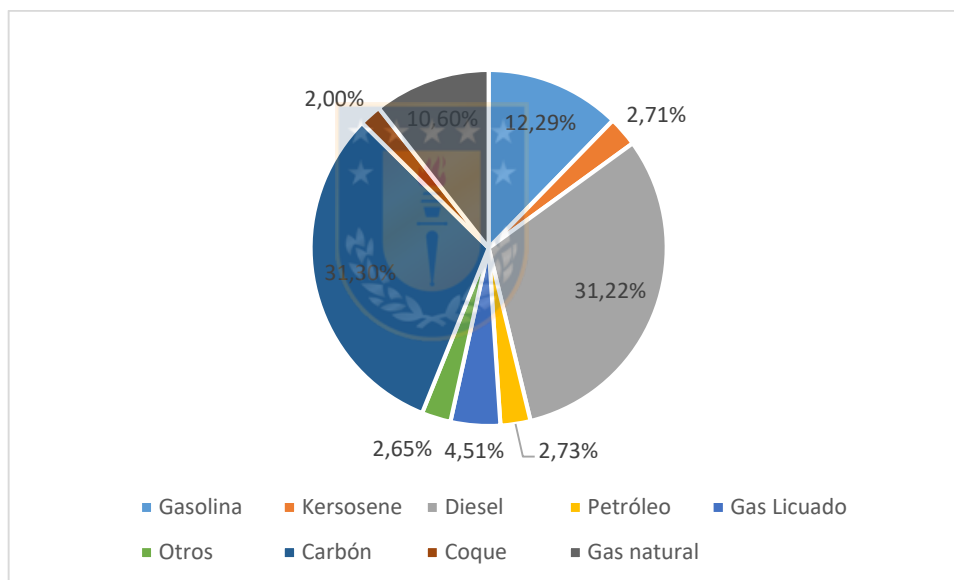


Figura 2. Porcentaje de aporte de emisiones de gases de efecto invernadero según el combustible utilizado para la generación de energía durante el 2018. Fuente: Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero.

1.3. Agua potable en Chile

Extracción de recurso hídrico y efecto del cambio climático. Dentro del contexto mundial, Chile es uno de los países que está siendo más afectado por el Cambio Climático, al cumplir con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): posee áreas costeras de

baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos (MMA, 2017) Lo anterior se agudiza con información que indica que Chile será el único país latinoamericano con estrés hídrico extremadamente alto al año 2040 (WRI, 2015), o que 110 acuíferos de Chile se encuentran actualmente con una demanda comprometida superior a su recarga (Ministerio del Interior, 2015), existiendo un sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua que supera más de seis veces la extracción actual del recurso a nivel nacional (Fundación Chile, 2018) Así también, el sostenido crecimiento económico y desarrollo social de las últimas décadas ha generado y seguirá generando demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos por parte de los diferentes tipos de usuarios. En este escenario y dada la disponibilidad natural del agua y su demanda en las distintas regiones del país, es posible mencionar que de no tomarse medidas este déficit se verá agravado. Por esto, se considera que el Estado debe invertir en la identificación de causas a los problemas de Riesgo Hídrico, como el uso de la energía en el sector (Fundación Chile, 2019). Es importante que los tomadores de decisiones regionales incorporen el medio ambiente, es decir, una combinación de objetivos ambientales y económicos, al evaluar las opciones de suministro de agua y la energía utilizada. (Molyneaux A et al., 2010). Es así como se reconoce que a pesar que en algunos servicios de agua potable la energía representa hasta el 40% del presupuesto operativo, este porcentaje se ve incrementado en los sistemas más pequeños, esperando que esta proporción aumente aún más con fuentes de agua más escasas, dejando en evidencia la diferencia que existe entre las diferentes escalas de abastecimiento. (Wakeel M et al., 2016).

Servicios sanitarios urbanos vs rurales. En Chile las zonas urbanas presentan concesiones sanitarias reguladas por la “Superintendencia de Servicios Sanitarios” (SISS) y estas proporcionan una cobertura de más del 99% del servicio. (SISS, 2019). En las zonas rurales existe una clasificación que depende de la densidad poblacional, encontrándose las concentradas, semi – concentradas y las dispersas. La primera de ellas se define como aquella constituida por una población entre 100 - 150 y 3.000 habitantes y una concentración mínima de 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable y presentan una cobertura del 100%. La segunda zona, definida como aquella localidad constituida por un mínimo de 80 habitantes y con una densidad de a lo menos 8 viviendas por kilómetro de red de agua potable, presenta una del 41%. Por último, las zonas rurales dispersas, que no cumplen con los criterios definidos para las zonas rurales descritas, presentan fuentes de abastecimiento irregulares como pozos, ríos, lagos, esteros o camiones aljibes. (Amulen, 2019). Esta realidad expone la brecha en materia de servicios de agua potable, siendo un problema prioritario e importante en materia de gestión, ya que un 47,2% de los habitantes de sectores rurales no tiene abastecimiento regular; de estos, un 58,8% se abastece desde pozos; 25,8% desde ríos, esteros, canales o vertientes y un 15,4% lo hace por medio de camiones aljibe. (CASEN, 2017).

1.4. Agua Potable rural en Chile

1. La población en Chile corresponde a 17.574.003 personas efectivamente censadas, de las cuales 15.424.534 habitantes se encuentran en áreas urbanas, sin embargo 2.149.469 habitantes se encuentran en áreas rurales, equivalente a un 87,8% y un 12,2% respectivamente. (Censo, 2017). Por las consideraciones anteriores, por medio del Ministerio de Obras Públicas (MOP) se han realizado programas para entregar el

servicio de agua potable en estos sectores, uno de ellos es el Programa del Agua Potable Rural (APR), cuyo fin es “contribuir a mejorar las condiciones de salud y bienestar de la población rural”, con el propósito que la población de localidades rurales concentradas y semiconcentradas acceda a un sistema de agua potable que entregue un servicio en cantidad, calidad y continuidad que cumpla con la normativa vigente. Para lograr sus objetivos, el Programa proporciona un sistema de infraestructura de agua potable a las localidades rurales que cumplen con los estándares técnicos de la Dirección de Obras Hídricas (DOH) del MOP y los estándares de evaluación socioeconómica del Ministerio de Desarrollo Social. (MDS). En cada localidad donde se proyecta un Sistema APR, se constituye una organización comunitaria denominada comité o cooperativa de agua potable rural, entidad con personalidad jurídica propia, el cual consta de una directiva elegida por sus propios socios, es decir, cada usuario cuenta con derecho a voto y a la toma de decisiones, de acuerdo a los atributos que le confiere la Ley de Junta de Vecinos y otras Organizaciones Comunitarias, cuyo funcionamiento se sustenta en la organización social de sus beneficiarios y bajo diferentes modelos de administración que incluyen criterios sociales y solidarios en beneficio de toda la comunidad. Por medio de la DOH y la cooperación de la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN), el Programa invierte en la mejora, expansión y conservación de la infraestructura de APR, además de entregar asesoría, capacitación y supervisión en aspectos técnicos, administrativos, financieros y organizativos a los comités y cooperativas. Cabe señalar que, además, de los APRs construidos por el MOP, existen otros servicios de abastecimiento de agua potable rural construidos a través de otras fuentes de financiamientos, tanto privadas como públicas y entregan el servicio a localidades de diferentes tamaños y densidades poblacionales (*Peña R, DIRPLAN Biobío, MOP, 2019*). En materia legal,

las normas bajo las cuales se regulaban los sistemas de APR no permitían avanzar a un mayor desarrollo autosustentable y, es en este marco en que el 14 de febrero de 2017 se publica la ley 20.998 (MOP) de Servicio Sanitarios Rurales. Esta ley llegó para fortalecer la capacidad de gestión de las organizaciones comunitarias, establecer los derechos y las obligaciones, proteger los territorios de operación, promover más participación ciudadana a través de la creación de un Consejo Consultivo Nacional y Regional, combatir la sequía y el cambio climático incorporando al sector rural disperso con prioridad en las áreas declaradas de escasez hídrica y con soluciones adecuadas a la disponibilidad del recurso hídrico y a las condiciones sociales, económicas y culturales de las comunidades, mejorar la calidad de vida y aumentar la gestión comunitaria. Para que esta ley entre en vigencia es necesaria la dictación de su reglamento, el cual, a la fecha de la realización de este estudio no ha sido publicado.

Según la DOH, a diciembre de 2018, a nivel nacional existen 1902 Sistemas de Agua Potable Rural, los cuales abastecen a 1.735.133 beneficiados. Conforme a los datos expuestos (**Figura 3**) la región con mayor cantidad de beneficiados es la región del Maule con 297.268 seguida por O'Higgins con 295.911 y en tercer lugar a nivel nacional se encuentra la región Metropolitana con 185.614 personas beneficiadas. A pesar del gran número de beneficiados, aún existen localidades rezagadas, en donde la región del Biobío asoma como un área de interés ya que es la segunda región con menor cobertura de agua potable en zonas rurales, con un 32,4%, solo por detrás de la región de la Araucanía con un 28,8% y, además, dentro de las regiones más afectadas por el déficit hídrico, teniendo que entregar el servicio mediante el uso de camiones aljibes. (*Amulen, 2019*). Lo anterior se corresponde con lo que menciona *Carrasco Mantilla (2011)*, que indica que el escenario de los servicios rurales es un desafío en materias de calidad, continuidad y cobertura, que demanda la atención especial de los gobiernos,

debido a las características particulares propias de la ruralidad. Dentro de tales características se destacan:

- la dispersión de las viviendas;
- las limitaciones geográficas para el acceso a la población;
- el bajo nivel socioeconómico de los habitantes;
- la utilización de tecnologías no convencionales para la provisión de los servicios;
- las dificultades para ofrecer asistencia técnica y capacitación a los prestadores de los servicios que generalmente cuentan con una reducida capacidad financiera, administrativa y técnica.

Siendo estas dificultades las que merman la entrega del servicio en los sistemas de APR, resulta importante aportar en materia energética para robustecer el conocimiento que es útil para el fortalecimiento de la gestión de la calidad y continuidad del servicio.

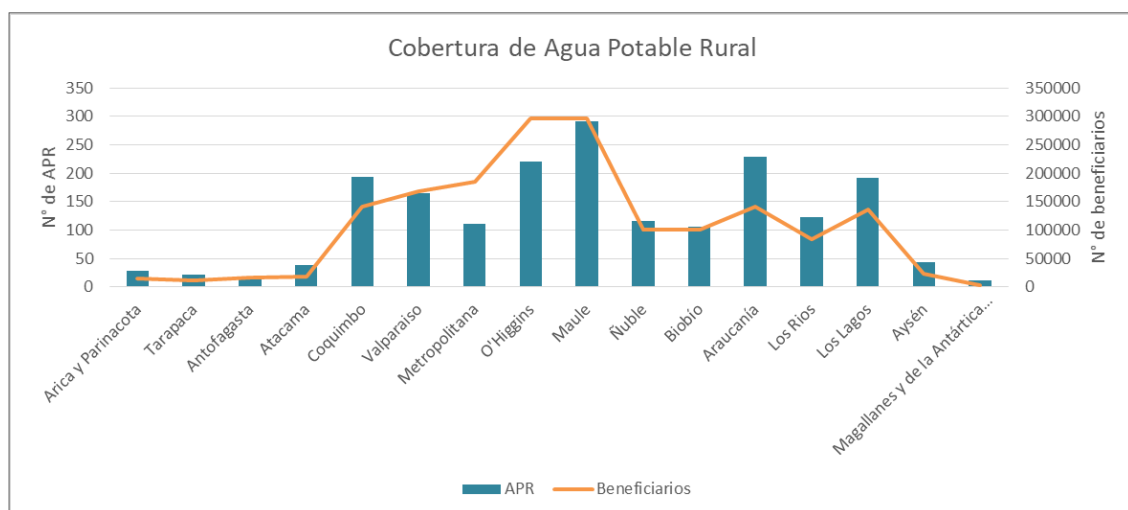
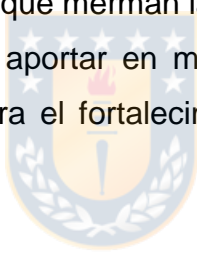


Figura 3. Cobertura de APR en Chile por región.
Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), 2018.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Considerando la importancia de la gestión del recurso hídrico y la incorporación del nexo agua-energía como herramienta de análisis y gestión surge la siguiente pregunta de investigación.

¿Cuánta es la intensidad de energía (kWh/m³ facturado, kWh/persona/mes, kWh/persona/período) incorporada directamente en los sistemas de abastecimiento de agua potable rural de la región del Biobío?, ¿Existe una relación entre la intensidad de uso de energía y los factores climáticos, de arranques abastecidos y de longitud de distribución y conducción?



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar del uso de energía incorporado directamente a los servicios de abastecimiento de agua potable rural en la región del Biobío.

3.2. Objetivos específicos

1. Establecer la base de información de consumo energético de los sistemas de abastecimiento de agua potable rural en la región del Biobío.
2. Determinar los indicadores basados en el uso de la energía (por unidad de volumen, por habitante abastecido) para abastecer de agua potable las localidades rurales de la región del Biobío.
3. Analizar la relación de los indicadores de desempeño energético con los factores que inciden en la cantidad de energía que se le incorpora a los servicios de abastecimiento de agua potable.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudio

El área de estudio es la Región del Biobío (**Figura 4**), localizada en el límite sur de la zona central entre los 36°26' y los 38°29' de latitud sur. Limita al norte con la Región de Ñuble, al sur con la Región de la Araucanía, al oeste con el Océano Pacífico y al este con la República Argentina. Posee una superficie de 24.021 km² representando el 3,2% del territorio nacional, excluida la Antártica Chilena. En relación a las condiciones climáticas, la región se presenta en una zona de transición entre un clima templado mediterráneo cálido y un clima templado húmedo o lluvioso, lo que genera condiciones que permiten el desarrollo de una vegetación muy particular y diferente a la de las otras regiones del país. La red hidrográfica de la región se organiza a través de la gran cuenca del Biobío. Geomorfológicamente, la región del Biobío presenta altitudes que van desde los 0 m.s.n.m. hasta los 3487 m.s.n.m. y presenta las 4 unidades de relieve presentes en el país: Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes (*Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*).

Según el censo de población realizado el año 2017, la región posee un total de 1.556.805 habitantes, los cuales se distribuyen según su división política-administrativa en tres provincias: Arauco, Biobío y Concepción y en un total de 33 comunas. Del total de la población de la región el 88,6% vive en áreas urbanas, mientras que el 11,4% en zonas rurales. A nivel nacional es una de las regiones con menor cobertura de agua potable en población rural, solo por detrás de la región de la Araucanía (28,8%), la región del Biobío presenta una cobertura en población rural del 32,4% (*INE, 2017*).

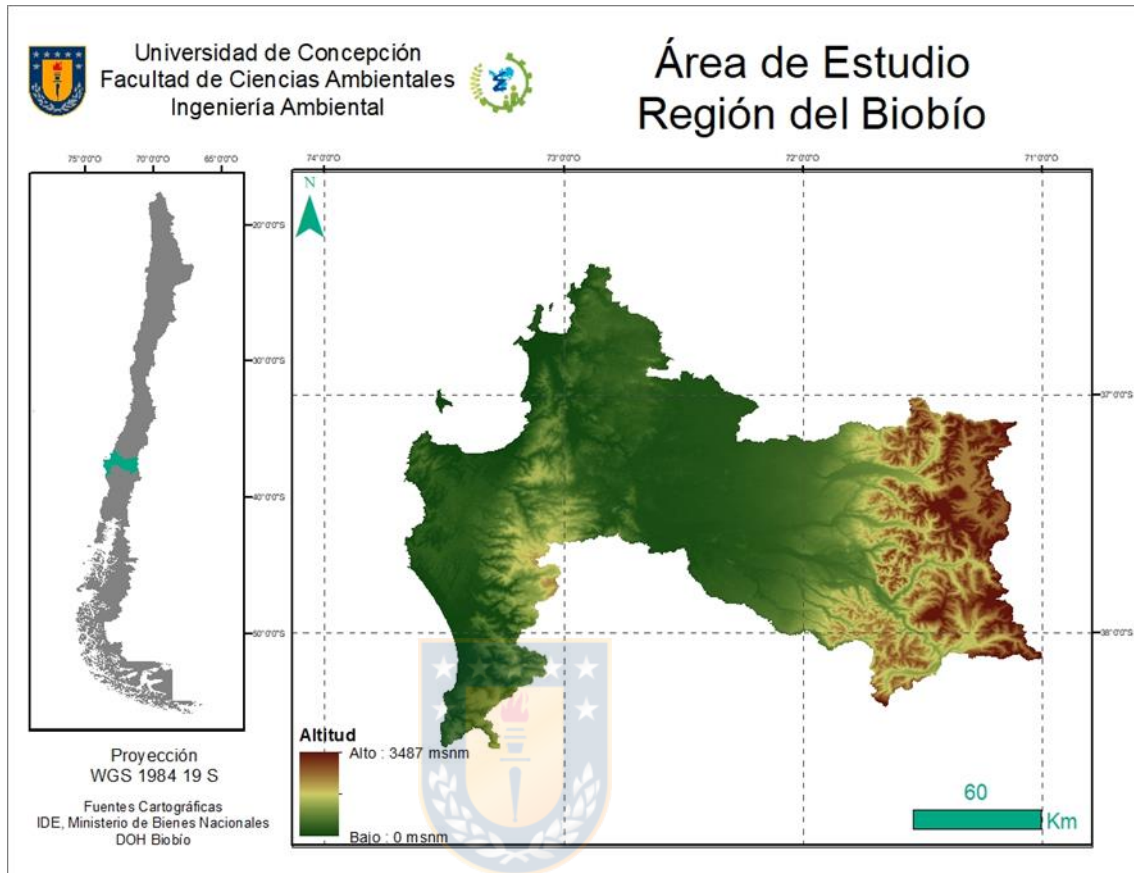


Figura 4. Área de estudio, Región del Biobío.
Fuente: elaboración propia en base a fuentes cartográficas IDE y DOH Biobío.

Los sistemas de APR construidos por la DOH en el área de estudio se encuentran ubicados como muestra la **Figura 5**. Al 2019 existen 111 servicios de APR vigentes, el primero de ellos fue puesto en marcha en el año 1966 y el último durante el año 2019. Muchos de estos servicios han recibido aportes en mejora, expansión o conservación por parte de la DOH y la gestión de los comités o cooperativas, con el fin de incrementar la oferta máxima de abastecimiento, aumentar la calidad del servicio (presión, calidad del agua potable y cantidad) y/o disminuir las pérdidas. (Peña R., *DIRPLAN Biobío*; MOP, 2019).

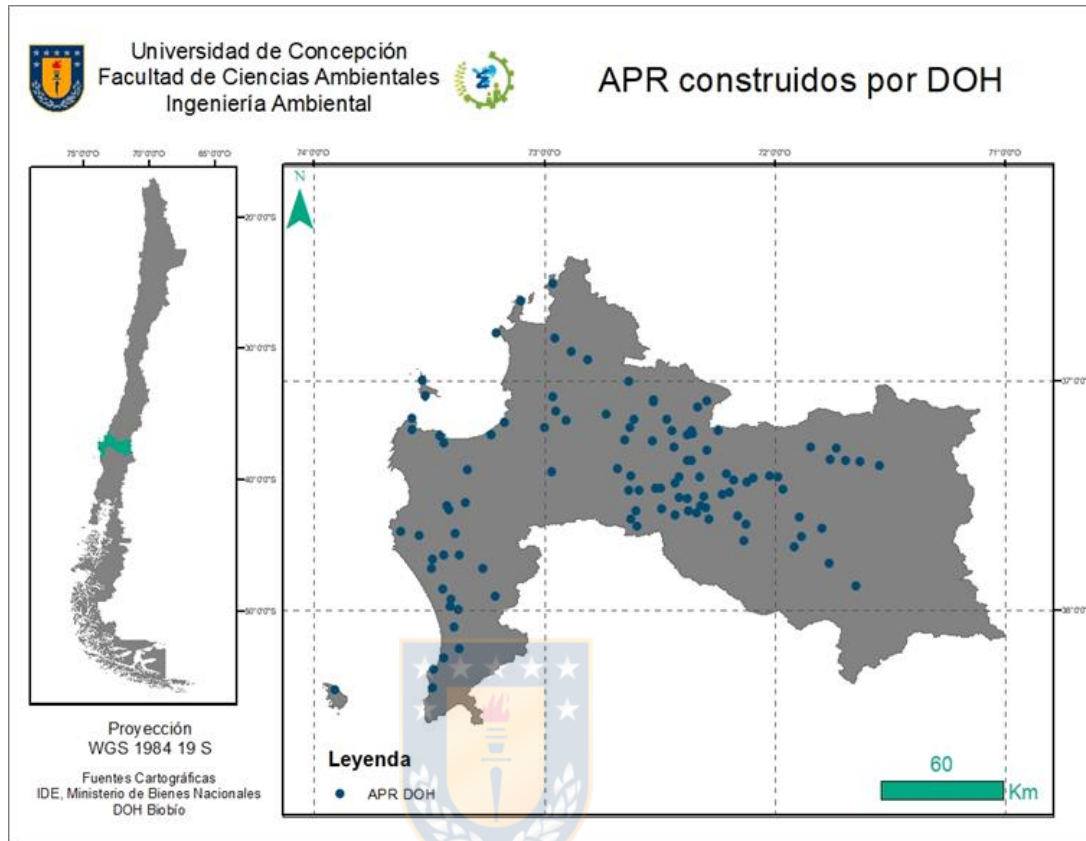


Figura 5. Ubicación geográfica de APRs construidos por la DOH vigentes a octubre de 2019.

Fuente: adaptación de información entregada por DIRPLAN.

4.2. Levantamiento de información

La información levantada en este estudio incluyó la obtención de variables operacionales de los APRs que inciden en la cantidad de energía utilizada para la producción de agua potable, los gastos energéticos y los volúmenes de agua. En cuanto a volumen de agua, se diferencian tres tipos según la etapa del proceso en la cual es medido el volumen. Estos volúmenes son el volumen de agua captada, que se refiere a la cantidad de agua cruda contabilizada al momento de la captación; volumen de agua producida, referido al volumen medido luego de completar el sistema de tratamiento (después de la etapa de desinfección), registrado mayormente antes de ser almacenado; y el volumen de

agua facturado, que se trata de la cantidad de agua que es consumida por los usuarios. Estos tres tipos de volumen difieren debido a la existencia de pérdidas por fisuras y roturas de tuberías que conducen el agua en los diferentes trayectos, además, no todos los APRs cuentan con los recursos para medir los tres volúmenes, siendo el volumen facturado el más común dentro de los servicios rurales.

La **Tabla 2** resume la información que fue recolectada para la elaboración de la base de datos y el análisis del uso de energía de los APR de la región del Biobío.

Tabla 2. Variables de operación de los APRs recolectados.

Gasto energético mensual	Ubicación geográfica	Sistema de tratamiento
Volumenes mensuales producidos	Número de arranques abastecidos	Equipos electromecánicos en uso
Volumenes mensuales facturados	Tipo de captación	Longitud de distribución

En este estudio se identificaron dos tipos de fuente de información, indirecta y directa. La primera de ellas se refiere a fuentes que almacenan información; pero no necesariamente generan los datos a recopilar, como son las SEREMI Regionales. La fuente directa se refiere a los organismos que generan la información requerida, en este caso los APRs.

Fuente indirecta. Se obtuvo el apoyo de la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) de la Seremi de Obras Públicas de la Región del Biobío, quien aportó a esta investigación con documentos digitales que contemplaban proyectos de construcción, ampliación y mantención de los APRs. Es importante señalar que esta información incluye los datos del proyecto inicial de construcción, el cual fue actualizado con la información obtenida de fuente directa. Además, se obtuvo una base de datos con la información de contacto de los APR de la región utilizada para lograr el contacto con las Cooperativas y/o directivos encargados de los APRs y levantar la información de la fuente directa. Los datos del gasto energético de cada una de las APRs de la región se obtuvieron a través del apoyo de la

SEREMI de Energía de la Región del Biobío, quien facilitó a este estudio la información proveniente de las empresas de distribución eléctrica. Dentro de las empresas distribuidoras de energía en la región se encuentran CGE, COELCHA, FRONTEL y COOPELAN.

Fuente directa. A partir de la base de contactos de los APRs regionales se procedió a contactar a la directiva a través de llamados telefónicos, mensajería y/o correo electrónico. El contacto con estas organizaciones contó con las siguientes fases: (1) Primer contacto, explicando el estudio mediante el uso de una guía escrita a modo de guion para asegurar la entrega completa de la información para todos los APRs (en el **Anexo 1** se encuentra el guion utilizado); (2) Se coordinó el canal de comunicación preferido por los contactos (correo electrónico o aplicaciones digitales) para realizar la solicitud formal de la información requerida (en el **Anexo 2** se incluye el formato de la guía enviada a los APRs para completar); (3) Se realizó seguimiento hasta recepción de información enviada por los APR. El plazo de entrega de la información por los APRs varió entre 5 días y 16 semanas. Se destaca que los APRs tienen diferentes realidades de dispositivos tecnológicos, conectividad y sistemas de almacenamiento de la información. (planillas en computador, informes en papel o cuadernos de apuntes manuscritos del operador).

De la totalidad de los APRs de la región se seleccionaron seis sistemas para realizar una visita presencial durante enero del 2020, con la finalidad de percibir la realidad y condiciones en que los sistemas rurales generan y almacenan información. Los APRs seleccionados fueron los de “Peaje Chaimavida (villa Juan Riquelme)”, “Chome”, “Canteras - El Hualle”, “Chillancito de Cabrero”, “El Olivo” y “Charrúa” (**Figura 6**). En ellos se realizó una entrevista semi-estructurada a los operadores, trabajadores y/o directivos del APR mediante el uso del mismo

documento de solicitud de información utilizado para la recopilación no presencial.



Figura 6. APR visitados. (1) “Villa Juan Riquelme” (sala de desinfección) – (2) “Caleta Chome” (captación y sala de desinfección) – (3) “Canteras - El Hualle” (estanque de almacenamiento) – (4) “Chillancito de Cabrero” (estanque, sala de desinfección y filtro) – (5) “El Olivo” (filtro, sala de desinfección y estanque de almacenamiento) – (6) “Charrúa” (estanque de almacenamiento).

En la sección de resultados se expone la efectividad de recolección de información de APRs de la región del Biobío y un breve análisis de esta etapa del estudio. Se expresa el número de plantas obtenidas con dato, en función del total de APRs consultadas y las aprensiones por las cuales no fue posible acceder a esta información.

4.3. Cuantificación de gasto energético y emisión de gases de efecto invernadero

Con la información recibida se elaboraron las bases de datos para estimar los indicadores de uso energético de los APRs. La información recibida no fue homogénea y dependía de la particularidad de los formatos en que cada APR decide registrar su información. Se reconoce esta limitación en el estudio y, por lo tanto, se procedió a armonizar la data a través de supuestos que se detallan a continuación:

Estimación de volúmenes. En aquellas APRs que solo dispusieron de uno de los dos grupos de datos, volúmenes mensuales producidos o facturados, se realizó una estimación del grupo faltante. Para ello se utilizaron todas las APR con datos de volumen completos y con ello se calculó cuanto era el porcentaje de pérdida de agua promedio, cuyo valor es de 26,95% con una desviación estándar de 10,4%. Esta limitación puede sobre o subestimar el valor real del volumen buscado, debido a la desviación estándar (en el **Anexo 3** se ilustran los APR con ambos tipos de volumen, su promedio de pérdidas y la desviación estándar). Con la identificación del porcentaje de pérdida de agua se establecieron los volúmenes faltantes como muestra el **Ejemplo de cálculo (1)** a continuación.

Ejemplo de cálculo (1): Caso APR “Agua y Sol”

Este APR solo registraba los volúmenes facturados ya que el equipo (macromedidor) con el que se registraba el volumen producido se encontraba en mal estado. Para cada mes se estimó el volumen producido a partir del promedio de pérdidas estimado, como muestra la **Ecuación (1)**.

$$VP = \frac{VF * 100\%}{100\% - 26,1\%}$$

Ecuación 1

Donde *VP* representa al valor producido estimado, *VF* al valor facturado conocido y el valor 26,1% es el porcentaje promedio de pérdidas. Por lo anterior, para cada volumen quedan los resultados expuestos en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Volúmenes mensuales facturados y cálculo de los producidos del APR “Agua y Sol”.

	Ene 2019	Feb 2019	Mar 2019	Abr 2019	May 2019	Jun 2019	Jul 2019	Ago 2019	Sep 2019	Oct 2019
<i>VF</i> (m ³)	15016	15075	13218	12034	10545	9235	9709	11027	10046	10688
<i>VP</i> (m ³)	20319	20399	17886	16284	14269	12497	13138	14922	13594	14463

VF: valor facturado estimado

VP: valor producido estimado

En el caso que el volumen no registrado fuese el facturado, se modificó la ecuación para despejar el volumen de interés.

Estimación de gasto energético mensual. En algunos APRs la recopilación del gasto energético dio cuenta de una modalidad de cobro bimensual. Para el cálculo de los indicadores se requiere que la data sea de gasto energético mensual, por lo que se estimó la energía utilizada mensualmente considerando la proporcionalidad de los volúmenes de producción o facturación en esos dos meses, convirtiéndose en una extensión de la intensidad bimensual, por lo que no representan necesariamente el gasto energético particular de cada mes. A continuación, el **Ejemplo de cálculo (2)**, presenta el ejercicio para una de estas APR.

Ejemplo de cálculo (2): Caso APR “Talcamavida”

La **Tabla 4** ilustra el caso de “Talcamavida” que registra los datos energéticos bimensuales. Es por lo anterior que se adaptaron los valores de consumo para cada mes mediante el cálculo de consumo energético por volumen para los dos meses en cuestión.

Tabla 4. Adaptación de consumo energético mensual para APR “Talcamavida”.

Mes	VP (m ³)	VP bimensual (m ³)	Gasto energético bimensual registrado (kWh)	Gasto energético por volumen bimensual (kWh/m ³)	Gasto energético mensual calculado (kWh)
Ene 2019	19703	39062	-	0,3818	7523
Feb 2019	19360		14915		7392
Mar 2019	28760	54376	-	0,1929	5537

Tabla 5. Adaptación de consumo energético mensual para APR “Talcamavida”. (continuación)

Mes	VP (m ³)	VP bimensual (m ³)	Gasto energético bimensual registrado (kWh)	Gasto energético por volumen bimensual (kWh/m ³)	Gasto energético mensual calculado (kWh)
Abr 2019	25670	43412	10489	0,1641	4952
May 2019	22794		-		3740
Jun 2019	20619		7123		3383
Jul 2019	9852	19475	-	0,4347	4283
Ago 2019	9623		8466		4183
Sep 2019	11365	35151	-	0,2853	3243
Oct 2019	23786		10029		6786

En otras APRs se identificó el abastecimiento del servicio eléctrico por parte de dos empresas diferentes. El valor total fue calculado sumando el gasto de ambas empresas para conocer el consumo energético total del APR. Las APRs que requirieron de esta adaptación y su información eléctrica, son ilustradas en el **Anexo 4**.

Estimación de habitantes abastecidos. Para la obtención del número de habitantes abastecidos por cada APR se utilizó la información que indica el número de arranques abastecidos y el factor de cálculo de “4 habitantes por vivienda” (criterio actual utilizado por la DOH, del MOP para la formulación de proyectos) como indica la **Ecuación (2)**.

$$N^{\circ} \text{ de habitantes abastecidos} = N^{\circ} \text{ de arranques} * 4 \text{ habitantes}$$

Ecuación 2

4.3.1. Estimación de indicadores basado en el uso de la energía

Se procedió con el cálculo de los indicadores que permitieron estimar la cantidad de energía incorporada a cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable estudiados. Para esta estimación fueron considerados los indicadores que se presentan a continuación, ya que son aquellos los más utilizados en la bibliografía revisada y representan específicamente lo buscado en esta investigación.

- **kWh/p/a.** Consumo de energía expresado en kilovatios-hora de electricidad por persona por año (*Lam et al., 2017; Loubet et al., 2013; Olsson, 2012; Plappally et al., 2012; Lee et al., 2017*).
- **kWh/m³.** Intensidad de energía expresada en kilovatios-hora de electricidad por metro cúbico de agua tratada (*Lam et al., 2017; Loubet et al., 2013; Olsson, 2012; Plappally et al., 2012; Lee et al., 2017*).
- **L/p/d.** Uso del agua expresado en litros de agua por persona por día (*Lam et al., 2017; Loubet et al., 2013; Olsson, 2012; Plappally et al., 2012; Lee et al., 2017*).

Las **Ecuaciones (3), (4) y (5)** explican el procedimiento utilizado para el cálculo de los indicadores **kWh/p/a, kWh/m³ y L/p/d** respectivamente. Es necesario indicar que para esta investigación no fue posible recopilar datos anuales por lo

que el indicador *kWh/p/a* fue remplazado por *kWh/p/(enero 2019 – octubre 2019)* establecido de acuerdo a la disponibilidad de información.

$$\frac{\frac{kWh}{persona}}{ene - oct 2019} = \frac{Gasto\ energético\ APR\ total\ en\ periodo\ (kWh)}{N^{\circ}\ de\ habitantes\ abastecidos}$$

Ecuación 3

$$\frac{kWh}{m^3} = \frac{\overline{Gasto\ mensual}}{\overline{Volumen\ mensual^*}}$$

Ecuación 4

$$\frac{\frac{Litros\ consumidos}{persona}}{dia} = \frac{\frac{\overline{Volumen\ mensual\ facturado\ (L)}}{30\ días}}{N^{\circ}\ de\ habitantes\ abastecidos}$$

Ecuación 5

El “*Volumen mensual**” indicado en la **Ecuación (4)** fue calculado para los volúmenes producidos y facturados, obteniendo un par de indicadores de este tipo para cada APR que contaba con los datos necesarios. Para la **Ecuación (5)** se calculó el consumo diario en base al promedio mensual de “*Volumen facturado*” y con 30 días promedio por mes. Finalmente, junto al indicador de gasto energético por persona entre enero – octubre 2019, se calculó un indicador que estima el promedio de la cantidad de energía utilizada por persona mensualmente, “*kWh/p/mes*”, obtenido como muestra la **Ecuación (6)**.

$$\frac{\frac{kWh}{persona}}{mes} = \frac{\overline{Gasto\ mensual}}{N^{\circ}\ de\ habitantes\ abastecidos}$$

Ecuación 6

4.3.2. Estimación de gases de efecto invernadero

En función de los factores de emisión de la fuente energética se calcularon los indicadores definidos a continuación, con el fin de estimar las contribuciones a emisiones de gases de efecto invernadero mediante el CO_{2eq}.

- **tonCO_{2eq}/p/a**. Generación de gases de efecto invernadero expresada en toneladas de CO_{2eq} por persona por año (Ananda J, 2018; Mo W. et al., 2016).
- **tonCO_{2eq}/m³**. Generación de gases de efecto invernadero expresada en toneladas de CO_{2eq} por metro cúbico de agua tratada (Ananda J, 2018; Mo W. et al., 2016).

Para la energía eléctrica, los factores de emisión definidos fueron obtenidos desde la plataforma digital del Ministerio de Energía (www.energiaabierta.cl), los cuales son calculados mensualmente y en promedios anuales, en base a los aportes realizados por la generación según combustible y con ello la contribución a la generación de CO_{2eq}, con unidad de medida de toneladas de CO_{2eq} por megavatio-hora de electricidad (tonCO_{2eq}/MWh). Es necesario indicar que las unidades propuestas en los indicadores de literatura fueron convertidas de toneladas a kilogramos para un mejor análisis.

De forma similar que el cálculo de los indicadores de gasto energético, los indicadores de aporte de gases de efecto invernadero fueron estimados como muestran las **Ecuaciones (7) y (8)**. Como también se modifica el período del indicador **kgCO_{2eq}/p/a** por **kgCO_{2eq}/p/(enero – octubre 2019)**. Finalmente se agrega un último indicador, “**kgCO_{2eq}/p/mes**” (**Ecuación (9)**), que estima el aporte promedio de gases de efecto invernadero por persona mes a mes.

$$\frac{\frac{kgCO_{2eq}}{persona}}{ene - oct 2019} = \frac{\frac{kWh}{persona}}{ene - oct 2019} \times \text{factor de emisión} \left(\frac{kgCO_{2eq}}{kWh} \right)$$

Ecuación 7

$$\frac{kgCO_{2eq}}{m^3} = \frac{kWh}{m^3} \times \text{factor de emisión} \left(\frac{kgCO_{2eq}}{kWh} \right)$$

Ecuación 8

$$\frac{\frac{kgCO_{2eq}}{persona}}{mes} = \frac{\frac{kWh}{persona}}{mes} \times \text{factor de emision} \left(\frac{kgCO_{2eq}}{kWh} \right)$$

Ecuación 9

4.4. Categorización del desempeño energético de los APR

Para analizar la información obtenida se construyó una jerarquía entre las APR estudiadas, tanto para el gasto energético y las emisiones de CO_{2eq}, se procedió con la normalización de los indicadores obtenidos, tal como indica *Rojas O. et al. (2017)*, lo que se trata de una transformación de escala con el objetivo de poder comparar con respecto al conjunto de indicadores, eliminando los efectos de influencias. Esta herramienta divide a cada APR con su respectivo valor de indicador por el APR con indicador de mayor valor encontrado, no obstante, se toma el APR con mayor valor entre los datos agrupados para evitar influencia del dato “valor atípico” (*outlier*), al que se le otorga la categoría de mayor gasto energético y emisión de CO_{2eq}. Para realizar este ejercicio se utilizó la **Ecuación (10)**.

$$VIN = \frac{I_{APR}}{I_{APRm\acute{a}x}}$$

Ecuación 10

El grado de gasto energético o de emisiones fue determinado en escala de 0 – 1, donde el máximo valor corresponde al mayor nivel. En la **Ecuación (10)**, *VIN* representa el valor normalizado para el indicador calculado, *I_{APR}* el indicador de cada APR y *I_{APRmáx}* el indicador más alto entre los APR en estudio. Se categorizaron los diferentes *VIN* calculados, estableciéndose 5 categorías de comportamiento en función de las APR en estudio, estas categorías son, de mejor a peor comportamiento: “Muy bajo”, “Bajo”, “Normal”, “Alto” y “Muy alto”, siendo

este último nivel el que se le otorga a los APR con valores extremadamente altos, que estén fuera de los datos agrupados.

4.5. Análisis de los indicadores estimados

- Para los indicadores estimados se generaron gráficos que representan el comportamiento estadístico de ellos, junto con las relaciones que tienen con otras variables (el número de arranques abastecidos, la longitud de conducción y la longitud de distribución).
- Arcgis 10.1 y sus componentes fue utilizada para generar la representación geográfica de los distintos APR y su desempeño energético (categorización) y en lo que de emisiones trata. Para esta última tarea fue necesario descargar la información geoespacial disponible a través del sitio web “Infraestructura de Datos Geoespaciales” (IDE, www.ide.cl), dependiente del Ministerio de Bienes Nacionales. Se descargaron capas disponibles, shapefile, de la delimitación de las divisiones político – administrativas, desde el nivel regional hasta el comunal de la región del Biobío. El shapefile de APR en la Región del Biobío fue facilitado por la DIRPLAN Biobío. Finalmente, mediante el uso del componente “Arcmap” se georreferenció toda la información obtenida y se generó la cartografía que representa las diferentes categorizaciones.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Levantamiento de información y elaboración de bases de datos

Del levantamiento de información de los APRs (construidos por la DOH en la Región del Biobío) se obtuvo una respuesta positiva del 43% de todos los APRs consultados, el 57% de los APRs no contestó a lo requerido, no tenían disponible la información solicitada o enviaron información incompleta. En la **Tabla 5** se presentan los nombres de los APRs que fueron parte del análisis de este estudio y en la **Figura 7** se ilustra su ubicación geográfica. Estos APRs se encuentran distribuidos en las 3 provincias de la Región, con representación de 21 comunas de un total de 33.

Tabla 6. APR que proporcionaron información en este estudio.

PROVINCIA	COMUNA	APR
ARAUCO	Arauco	Caleta Las Peñas
		Laraquete - El Pinar
		Punta Lavapie
	Cañete	Cayucupil
		Huillinco
		Lloncao - Paicavi
	Curanilahue	Pichiarauco
		San Jose de Colico
	Lebu	Santa Rosa
	Los Alamos	Antihuala - Temuco chico - La Araucana
Villa Los Rios		
Tirúa	Tirúa	
BIOBÍO	Alto Biobío	Ralco
	Antuco	Agua y Sol
		Villa Las Rosas - Villa Peluca
	Cabrero	El Progreso
	Laja	Las Playas
	Los Ángeles	Chacayal Norte - Sur
		Diuto
		El Álamo
		El Peral
El Pino - San Miguel		

Tabla 7. APR que proporcionaron información en este estudio (continuación).

PROVINCIA	COMUNA	APR
BIOBÍO	Los Ángeles	La Montaña
		Las Delicias
		Llano Blanco
		Millantú
		Pata de Gallina
		Rarínco - Natre Rarínco - Santa Clara
		San Antonio - Las Quintas - Allipén
		San Carlos de Purén
		San José de Biobío
		San Luis - Santa Laura
		Santa Fé
	Negrete	Coihue Rihue
	Quilleco	Villa Mercedes
	Santa Bárbara	Villucura
	Tucapel	Polcura Trupán
Yumbel	Río Claro Tomeco	
CONCEPCIÓN	Concepción	Chaimavida Soto Peaje Chaimavida
	Coronel	Puerto Norte Puerto Sur
	Hualpén	Caleta Chome
	Hualqui	Talcamavida
	Tomé	Coliumo

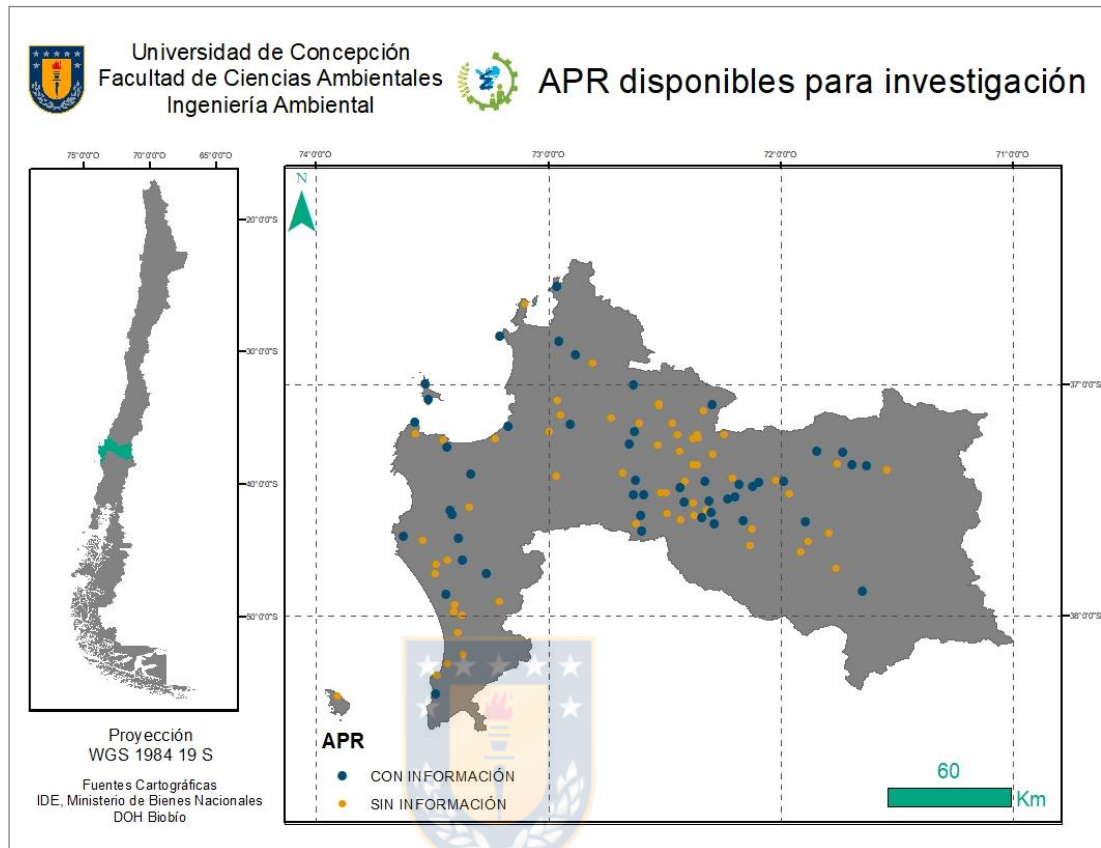


Figura 7. Ubicación geográfica de los APR que proporcionaron información en este estudio.

En la **Figura 7** se distingue a aquellos APRs de color azul, que son aquellos que dispusieron su información a este estudio, mientras que los de color naranja no. La distribución geográfica de los APRs está presentada en Planicie Litoral, Cordillera de la costa, Valle Longitudinal, Cordillera de los Andes e Isla (Isla Santa María). La comuna de Los Ángeles con 16 APR representa el 33% de los APRs en estudio y un 55% de los APR (DOH) que existen en la comuna. De los APRs contactados que no pudieron responder positivamente a lo solicitado se observaron las siguientes problemáticas: diferencias en la gestión de los APRs, la inexistencia de un sistema estandarizado de recopilación y almacenamiento de información y la desigualdad de capacidades. (organizacionales y de directivos y operadores).

Se observó que los APRs estudiados no cuentan con sistemas de gestión estandarizados y algunos no utilizan herramientas computacionales o planillas de cálculos para almacenar su información histórica, al contrario, utilizan sus registros en papel o en cuadernos de apunte de los operadores. El contar con registros históricos es de utilidad para una mejor gestión en el gasto (energético, económico) y en minimizar el riesgo del abastecimiento de agua potable, ya que el escenario actual y las proyecciones de cambio climático no son auspiciosas en materia hídrica, lo que hace evidente que deben existir avances, innovación y mayor desarrollo para los APRs. Ejemplo de ello es la reciente publicación de la Ley 20.998 sobre Servicios Sanitarios Rurales, aunque presenta la limitación de que el reglamento específico para esta aún no se encuentra vigente.

Con la información recibida se logró elaborar la base de datos que contiene la siguiente información para cada APR:

- Volumen facturado mensual para el periodo enero 2019 – octubre 2019;
- Volumen mensual producido para el periodo enero 2019 – octubre 2019;
- Gasto energético mensual para el periodo enero 2019 – octubre 2019;
- Ubicación geográfica;
- Año de vigencia;
- Número de arranques abastecidos;
- Longitud de Distribución;
- Longitud de Conducción;
- Tipo de fuente y equipos;
- Tipo de tratamiento y equipos.

5.2. Desempeño energético y de emisión de GEI en los APRs estudiados

5.2.1. Estimación del gasto energético por volúmenes facturados (kWh/m³) de cada APR

El análisis del desempeño energético en los APRs depende de una serie de indicadores que muestran la realidad energética de cada uno de ellos. El escenario de gasto energético por volumen facturado muestra que “Pichiarauco” es el más intenso energéticamente con un gasto de 8,5 kWh/m³ facturado y, una desviación estándar de 1,6 kWh/m³ facturado. Mientras que “Agua y sol” es quien presenta el mejor desempeño energético con un gasto de 0,002 kWh/m³ facturado y una desviación estándar de 0,001 kWh/m³ facturado. Lo anterior indica una amplitud del rango de valor para el gasto energético mayor a los 8 kWh/m³ facturado. El desempeño de cada APR es presentado en la **Figura 8**.



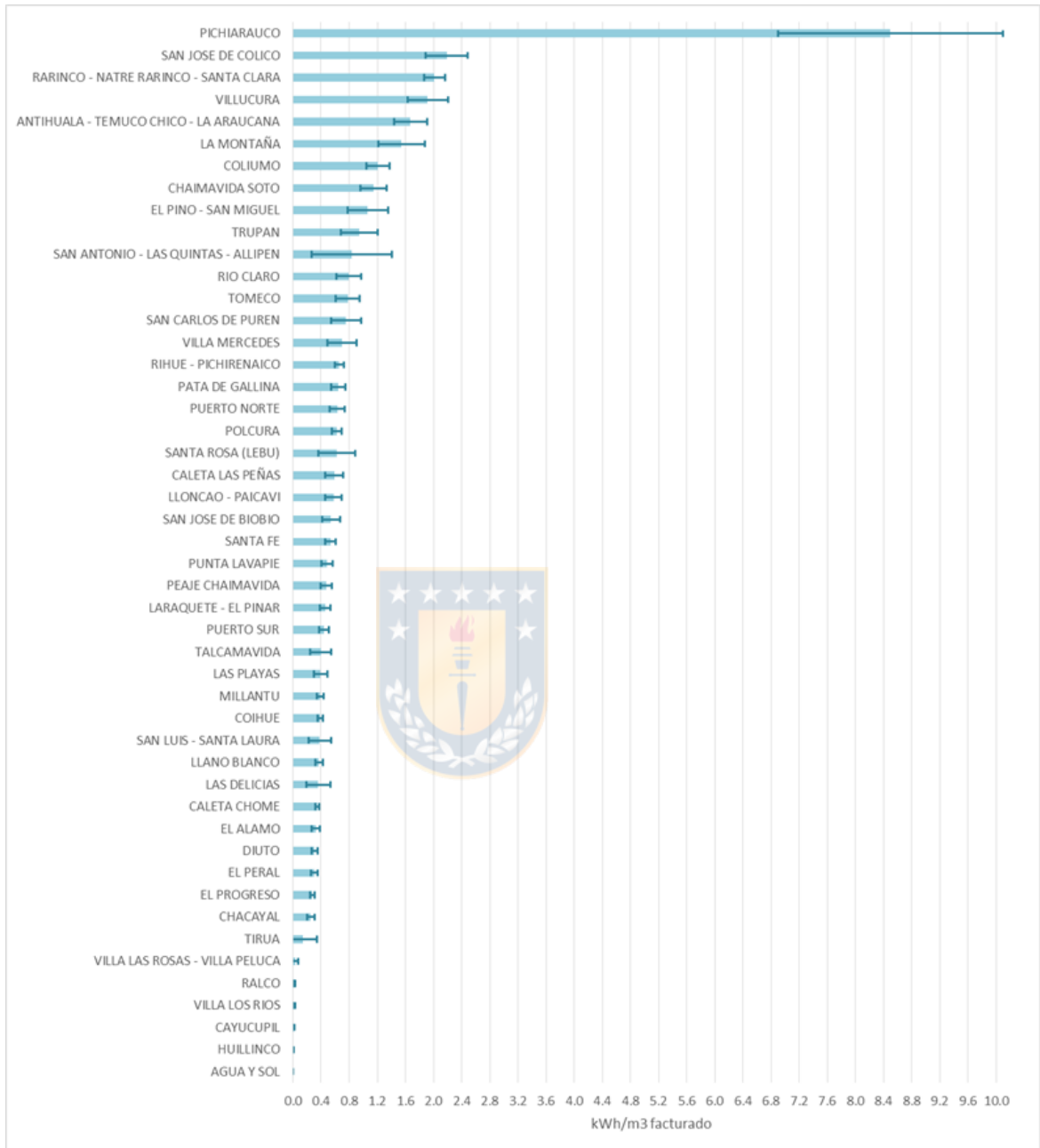


Figura 8. Promedio mensual del gasto energético por metro cubico facturado (kwh/m³facturado) en el periodo enero 2019 – octubre 2019 de los APR. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el período estudiado.

Entre los APR analizados en este estudio resaltan “Tirúa”, “San Antonio – Las Quintas – Allipén”, “Villa Los Rios” y “Cayucupil”, ya que presentan mayor

variabilidad en sus indicadores, existiendo meses en que la magnitud de este último difiere en más de la mitad del promedio. Con el fin de encontrar alguna tendencia entre estos APRs se presenta la **Figura 9**, que muestra cual es el comportamiento mensual entre enero y octubre 2019 del indicador de gasto energético por unidad de volumen facturado. Esta figura no presenta ninguna tendencia observable, más bien presenta algunos valores un tanto anómalos para el general de los datos sobre todo en los APR “San Carlos – Las Quintas – Allipén” y “Tirúa”.

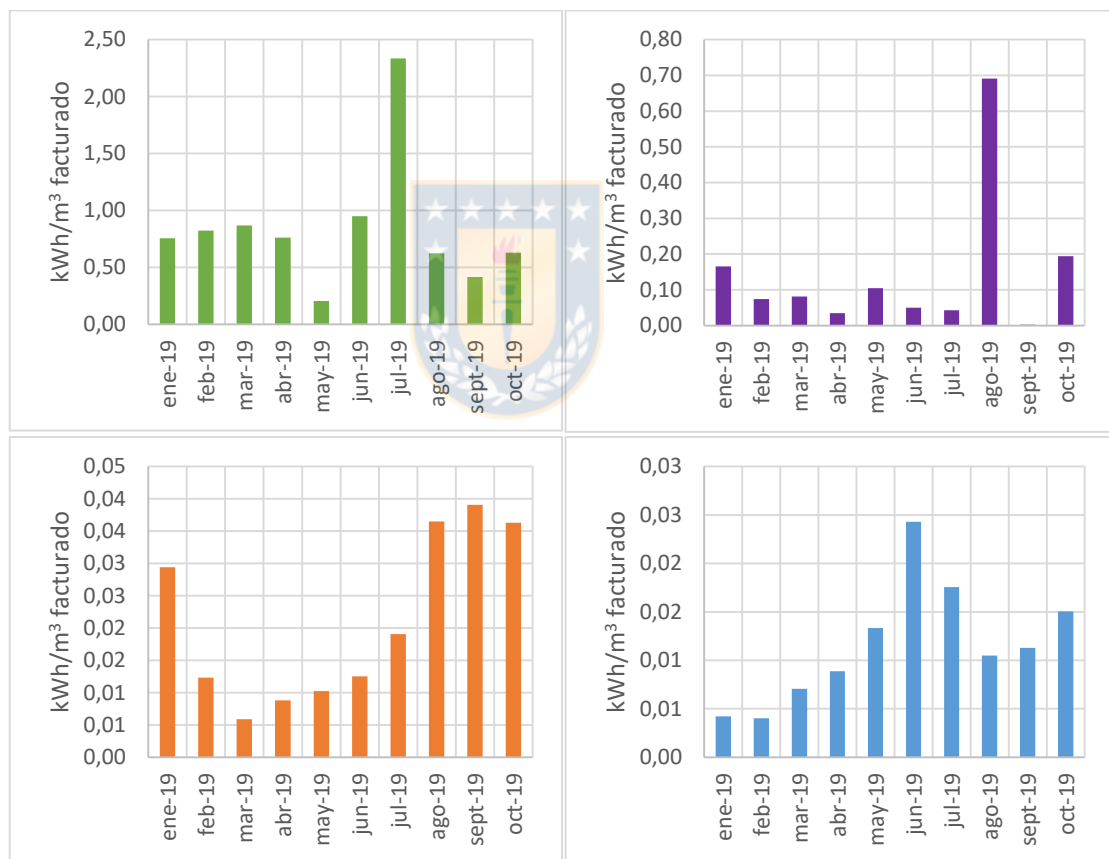


Figura 9. Gasto energético mensual (kWh) por m³ facturado en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Ríos y Cayucupil.

Con el fin de responder a este comportamiento se revisaron los volúmenes facturados y el consumo energético mensual, presentándose en las **Figuras 10** y **11**. La primera de ellas muestra las tendencias en volumen facturado, en las cuales visualmente se podría mencionar que en los periodos estivales hay un mayor volumen facturado que en las estaciones de invierno. La segunda figura presenta un *peak* de consumo para “Tirúa” y “San Antonio – Las Quintas – Allipén” de los cuales se desconoce la causa. Es por esto que se cree que la variabilidad de estos cinco APR se debe a la suma de diferencias en consumo de agua según la estación del año junto a algunos hechos puntuales que modifican la energía incorporada a los sistemas.

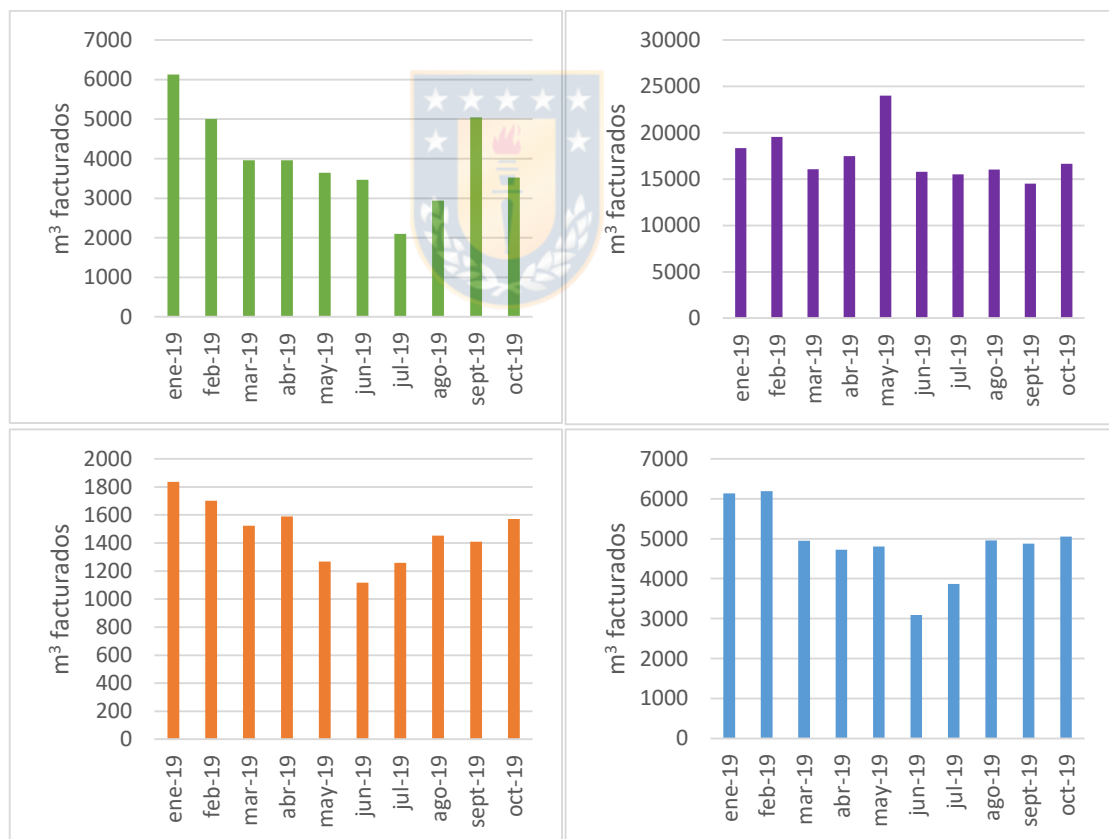


Figura 10. Volumen facturado (m^3) en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Ríos y Cayucupil.

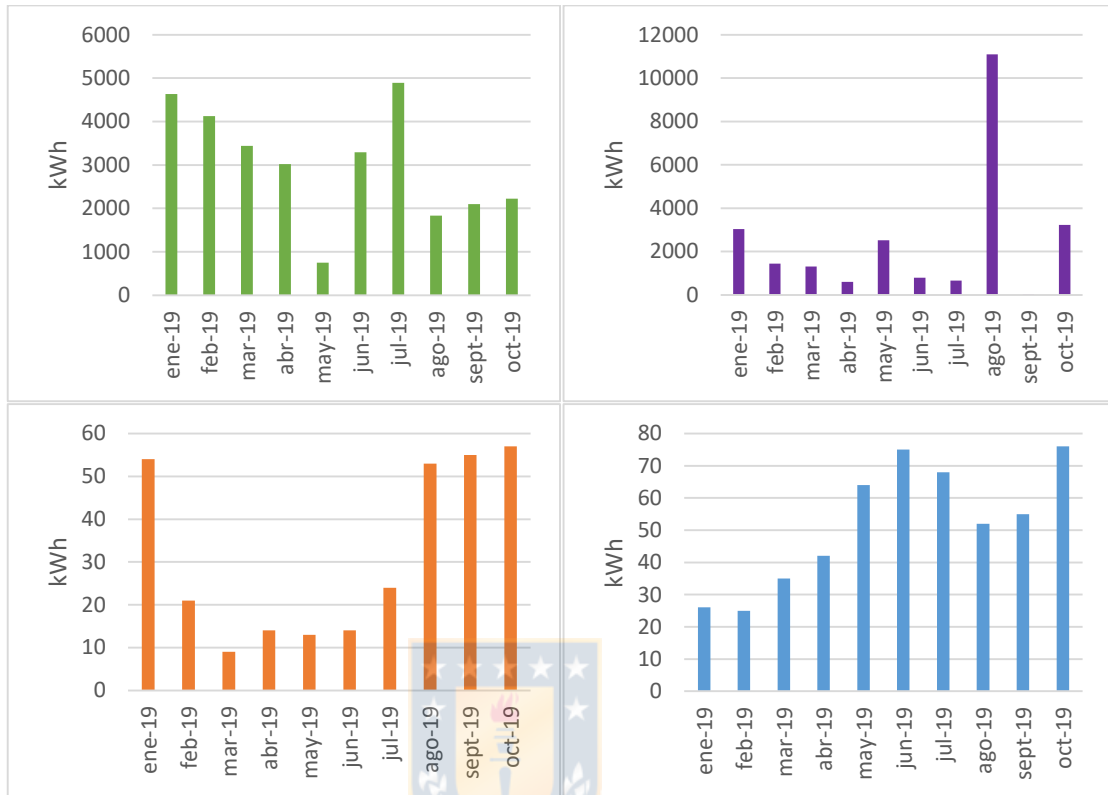


Figura 11. Consumo energético (kWh) en el periodo enero y octubre 2019 de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) San Antonio – Las Quintas – Allipén, Tirúa, Villa Los Ríos y Cayucupil.

A partir de la normalización realizada según lo descrito en la sección 4.4, se logró encontrar la jerarquización del desempeño de los APR en estudio. Es así como por medio de la herramienta digital Arcmap se representa geográficamente esta categorización en la **Figura 12**, en donde se observa cómo se distribuyen los APRs según su desempeño en kWh/m³ facturado. Los valores normalizados y categorización de cada APR son presentados en el **Anexo 5**.



Categorización según desempeño por APR

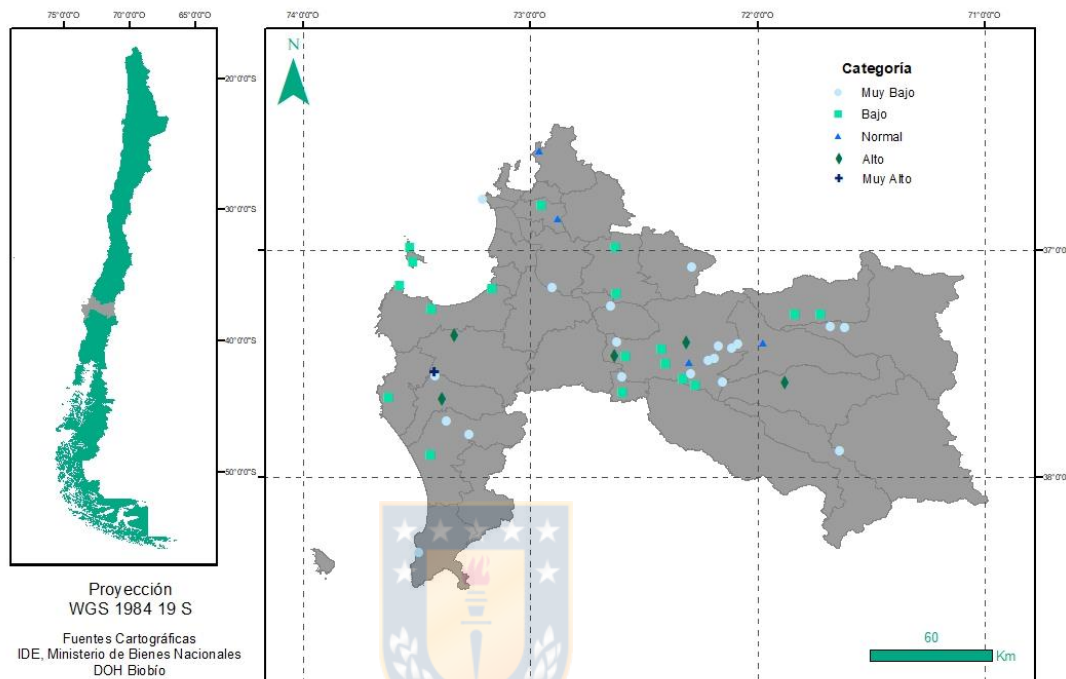


Figura 12. Categorización según desempeño kWh/m³ facturado por APR.

Conocido el desempeño de todos los APR se describen aquellos que presentan mayor y menor consumo de energía, presentándose geográficamente en las **Figura 13** y **14** respectivamente.

A continuación, aquellos APRs estudiados que presentan más gasto energético.

- Pichiarauco: con 8,5 kWh/m³ facturado. Ubicado en la comuna de Curanilahue y en marcha desde el año 2016, abastece a 123 arranques. Este APR capta agua desde una fuente superficial (estero) mediante el uso de un equipo electromecánico (bomba) para luego conducir el agua hasta el estanque ubicado a 2.380 metros lineales de longitud aproximadamente y presenta un filtro para abatir fierro.

- San José de Colico: con 2,2 kWh/m³ facturado. Perteneciente a la comuna de Curanilahue y funcionando desde el año 2003, abastece a 357 arranques. Capta el agua desde una fuente superficial (rio) con uso de equipo electromecánico (bomba), es conducida al estanque a través de alrededor de 4.200 metros lineales y presenta un filtro para abatir turbiedad.
- Rarinco – Natre Rarinco – Santa Clara: presenta un 2,0 kWh/m³ facturado. De la comuna de Los Ángeles y abasteciendo a 241 arranques fecha su funcionamiento desde el año 1999. Presenta captación de tipo subterránea y por medio de equipo electromecánico (bomba), luego es conducida por cerca de 2.000 metros lineales y utiliza un filtro para abatir fierro.
- Antihuala – Temuco Chico – La Araucana: con 1,7 kWh/m³ facturado. Ubicado en la comuna de Los Álamos abastece a 1198 arranques y fue puesto en marcha en el año 1997. Tiene tipo de captación de agua superficial (río) mediante el uso de equipo electromecánico (bomba) para ser conducida a través de 5.060 metros lineales y utiliza filtro para abatir turbiedad.
- Villucura: presenta 1,9 kWh/m³ facturado. Ubicado en la comuna de Santa Bárbara y en marcha desde el año 1985, abastece a 93 arranques. Este APR capta agua desde una fuente superficial (río) mediante el uso de un equipo electromecánico (bomba) para luego conducir el agua hasta dos estanques ubicados a 2.095 y a 3.510 metros lineales de longitud aproximadamente y presenta un filtro para abatir turbiedad.

Como se puede apreciar en la descripción de los APR con peor desempeño, presentan gran variedad en sus características. Con los resultados obtenidos no es posible asociar la cantidad de energía incorporada en base a los factores analizados, quedando demostrado mediante las variables: número de arranques abastecidos (entre 93 y 1198), del año de puesta en marcha (entre 1985 y 2016);

ubicación geográfica (con presencia en la Cordillera de la Costa, Valle Central y Cordillera de los Andes); y tipo de captación (subterránea o superficial). No obstante, comparten las características de utilizar equipos electromecánicos para la conducción del agua, presentan algún tipo de filtro y las distancias entre la fuente de captación y el estanque (conducción) son superiores a los 2.000 metros de longitud lineal. Estas características compartidas podrían ser los factores que mayor incidencia tienen en el gasto energético, lo que presenta cierta lógica, ya que al utilizar equipos electromecánicos en la captación y conducción de agua se requiere de energía y al tener que recorrer grandes distancias y superar pérdidas de presión debido al uso de filtros, los equipos que entregan presión al sistema deben otorgar potencias mayores para lograr entregar un servicio óptimo.

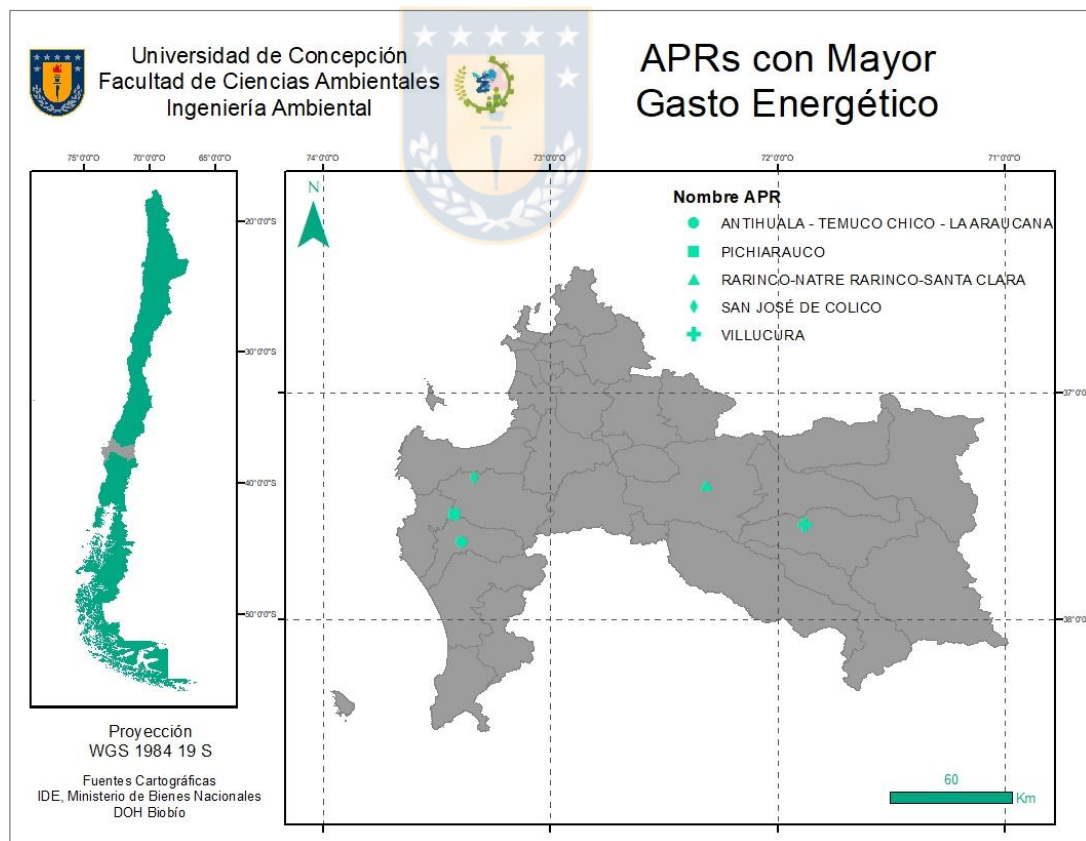


Figura 13. Ubicación geográfica de los seis APR con menor indicador del uso de la energía por volumen facturado (kWh/m³ facturado).

- Agua y Sol: con 0,0022 kWh/m³ facturado. Ubicado en la comuna de Antuco y en marcha desde el año 1969, abastece a 872 arranques. Este APR capta agua desde una vertiente y la conduce de forma gravitacional a través de 120 metros lineales aproximadamente.
- Cayucupil: utiliza 0,0116 kWh/m³ facturado. Pertenece a la comuna de Cañete, fue puesto en marcha el año 1984 y abastece a 458 arranques. Capta agua desde una fuente superficial (estero) de forma gravitacional para luego conducir el agua por cerca de 1.400 metros lineales. Utiliza filtro para abatir turbiedad.
- Huillinco: consumiendo 0,0113 kWh/m³ facturado. Situado en la comuna de Cañete, abastece a 434 arranques desde 1998. Presenta un tipo de captación superficial (estero), conduce el agua de forma gravitacional por alrededor de 231 metros lineales y presenta un filtro para abatir turbiedad.
- Villa Los Rios: con 0,0210 kWh/m³ facturado. Está emplazado en la comuna de Los Álamos, comenzó su servicio en el año 2016 y abastece a 169 arranques. Capta agua desde una fuente superficial (estero) mediante el uso de un equipo electromecánico (bomba), la conduce por 2.570 metros lineales hasta el almacenamiento y presenta un filtro para abatir fierro.
- Ralco: utiliza 0,0286 kWh/m³ facturando. Ubicado en la comuna de Alto Biobío y en marcha desde el año 1986, abastece a 683 arranques. Este APR capta agua desde una fuente superficial (estero), la conduce de forma gravitacional a través de 170 metros lineales aproximadamente y presenta un filtro para abatir turbiedad.
- Villa Las Rosas – Villa Peluca: utiliza 0,0364 kWh/m³ facturado. Pertenece a la comuna de Antuco, fue puesto en marcha el año 1987 y abastece a 334 arranques. Capta agua desde vertiente de forma gravitacional para luego conducir el agua por cerca de 650 metros lineales. Utiliza filtro para abatir turbiedad.

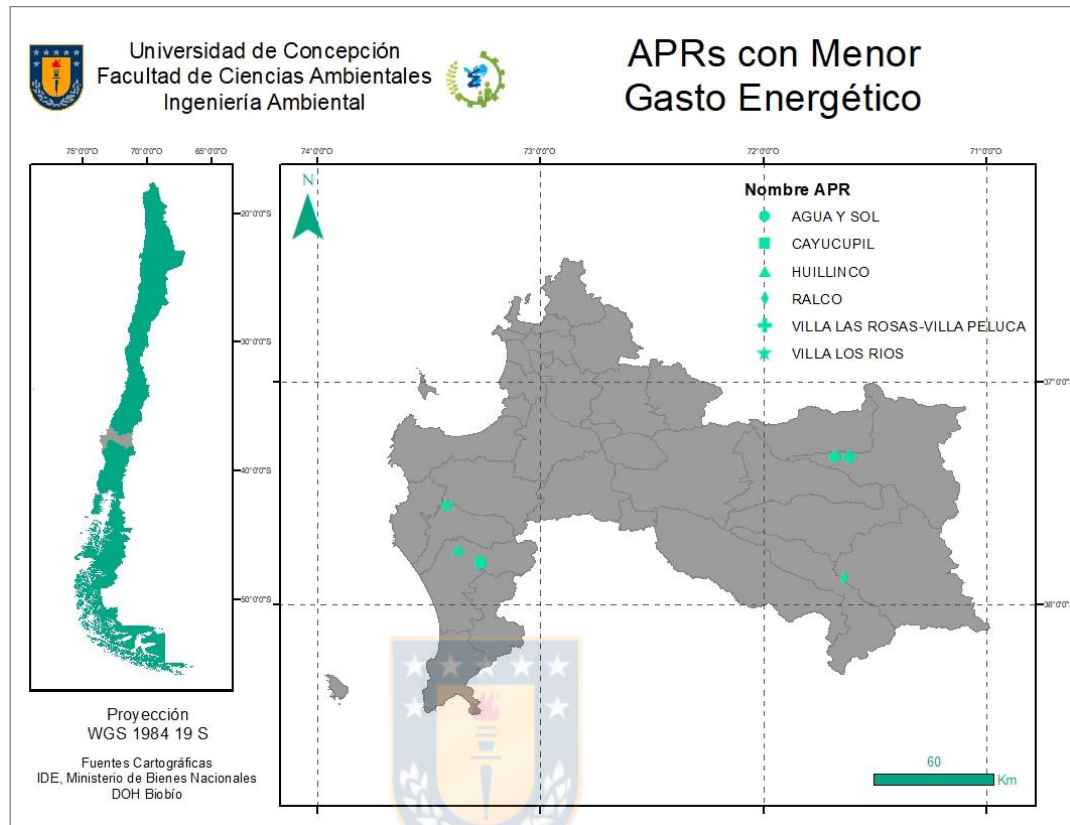


Figura 14. Ubicación geográfica de los seis APR con menor indicador del uso de la energía por volumen facturado (kWh/m^3 facturado).

La descripción de los APRs con mejor desempeño también presenta gran variedad en sus características, no siendo posible afirmar que se debe al número de arranques abastecidos (entre 169 y 872) o al año en que se puso en marcha (entre 1969 y 2016). Estos APRs tienen presencia en la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, captan agua desde vertientes o estero y en su mayoría conducen el agua captada de forma gravitacional. A diferencia de aquellos APR que más energía utilizan, solo uno de los seis utiliza un equipo electromecánico para la conducción del agua, por lo que no incurren en gastos de energía. El tipo de fuente y la ubicación geográfica permite establecer la hipótesis que, si la calidad de agua no es tan mala, ya que por ser vertientes o esteros ubicados en zonas altas no hay mayores usos aguas arriba y que si están emplazados en

zonas con desniveles de altura, ya que se encuentran en relieves cordilleranos, no tienen la necesidad de incorporar tanta energía en los procesos de mejorar la calidad ni en la conducción de agua para el almacenamiento y distribución.

Más allá de las inferencias a las que se hace alusión en aquellos APRs con mayor y menor gasto energético, no es posible agrupar una característica o factor común que explique por qué un APR logra cierto grado de desempeño energético.

Con la finalidad de comparar los valores obtenidos de los indicadores energéticos para los APRs analizados en la región del Biobío con valores reportados en la literatura, se recopilaron los gastos energéticos que presenta la **Tabla 6**. Comparativamente no hay grandes diferencias entre los APR estudiados y los datos recopilados, es más, presentan valores de gasto energético en órdenes de magnitud similar.

Tabla 8. Gastos energéticos en servicios de abastecimiento urbano de agua potable.

Fuente	Caso de estudio Abastecimiento de agua potable	Gasto energético (kWh/m ³)
Molinos M. & Sala R. (2017)	Chile (solo tratamiento)	0,002 - 0,72
Loubet P. et al. (2014)	Copenhague, Dinamarca	0,28
Loubet P. et al. (2014)	Sidney, Australia	0,32
Olsson G., 2012	Suecia	0,46
Plappally A. & Lienhard V. (2012)	Estados Unidos	0,285 - 3,98
Lam K. et al. (2016) & Poussade Y. et al. (2011)	Brisbane, Australia	0,518
Melbourne Water, City West Water Corporation & South East Water (2014)	Melbourne, Australia	0,139
City of Toronto (2015)	Toronto, Canada	0,676
Danish Water and Waste Water Association (2014)	Copenhague, Dinamarca	0,25
Paul R. (2014)	Bangalore, India	4,2
Sapporo City Waterworks Bureau (2015)	Sapporo, Japon	0,13
Tokyo Metropolitan Government Bureau of Waterworks (2015)	Tokio, Japon	0,528
Yokohama Waterworks Bureau (2011)	Yokohama, Japon	0,353
Venkatesh G. et al. (2014)	Oslo, Noruega	0,351
Shrestha S. (2015)	Bangkok, Tailandia	0,217
Western Resource Advocates (2009)	Denver, Estados Unidos	0,188
Los Angeles Department of Water and Power (2011) & The City of San Diego (2015)	San Diego, Estados Unidos	1,987 - 2,989
Navigant Consulting (2015)	San Francisco, Estados Unidos	0,390

Los datos descritos anteriormente muestran diferentes casos de estudio en servicios de abastecimiento urbano. Hay que considerar que los servicios estudiados en esta investigación son rurales por lo que presentan características diferentes en cuanto a recursos de toda índole. A pesar de la diferencia descrita, al igual que los servicios rurales, los servicios urbanos presentan un amplio rango de gasto energético, desde aquellos que utilizan $0,13 \text{ kWh/m}^3$ hasta los $4,2 \text{ kWh/m}^3$, causado por las características propias que presentan los servicios. Aun compartiendo la calidad de urbano y estando en grandes ciudades, estos servicios presentan diferentes niveles de desarrollo, tecnologías, fuente de energía, fuentes de agua, sistemas de tratamiento, diseños de red, población abastecida y distribución de esta, por lo que la incidencia de estos factores determina la cantidad de energía necesaria para entregar el agua potable. El rango que presentan los servicios estudiados va entre los $0,002 \text{ kWh/m}^3$ producido y los $4,721 \text{ kWh/m}^3$ producido, determinado por los mismos factores mencionados anteriormente. Es importante señalar que, a pesar de tener similitudes en tecnologías de tratamiento o equipos, todos los otros factores son los que influyen en el uso de energía y así se explica la amplitud del rango, por lo que se demuestra que según como sea el servicio de abastecimiento será su gasto.

5.2.1.1. Gasto Energético asociado a las pérdidas de agua en la red de conducción y distribución

En los sistemas de transporte de agua de los APRs, se considera la red de conducción, desde la captación al estanque de almacenamiento y la red de distribución, del estanque de almacenamiento a los arranques de los hogares. La pérdida de agua por la red de conducción y distribución es la diferencia entre el volumen producido (gasto teórico) y el facturado (gasto real). De los APRs catastrados en este estudio, sólo 17 planta cuentan con un registro de ambos

volúmenes, producido y facturado. Para estas APRs se determinó la pérdida de agua y la energía perdida asociada los porcentajes de agua producida perdida.

Es por lo anterior que con el cálculo de los kWh/m³ producido se logran los resultados que siguen. De acuerdo a los datos recopilados se aprecia un rango de gasto energético mayor a 1 kWh/m³ producido. Se destaca el APR “Antihuala – Temuco Chico – La Araucana” con el mayor gasto energético, utilizando 1,1 kWh/m³ producido, con una desviación estándar de 0,17 kWh/m³ producido. En el otro extremo destaca el APR “Cayucupil” con un gasto de 0,0072 kWh/m³ producido y una desviación estándar de 0,003 kWh/m³ producido (**Figura 15**).

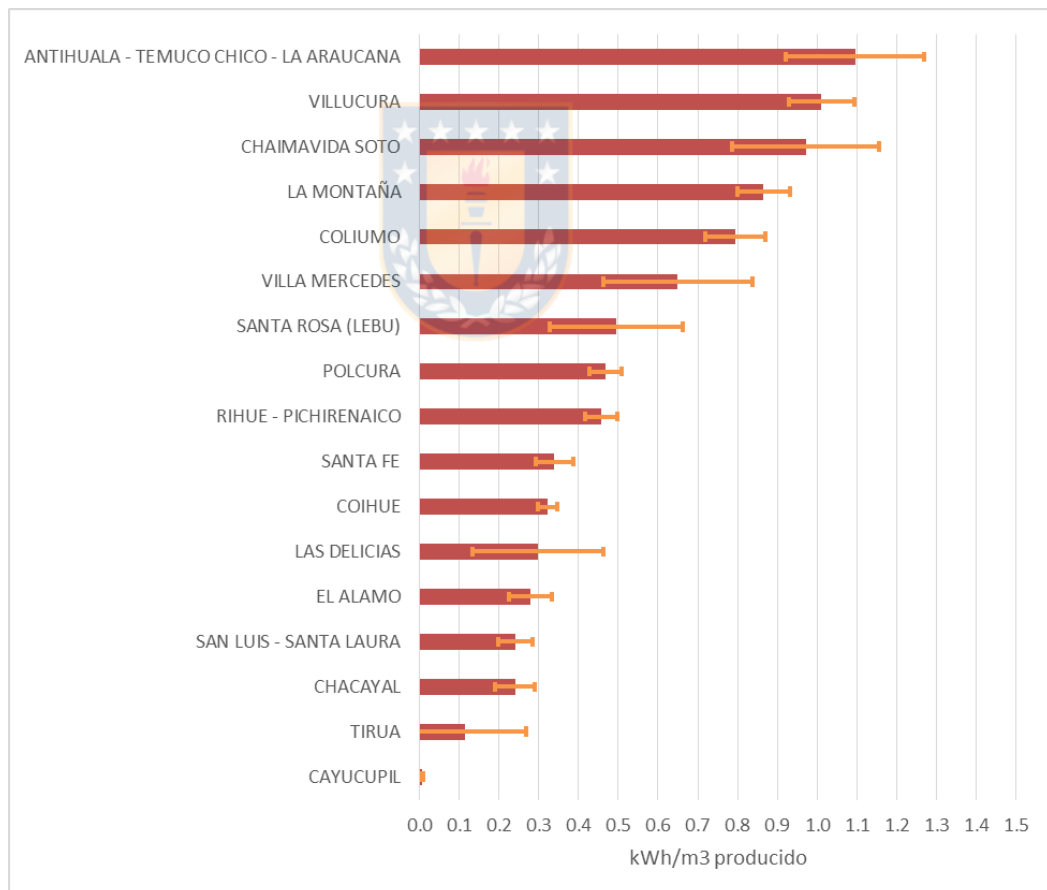


Figura 15. Promedio mensual del gasto energético por metro cubico producido (kwh/m³producido) en el periodo enero 2019 – octubre 2019 de los APRs. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el período estudiado.

Ante estos resultados relativos a los volúmenes producidos se presenta la **Tabla 7**, que presenta la pérdida de energía acumulada en el periodo enero 2019 – octubre 2019, derivado de las pérdidas de agua.

Tabla 9. Cantidad de energía perdida por APR entre enero 2019 y octubre 2019 en 17 APR con datos de volumen facturado y producido.

APR	kWh/m ³ producido	Desviación estándar	kWh/m ³ facturado	Desviación estándar	% promedio de volumen perdido	kWh total perdido entre ene - oct 2019
Cayucupil	0.01	0.00	0.01	0.01	33.89	181.07
Tirúa	0.12	0.15	0.14	0.20	17.63	4260.10
Chacayal Norte - Sur	0.24	0.05	0.26	0.05	6.00	3313.74
San Luis - Santa Laura	0.24	0.04	0.38	0.16	32.63	3488.86
El Alamo	0.28	0.05	0.32	0.06	13.56	761.91
Las Delicias	0.30	0.16	0.36	0.17	18.16	2689.31
Coihue	0.32	0.02	0.39	0.04	16.11	3640.45
Santa Fé	0.34	0.05	0.53	0.08	35.95	14889.74
Rihue - Pichirenaico	0.46	0.04	0.66	0.07	30.38	6978.47
Polcura	0.47	0.04	0.63	0.07	24.93	11844.01
Santa Rosa	0.49	0.17	0.63	0.26	20.13	6983.14
Villa Mercedes	0.65	0.19	0.70	0.21	6.97	4056.39
Coliumo	0.79	0.07	1.21	0.16	34.12	25494.00
La Montaña	0.86	0.07	1.54	0.33	41.41	22257.25
Chaimavida Soto	0.97	0.18	1.15	0.19	15.69	3871.49
Villucura	1.01	0.08	1.92	0.29	46.60	8142.46
Antihuala - Temuco Chico - La Araucana	1.10	0.17	1.67	0.23	33.88	81757.07

KWh perdido: cantidad de energía perdida estimada, resultante de la diferencia entre la estimada por volumen producido y la estimada por volumen facturado.

El APR “*Villucura*” es quien tiene un mayor porcentaje de pérdida entre volúmenes, equivalente a un 46,6%. No obstante, el APR con mayor cantidad de energía perdida es “*Antihuala – Temuco Chico – La Araucana*”, el cual de acuerdo a sus volúmenes de pérdida extiende una pérdida de energía de 81.757,07 kWh entre enero y octubre del 2019, los cuales son ilustrados en la **Figura 16**. Dentro de las causas existentes en las pérdidas de agua se encuentran roturas de tuberías de distribución debido a la antigüedad de la matriz, por fatiga del material, flexibilidad del material o que las fluctuaciones de presión en la distribución generen puntos que reciban mayor impacto y su capacidad de soporte no sea suficiente, provocando la rotura de uniones en la red. Además, el robo de agua también es un posible factor y perjudicaría a todos los usuarios del servicio. En materia de gestión, es importante considerar los datos que se

registran en los APRs y realizar un análisis del comportamiento de las variables de operación (calidad, acceso y cantidad) y eficiencia, con la finalidad de lograr una mejora continua y proponer soluciones en pro de la seguridad del abastecimiento de agua potable para la comunidad.

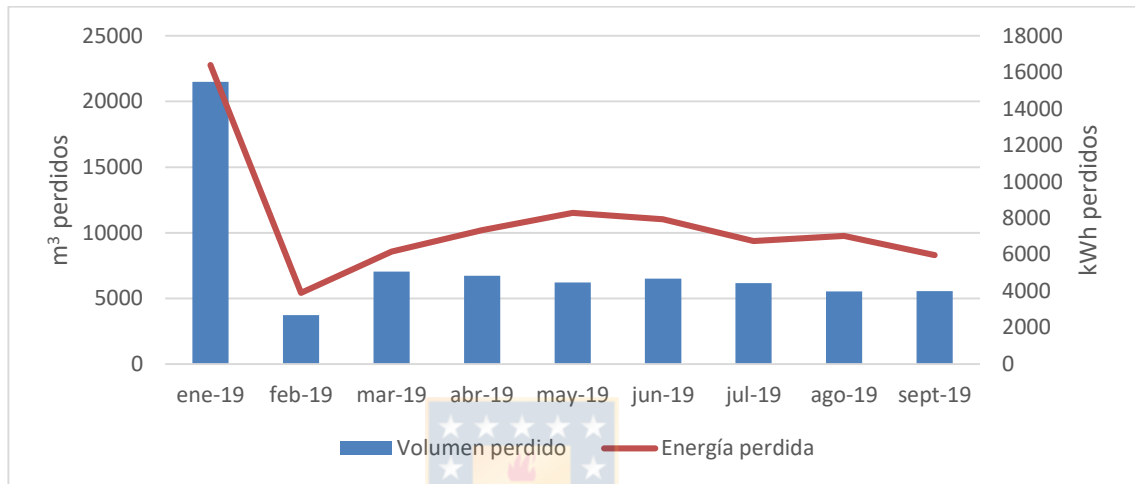


Figura 16. Volumen y energía perdidos provocados por las pérdidas de agua para el APR “San Antonio – Temuco Chico – La Araucana”.

5.2.2. Gasto energético de los APRs basados en el consumo de agua por habitante en el periodo estudiado

Este apartado presenta la información relativa al gasto energético que presentan los APRs por habitante abastecido, presentando los indicadores de kWh/persona/(enero 2019 – octubre 2019), kWh/persona/mes.

5.2.2.1. Consumo de agua por Habitante al día en cada APRs estudiado

En este estudio se identificó cuanta cantidad de agua consume cada persona diariamente por APR (**Figura 17**). El indicador de consumo Litros/persona/día es clave para determinar cuanta es la cantidad de energía total en la que incurren los APRs, ya que está energía incorporada en los sistemas debiese aumentar, en teoría, proporcionalmente a la cantidad de agua que demandan los usuarios, por lo que un APR que produzca más agua, cual sea su gasto por unidad de volumen, utilizará más energía. Dentro de los APRs con mayor consumo

destacan “Chacayal Norte – Sur”, “Talcamavida”, “Las Playas”, “Ralco” y “Polcura”, con consumos de 191, 171, 151, 151 y 143 L/p/d. Mientras que entre los APR con menor consumo aparecen “Llano Blanco”, “San José de Colico”, “Pichiarauco” y “Villa Los Ríos”, con consumos de 63, 67, 70 y 73 L/p/d. Para conocer la realidad de consumo en otros servicios se presenta la **Tabla 8** que muestra el consumo de agua potable en diferentes ciudades del mundo.



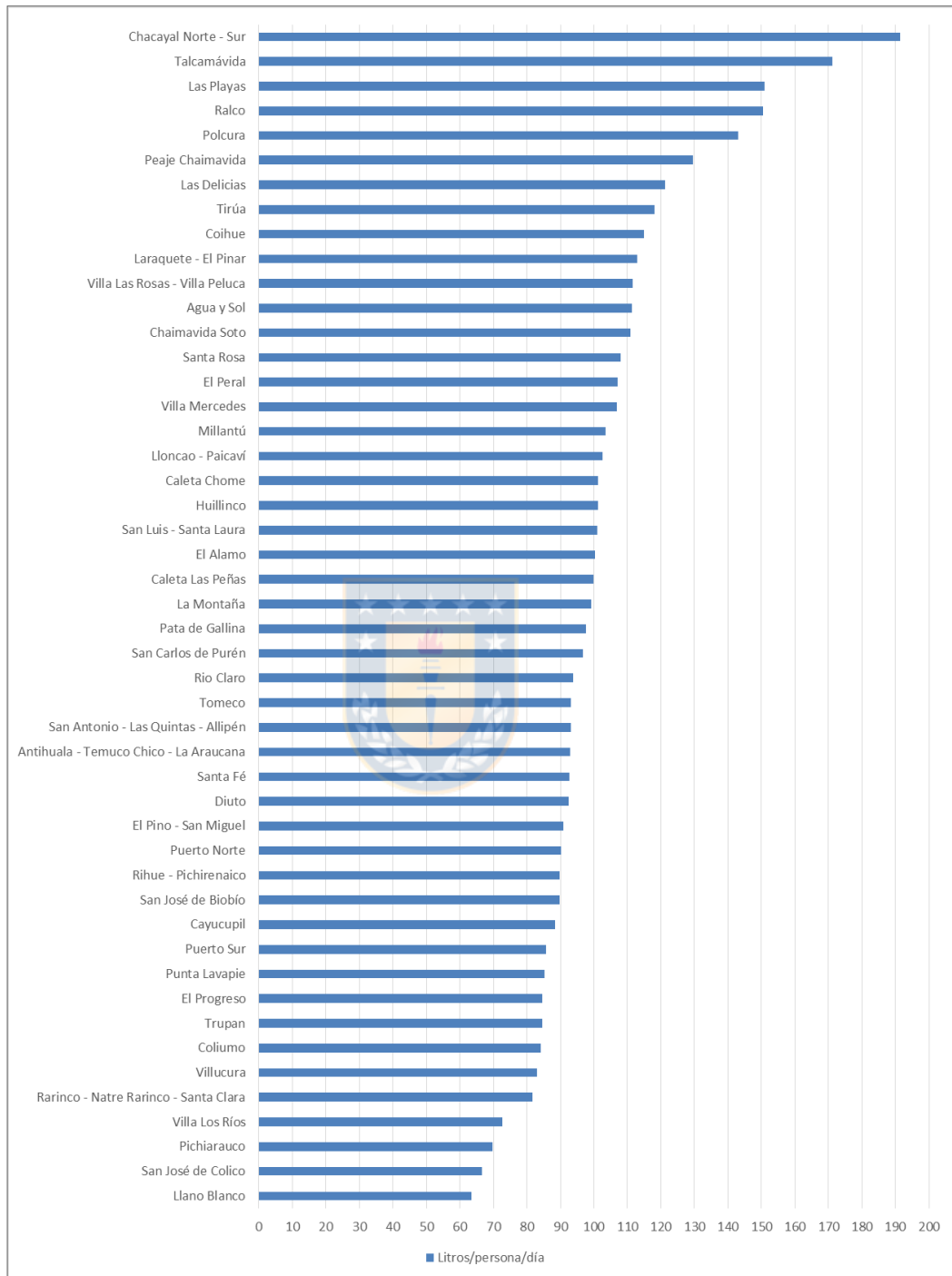


Figura 17. Consumo de agua diario por persona. Estimación realizada a partir de los promedios mensuales de consumo de cada APR y con 30 días de referencia por mes.

El promedio de consumo en los APR estudiados es de 103 L/p/d, con una desviación estándar de 25 L/p/d, mientras que para los servicios de abastecimiento urbanos presentados en la **Tabla 8** es de 344 L/p/d, con una desviación estándar de 123 L/p/d. La información señala que el consumo en los servicios urbanos está por sobre los consumos en los APR estudiados, lo que no quiere decir que utilicen más energía. Cabe señalar que la diferencia de consumo entre los APR es mayor a los 100 L/d/p, lo que demuestra los contrastes culturales o de necesidad de agua potable, dejando a la luz que hay comunidades que viven con mucha menos agua por día que otras y esto claramente puede extender sus impactos en salud o niveles de desarrollo. Para el caso urbano chileno, la SISS indica un valor de 172,2 L/d/p.

Tabla 10. Consumo de agua por persona al día en diferentes ciudades del mundo.

Ciudad	Litros/persona/día	Ciudad	Litros/persona/día
Brisbane, Australia	266	Delhi, India	229
Melbourne, Australia	251	Jamshedpur, India	462
Perth, Australia	361	Osaka, Japon	435
Sydney, Australia	312	Sapporo, Japon	266
Rio de Janeiro, Brasil	484	Tokyo, Japon	318
Salvador, Brasil	306	Yokohama, Japon	308
Sao Paulo, Brasil	297	Ciudad de México, México	336
Toronto, Canada	371	Oslo, Noruega	466
Beijing, China	460	Cape Town, Sudafrica	257
Tianjin, China	461	Bangkok, Tailandia	595
Copenhagen, Dinamarca	249	Denver, EE.UU.	541
Berlin, Alemania	162	Los Angeles, EE.UU.	435
Ahmedabad, India	148	San Diego, EE.UU.	488
Bangalore, India	109	San Francisco, EE.UU.	341
Bhopal, India	167	Tampa, EE.UU.	437

Fuente: información obtenida desde "Energy use for water provision in cities", Lam et al., 2017.

5.2.2.2. Desempeño del uso de energía por persona en los APRs de la región del Biobío

Se obtiene una aproximación de los patrones de uso por cada beneficiario de los servicios de agua potable rural. El primer indicador que se presenta es sobre el

gasto energético acumulado entre enero 2019 y octubre 2019 (kWh/p/(ene–oct 2019)). “Pichiarauco” presenta los habitantes de mayor gasto, utilizando más de 170 kWh/p/(ene-oct 2019), seguido por “Rarinco – Natre Rarinco – Santa Clara”, “Villucura” y “Antihuala – Temuco Chico – La Araucana”, con un gasto de 49,19 kWh, 46,59 kWh y 46,15 kWh, respectivamente. Los habitantes con menor gasto energético acumulado son “Agua y Sol” (0,07 kWh/p/(ene-oct 2019)), “Cayucupil” (0,28 kWh/p/(ene-oct 2019)), “Huillinco” (0,33 kWh/p/(ene-oct 2019)), “Villa Los Rios” (0,46 kWh/p/(ene-oct 2019)). El desempeño de todos los APR en estudio se presentan en la **Figura 18**.



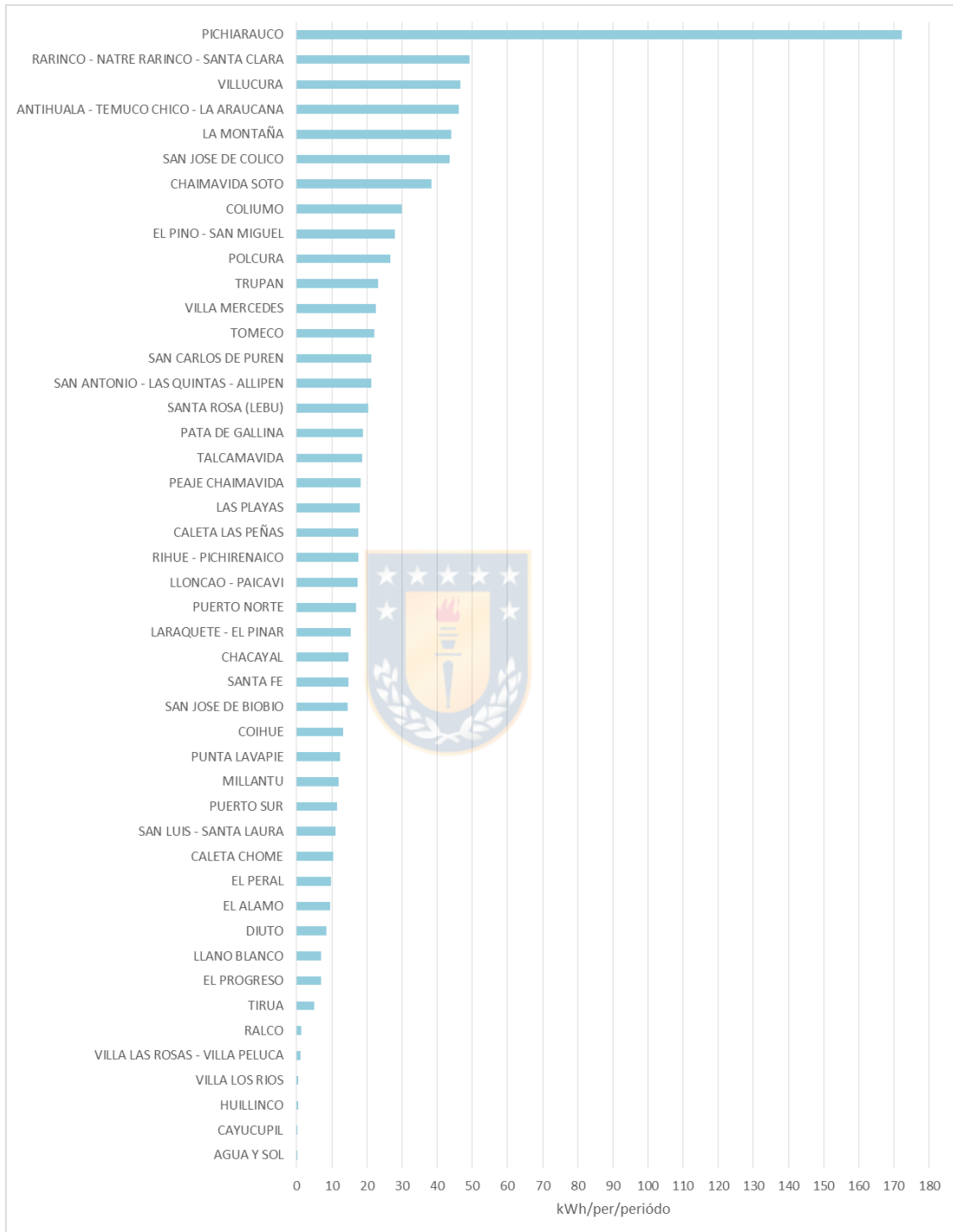
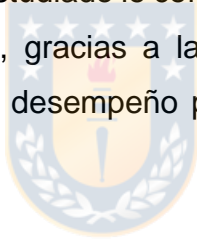


Figura 18. Gasto energético acumulado por persona durante el período enero – octubre 2019. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información para dos y un mes respectivamente.

Para el cálculo del gasto energético por persona durante el período estudiado se observa que existe una amplitud de 172,24 kWh/p/(ene-oct 2019). El 32,6% de los APR presenta habitantes por sobre el promedio de consumo, que es de 21,27 kWh/p/(ene-oct 2019), no obstante, este promedio presenta una desviación estándar de 26,15 kWh/persona/período debido principalmente a la influencia de “Pichiarauco” y su alto grado de consumo. Si se analiza sin tomar este último APR, el 42,2% de ellos se encuentra sobre el nuevo promedio, correspondiente a 17,91 kWh/p/(ene-oct 2019), con una desviación estándar de 13,02 kWh/p/(ene-oct 2019), demostrando la influencia que tiene “Pichiarauco” y lo alto que es su consumo en comparación al general de los APR. Por otra parte, indicar que los resultados muestran que cerca del 70% de la energía consumida por persona durante el período estudiado le corresponde a los APR que se presentan sobre el promedio. Además, gracias a la obtención del gasto acumulado se obtuvo la categorización del desempeño por habitante según APR, la cual se presenta en la **Figura 19**.



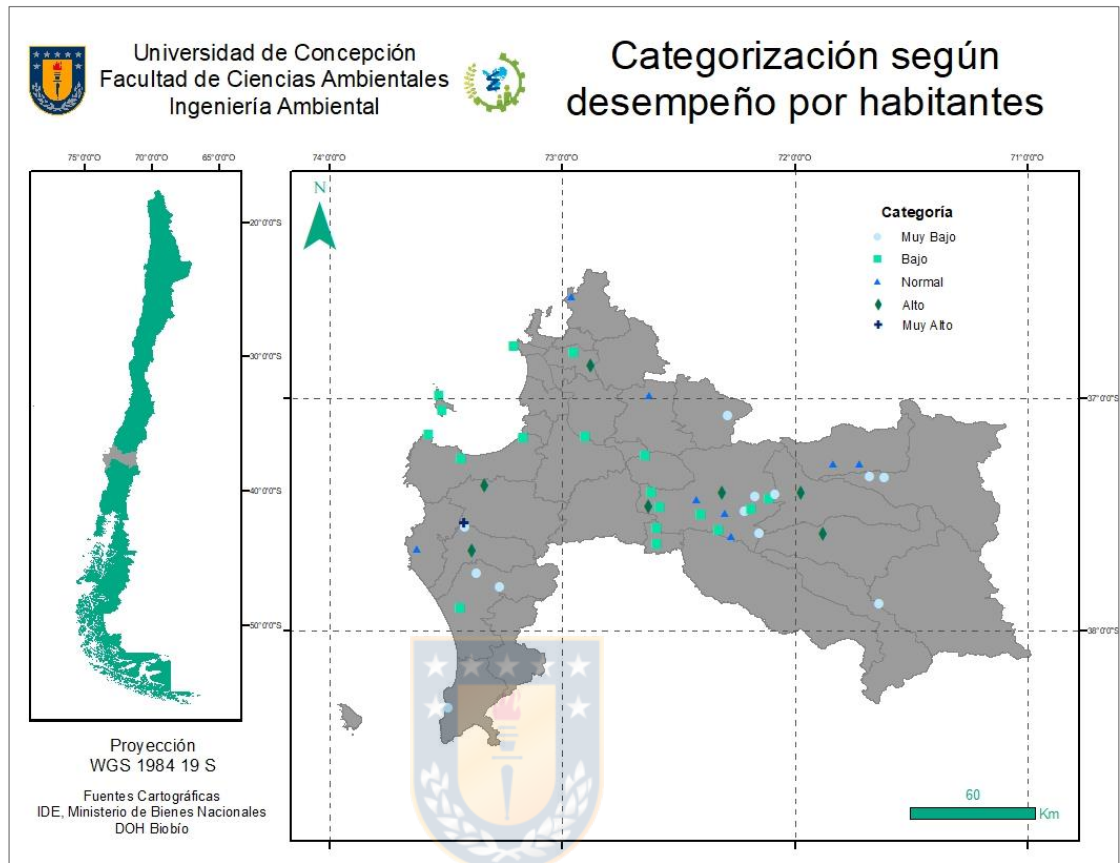


Figura 19. Categorización de gasto acumulado por persona durante el periodo en estudio (kWh/persona/enero – octubre 2019) según APR. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información para dos y un mes respectivamente.

Junto a los indicadores de desempeño acumulado, se presentan los resultados de desempeño mensual promedio por persona (kWh/persona/mes) con el fin de conocer cómo se comporta variabilidad durante el período en estudio. Acá, se repiten aquellas APR con mayor gasto, presentándose “Pichiarauco” con 17,23 kWh por persona mensualmente, y lo siguen los APR “Rarinco – Natre Rarinco – Santa Clara”, “Villucura” y “Antihuala – Temuco Chico – La Araucana” con 4,92 kWh, 4,66 kWh y 4,62 kWh, respectivamente, por persona al mes. Y nuevamente destacan con los menores gastos por persona al mes los APR de “Agua y Sol” (0,007 kWh), “Cayucupil” (0,028 kWh), “Huillinco” (0,033 kWh), “Villa Los Rios”

(0,046 kWh), “Villa Las Rosas – Villa Peluca” (0,112 kWh) y “Ralco” (0,13 kWh). La totalidad de los APR se presentan en la **Figura 20**.

Para este indicador, los APR “Las Delicias”, “Tirúa”, “Villa Las Rosas – Villa Peluca” y “Villa Los Rios” presentan mayor variabilidad que el resto, teniendo variaciones superiores a la mitad del promedio calculado. Debido a lo anterior se presenta la **Figura 21** que presenta las tendencias de gasto y consumo durante el período estudiado. En ella se puede observar que las variaciones no tienen un comportamiento general, pudiendo encontrar causas que apelan más a las dificultades productivas particulares de cada APR.

Finalmente, se presenta la categorización del desempeño de gasto promedio mensual por habitantes según APR en la **Figura 22**.



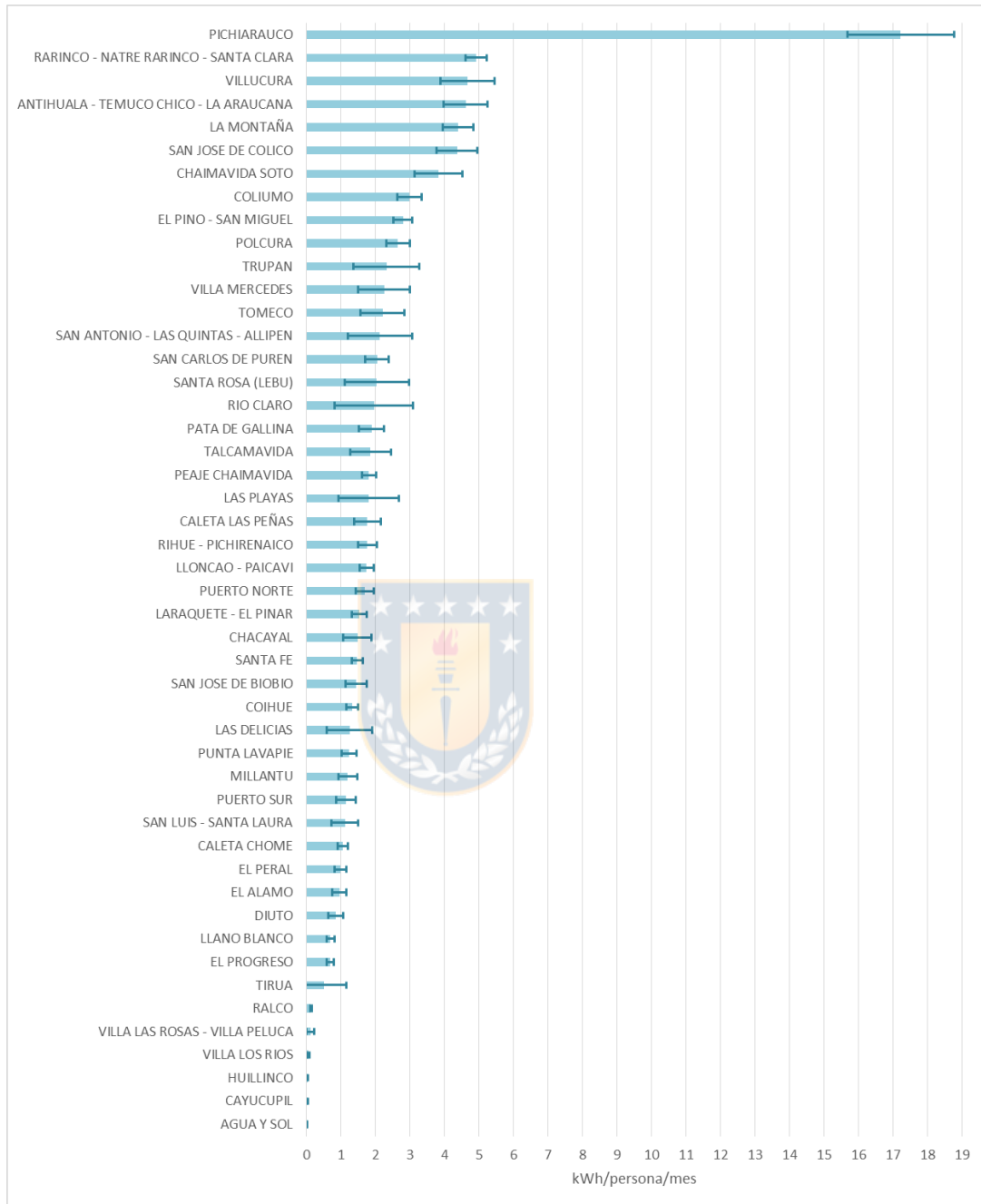


Figura 20. Promedio mensual del gasto energético por persona (kWh/persona/mes) en el periodo enero 2019 – octubre 2019. Desviación estándar determinada con un n=10 meses e ilustra la variabilidad del gasto energético durante el periodo estudiado.

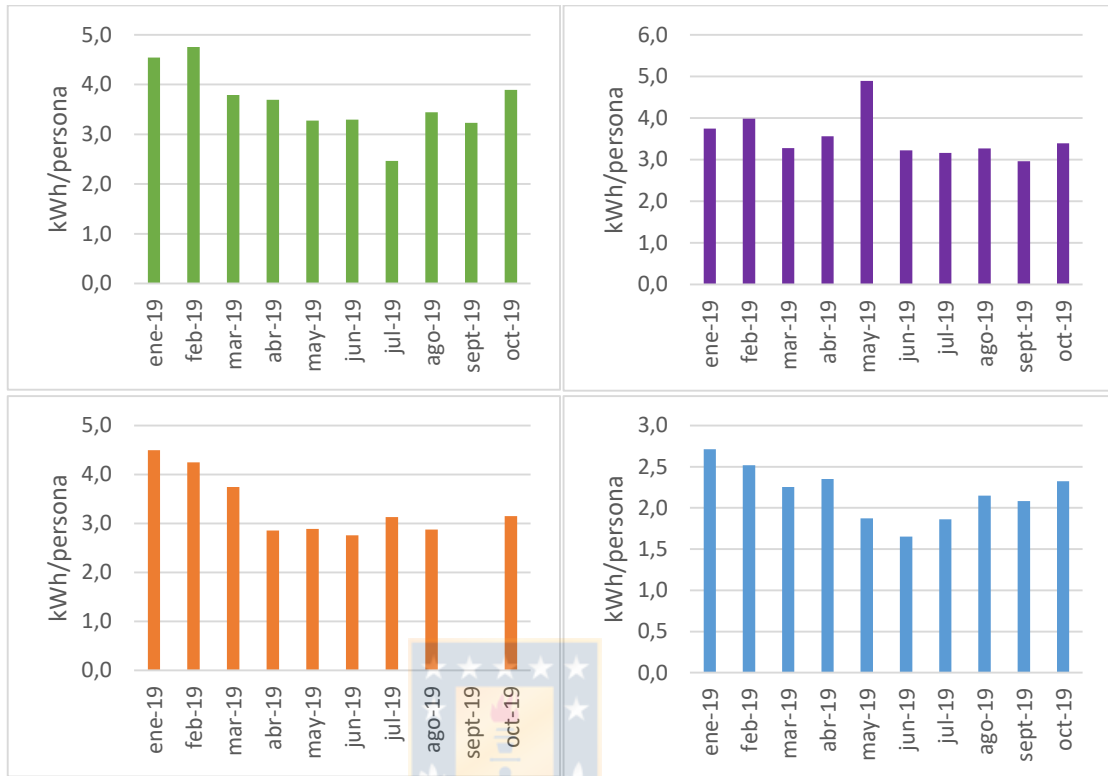


Figura 21. Consumo energético mensual por persona (kWh/persona/mes) de los cuatro APRs que presentan una mayor variabilidad en su desempeño mensual. (De izquierda a derecha y de arriba abajo) Las Delicias, Tirúa, Villa Las Rosas – Villa Peluca y Villa Los Ríos.

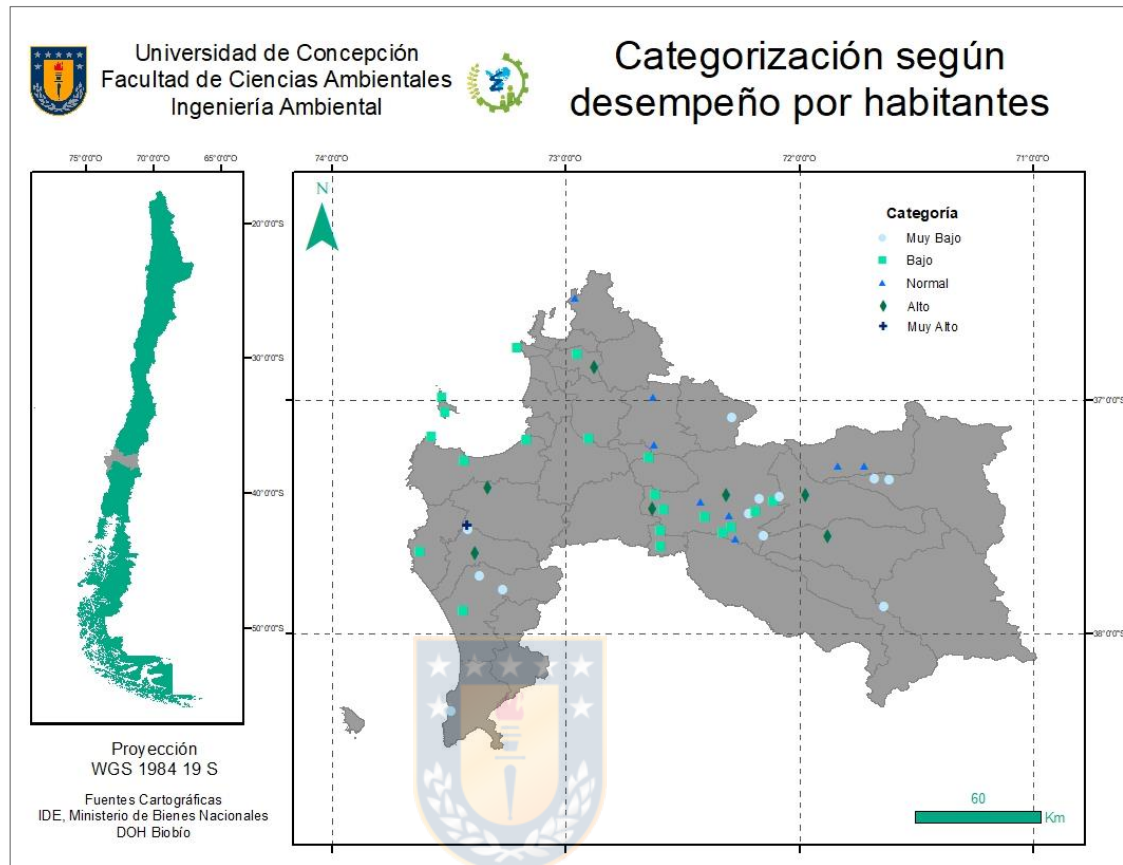


Figura 22. Categorización de desempeño de gasto energético por persona mensualmente (kWh/persona/mes) según APR.

5.3. Gases de efecto invernadero aportados por el gasto energético al producir agua potable en los APRs estudiados

A partir de los indicadores de desempeño energético para los APRs en estudio, se extendió el cálculo para observar el aporte de emisiones provenientes de los servicios de abastecimiento de agua potable rural. Las **Figuras 23 y 24** presentan las emisiones acumuladas durante el periodo enero 2019 – octubre 2019 por APR y por persona según APR respectivamente. Para 46 de las APR estudiadas se calcula un aporte acumulado de GEI entre enero 2019 – octubre 2019 de 589.735 kgCO_{2eq}. El valor calculado de emisiones representa al 41% de las APR (DOH) vigentes en la región del Biobío. A partir de estos resultados, se estima, mediante

la extrapolación de los aportes de GEI calculados, el aporte promedio por año de un servicio de abastecimiento rural de la región del Biobío en un valor cercano a los 15.385 kgCO_{2eq}/año, el cual es cerca de 7 veces menor al aporte promedio por planta de tratamiento de agua potable urbano que indica *Molinos-Senante M. y Guzmán C. (2018)* el cual corresponde a 109.004 kgCO_{2eq}/año, calculado en base a 36 plantas de tratamiento de agua potable con sistema de tratamiento convencional, durante el año 2014. En cuanto al aporte por habitante, el promedio de emisiones es de 8,69 kgCO_{2eq} acumulado entre enero 2019 – octubre 2019, con una desviación estándar de 10,7 kgCO_{2eq}/persona/(ene-oct 2019).



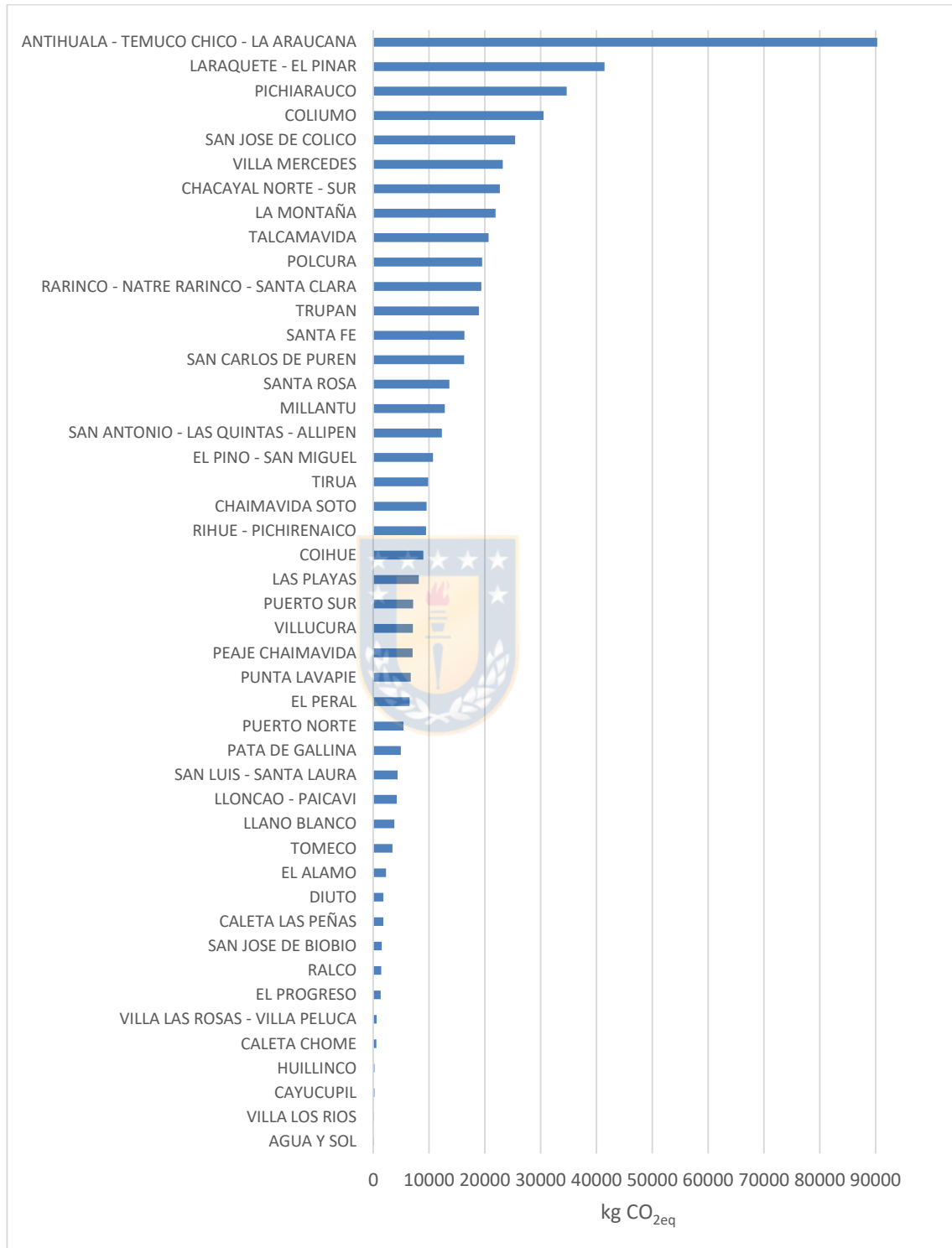


Figura 23. Aporte de emisiones de GEI acumuladas por APR entre enero 2019 – octubre 2019. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información de gasto energético para dos y un mes respectivamente.

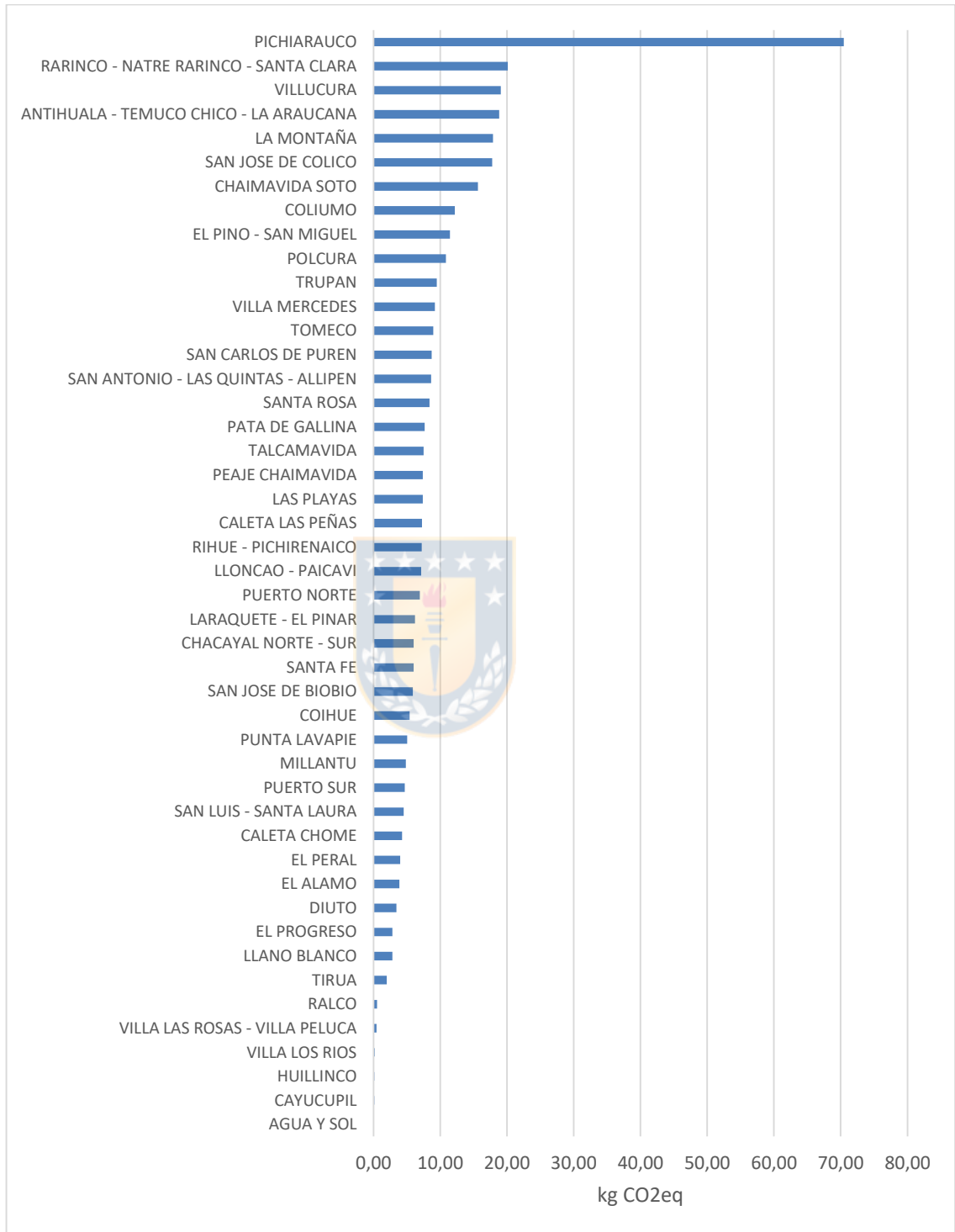


Figura 24. Aporte de emisiones de GEI acumuladas por persona entre enero 2019 – octubre 2019 según APR. No se incluyen los APR “Las Delicias” y “Río Claro” ya que no presentan información de gasto energético para dos y un mes respectivamente.

Los resultados relativos al aporte de emisiones de GEI por APR y por habitante consideran solo el consumo eléctrico, no obstante, la realidad mostrada por los APRs en estudio indica que en ocasiones se utilizan equipos electrógenos a combustible debido a cortes del servicio eléctrico. El uso de los sistemas electrógenos ha pasado a ser una solución de emergencia para algunos APRs que están expuestos a la interrupción del servicio de agua potable debido a la inestabilidad del sistema eléctrico que los abastece.

Cada mejora en materia de disminución de consumo energético podría, además, ser un aporte en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. El trabajo en conjunto de los cambios en características o equipos y la inclusión de combustibles menos contaminantes o energías renovables, entregan una mejora en materia de impacto en emisiones de gases. Es por esto que incluir el impacto o aporte al calentamiento global como un factor a tener en cuenta, como un costo para los usuarios, que existe y genera un impacto proporcional al agua que se consume o a la forma en cómo se produce, entrega una oportunidad en materia de gestión y así la búsqueda de desarrollo

En el contexto de escasas hídrica, sobre la cantidad de agua disponible, queda la duda sobre el escenario futuro relativo a la calidad del agua, poniendo en discusión la preocupación por la latente amenaza de cambio climático, causa de un incremento en la intensidad energética por tratamiento. La influencia de potenciales cambios (**Tabla 9**) y su efecto en la calidad requiere de mayores esfuerzos en la preparación de los servicios de abastecimiento.

Tabla 11. Potencial impacto debido a efectos del cambio climático.

Indicadores de calidad de agua	Potencial influencia climática
pH	Aumento debido a sequías y clima más cálido
Temperatura	Aumento debido a clima más cálido
Alcalinidad	Aumento debido a clima más cálido
Turbiedad	Aumento de en aguas superficiales debido a eventos de lluvias fuertes
Dureza	Aumento de dureza y salinidad debido a invasión de agua de mar a recursos de agua dulce
Materia orgánica	Florecimientos más frecuentes de algas y cianobacterias debido a clima más cálido
Sustancias volátiles	Aumento de flujo de pesticidas debido a aumento de precipitación

Fuente: "Understanding the influence of climate change on the embodied energy of water supply". Mo et al., 2016.

Ante lo anterior las realidades observadas en los APRs son muy diferentes y requieren de una evaluación sobre la capacidad de preparación que tienen frente al escenario de cambio climático. Se pudo recopilar observaciones por parte de las distintas personas que realizan labores en los APRs que tienen que ver con lo frágiles que son los servicios de los que dependen, los que, ante problemas eléctricos o inconvenientes con algunos equipos, disminuyen la calidad del servicio (sin tratamiento) o disminuyen la cantidad del servicio (no tienen la capacidad de satisfacer la demanda), ya que no cuentan con las herramientas y recursos para resolver estas dificultades.

Finalmente, resulta importante avanzar en materia de gestión en cada uno de los APRs, además, de incluir políticas e iniciativas que logren monitorear y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los servicios de abastecimiento de agua potable rural a través de programas de conservación o uso eficiente de energía, así como planes de desarrollo de tecnologías con baja demanda energética. Con esto se esperan oportunidades y beneficios directos en materia social, natural y económica.

5.4. Análisis de los indicadores de consumo de energía y su relación con factores que inciden en la cantidad de energía que se le incorpora a los servicios de abastecimiento de agua potable

Como se mencionó anteriormente, variados estudios en plantas urbanas de mayor tamaño, agrupados por *Lam et al. (2017)* indican las relaciones que existen entre la intensidad energética de los servicios de abastecimiento de agua potable y las características de estos mismos, es por esto que se quiso realizar una revisión de la dependencia que puede existir en los APRs en estudio. Este vínculo fue buscado entre aquellos factores medibles como lo son la Longitud de Conducción (desde la fuente hasta el almacenamiento), la Longitud de Distribución (desde el almacenamiento hasta las viviendas de cada vivienda) o Condiciones climáticas. En la **Tabla 1** (sección 1.2.) se relaciona el gasto energético de producción de agua potable con las siguientes categorías de factores:

- Topografía;
- Clima;
- Patrones de uso;
- Eficiencia operacional.

A continuación, se analizan las relaciones que presentan los indicadores de desempeño energético y cada factor del cual se recopiló su información.

5.4.1. Relación de indicadores de desempeño energético y factores topográficos

Dentro de las características que presentan los servicios de abastecimiento, aquellas que se encuentran en la categoría topográfica son las que más destacan debido a su gran influencia en la cantidad de energía que requerirá el servicio, tal como indica *Cook et al. (2012)* “La topografía local puede tener una fuerte influencia en la distancia y levantamiento requerido para captar, transportar y distribuir el agua y con ello en la energía de bombeo”. Esta situación, obviamente,

se extiende a los APRs estudiados, con características como longitud de distribución y longitud de conducción. Esto se explica bajo la simple lógica que mientras mayor esfuerzo deba hacer el agua durante su transporte, mayor debiese ser el consumo energético del sistema para alcanzar los niveles de presión necesarios, todo esto mediante el uso de equipos como bombas presurizadoras que requieren energía para su funcionamiento.

A partir de los resultados de jerarquización de gastos energéticos por APR, no se distingue la existencia de una influencia clara del grado de forma general, ya que el desempeño energético de los APRs es variado en las diferentes interacciones, como se puede apreciar en la **Figura 25**. Es por esto que se podría indicar que en la región del Biobío el grado de pendiente en donde se ubican los APR estudiados no necesariamente determina la cantidad de energía que se le incorpora a los sistemas, principalmente porque el diseño contempla la instalación del estanque de almacenamiento de agua potable a una altura suficiente para evitar la incorporación de bombas impulsoras en la red de distribución. Esta indicación no quiere decir que la pendiente no influya, pero al tratarse de una capa de altura con pixels grandes para las dimensiones sobre las cuales se trabaja no es posible observar el claro vínculo entre gasto energético y pendiente.

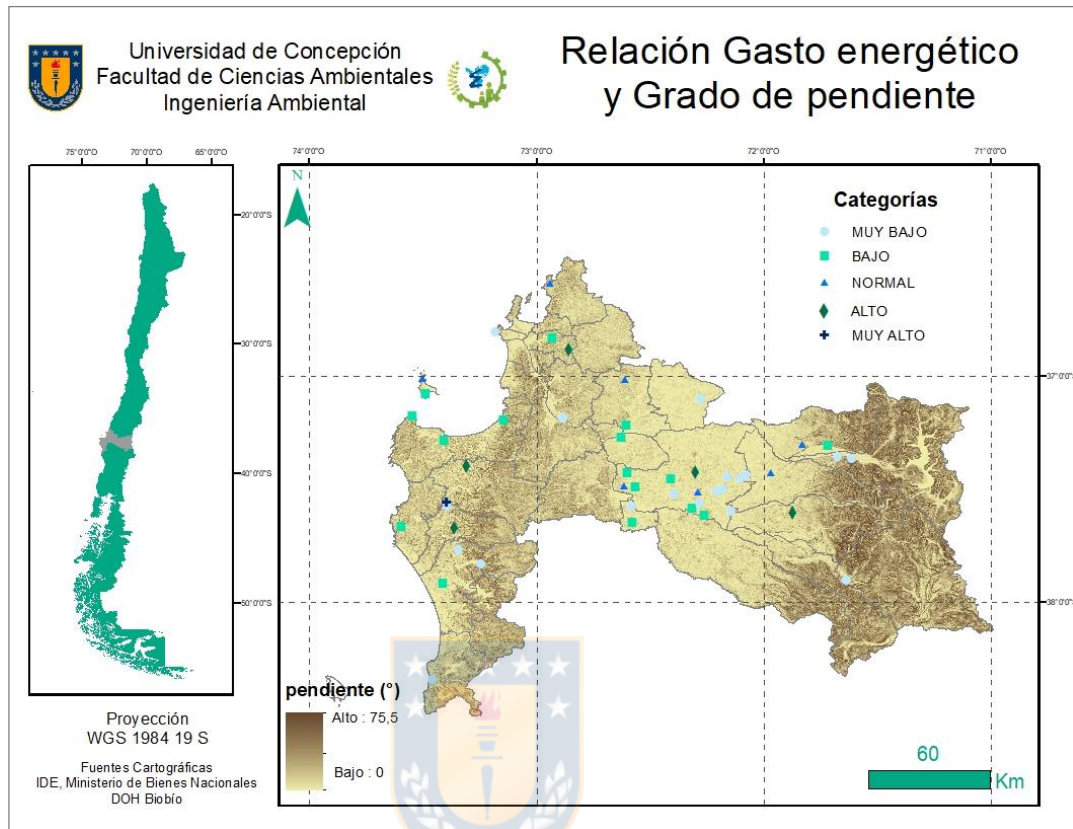


Figura 25. Relación Gasto energético por volumen facturado – Grado de pendiente.

En cuanto a la distribución, se refiere a la longitud lineal de las tuberías que distribuyen el agua potable hasta los distintos puntos de consumo, teniendo estas longitudes una amplitud de rango cercano a los 38000 metros, en donde “Caleta Las Peñas” presenta solo 1.000 metros lineales de distribución, y “Chacayal Norte – Sur” tiene la longitud de distribución mayor correspondiente a 39.100 metros lineales. El detalle por APR se puede mirar en la **Tabla 10**.

Tabla 12. Longitud lineal de distribución por APR. Esta longitud no presenta las variaciones de altura a las que se enfrenta el transporte de agua.

APR	Longitud de distribución (m)	APR	Longitud de distribución (m)
Caleta Las Peñas	1000	Santa Fé	9300
Caleta Chome	1280	Villa Mercedes	9745
Chaimavida Soto	1400	Pata de Gallina	9780
Tomeco	1810	Polcura	10685
San Carlos de Purén	4100	El Álamo	11300
Peaje Chaimavida	4400	Villa Las Rosas - Villa Peluca	12300
Punta Lavapie	4500	La Montaña	13609
El Progreso	5117	Coliumo	13800
Las Delicias	5197	Rarincó - Natre Rarincó - Santa Clara	13900
Villa Los Ríos	5780	Millantú	15000
Río Claro	6060	Agua y Sol	15120
Coihue	6150	Laraquete - El Pinar	15245
Puerto Norte	6439	Cayucupil	16000
San José de Biobío	6650	Rihue - Pichirenaico	17300
Las Playas	7000	Villucura	17300
Huillinco	7020	El Peral	19880
Lloncaó - Paicaví	7150	Tirúa	20100
San José de Colico	7300	San Luis - Santa Laura	22500
Santa Rosa	7550	Antihuala - Temucho Chico - La Araucana	23480
Puerto Sur	7620	San Antonio - Las Quintas - Allipén	23958
Pichiarauco	7910	El Pino - San Miguel	24300
Diuto	8330	Llano Blanco	27210
Talcamávida	9000	Ralco	30350
Trupán	9210	Chacayal Norte - Sur	39100

Fuente: DIRPLAN, 2019.

Desde el estudio sobre el vínculo que hay entre la longitud de distribución y el gasto energético por agua potable facturada resulta la **Figura 26**. Esta muestra las tendencias que existen al dividir la distribución de los APRs en 4 cuadrantes (A, B, C y D). En la parte inferior observamos que el cuadrante derecho (**D en Figura 26**) es quien tiene mejor desempeño ya que gasta menos de 1,0 kWh/m³ facturado para transportar el agua por distancias mayores a los 12.500 metros lineales de distribución, representando cerca del 26% de los APR analizados. El cuadrante inferior izquierdo (**C en Figura 26**) presenta a aquellos servicios que utilizan menos de 1,0 kWh/m³ facturado para transportar el agua por distancias de distribución menores a los 12.500 metros lineales, representa el 57% de los APRs estudiados. Los APRs con mayor gasto se presentan en los cuadrantes superiores, el derecho (**B en Figura 26**) incluye al 13% de los servicios y son

aquellos que utilizan más de 1 kWh/m³ facturado para recorrer distancias mayores a los 12.500 metros lineales de distribución. El cuadrante superior izquierdo (**A en Figura 26**) presenta a los APR con peor desempeño, quienes utilizan más energía para distribuir el agua por menos longitud lineal, agrupa solo al 4% de ellos. Todo lo anterior no necesariamente responde a la influencia que tiene la longitud de distribución en sí sobre los APR, más bien deja en evidencia que el relieve es local y difiere en cada uno de los APR estudiados, pudiendo tener diseños de red de distribución que beneficiaran el flujo de agua de forma gravitacional, sin la necesidad de incluir bombas que entregaran presión al sistema. Además, no se conoce la distribución de las redes, están pueden presentarse de forma longitudinal o con mayor entramado, lo que puede incrementar pérdidas de presión debido al uso más intensivo de *fitings*.

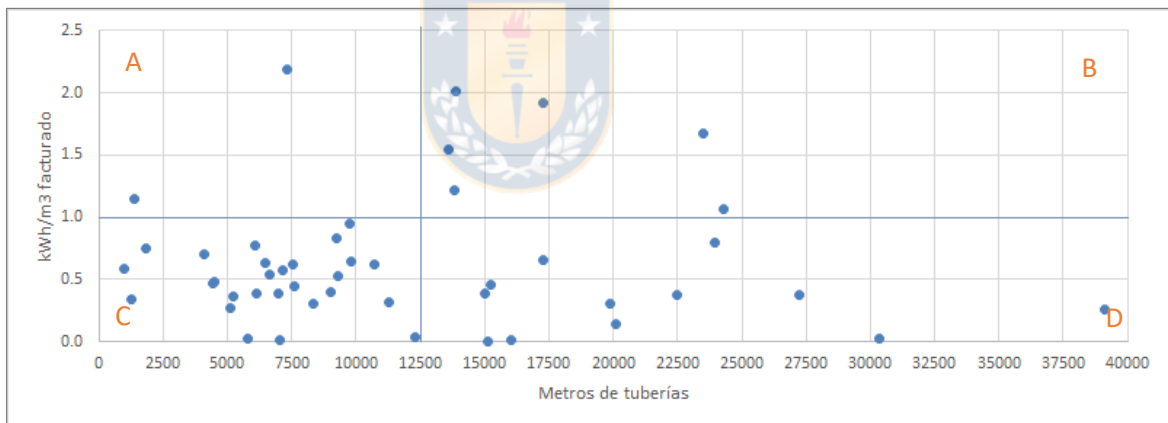


Figura 26. Relación entre Longitud de distribución y Gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico”, ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados.

La conducción en los APRs se refiere a la etapa que comprende el transporte del agua desde la fuente hasta el almacenamiento (captación – estanque). Esta longitud varía mucho dependiendo de los APRs, como muestra en detalle la **Tabla 11**. El agua transportada por estas tuberías puede ser impulsada con ayuda de bombas o en algunos casos de forma gravitacional.

Tabla 13. Longitud lineal de conducción por APR. Esta longitud no presenta las variaciones de altura a las que se enfrenta el transporte de agua.

APR	Longitud de conducción (m)	APR	Longitud de conducción (m)
Lloncao - Paicaví	30	Chaimavida Soto	820
Chacayal	34	Santa Rosa	880
Santa Fé	35	Coliumo	900
El Álamo	37	Río Claro	950
El Pino - San Miguel	38	Polcura	1200
Llano Blanco	40	Laraquete - El Pinar	1260
Las Delicias	40	Trupán	1330
El Progreso	46	Caleta Las Peñas	1360
Diuto	50	San Carlos de Purén	1990
El Peral	53	Rarínco - Natre Rarínco - Santa Clara	2000
San Luis - Santa Laura	62	Pichiarauco	2380
San José de Biobío	70	Ralco	2530
Caleta Chome	80	Villa Los Ríos	2570
Pata de Gallina	98	Peaje Chaimavida	2580
Agua y Sol	130	Rihue - Pichirenaico	2645
Villa Mercedes	139	Cayucupil	2800
Huillinco	274	Punta Lavapie	3000
Puerto Norte	316	La Montaña	3759
Las Playas	477	San José de Colico	4200
San Antonio - Las Quintas - Allipén	602	Villa Las Rosas - Villa Peluca	4650
Talcamávida	640	Antihuala - Temuco Chico - La Araucana	5060
Puerto Sur	700	Villucura	5605
Tomeco	700	Millantú	6045
Coihue	800	Tirúa	12330

Fuente: DIRPLAN, 2019.

La conducción entre los APRs varía de acuerdo a las necesidades, están tienen que ver con que tan lejos está la fuente del estanque, o en algunas ocasiones, para aprovechar las elevaciones del área de servicio, el agua es conducida hasta estanques que propician la distribución de forma gravitacional, prefiriendo utilizar la energía de forma constante durante la producción de agua y no al momento de repartirla entre los usuarios.

La **Figura 27**, al igual que en los análisis anteriores, presenta una división por cuadrantes (A, B, C y D) para facilitar el análisis del desempeño de los APRs en estudio. El cuadrante inferior derecho (**D en Figura 27**) es quien presenta mejor desempeño, agrupando al 4% de los APRs analizados, presenta a los servicios

que utilizan menos energía por unidad de volumen para conducir linealmente el agua desde la fuente al estanque de almacenamiento. El cuadrante inferior izquierdo (**C en Figura 27**) presenta los APRs que utilizan menos de 1kWh/m^3 facturado para conducir el agua por distancias menores a los 3.000 metros lineales, representa el 74% de los servicios evaluados. Representando el 4% de los APR en estudio, el cuadrante superior derecho (**B en Figura 27**) presenta un desempeño regular en comparación a los otros cuadrantes, ya que utiliza mayor cantidad de energía para conducir el agua por distancias mayores a los 3.000 metros lineales al igual que el cuadrante inferior derecho. Finalmente, el cuadrante superior izquierdo (**A en Figura 27**) es quien presenta a los APR con peor desempeño, ya que utiliza más de $1,0\text{ kWh/m}^3$ facturado para conducir el agua por distancias menores a los 3.000 metros lineales, también representa al 4% de los servicios analizado. Las tendencias descritas dependen, además de transportar el agua en el eje horizontal, del transporte en el eje vertical, ya que para ser llevada desde la fuente de captación hasta el estanque de almacenamiento, este último siempre está ubicado a mayor altura que la red de distribución para aprovechar la presión que entrega la altura de la columna de agua, como indican los proyectos de construcción de APR DOH. La situación descrita no presenta los desniveles que tiene cada servicio, por lo que el análisis solo se acota a la relación de longitud lineal, lo más probable es que algunos de los APRs presenten zonas de captación en mayor altura que la zona donde se almacena el agua, siendo favorecida la conducción del agua por el uso de la presión gravitacional.

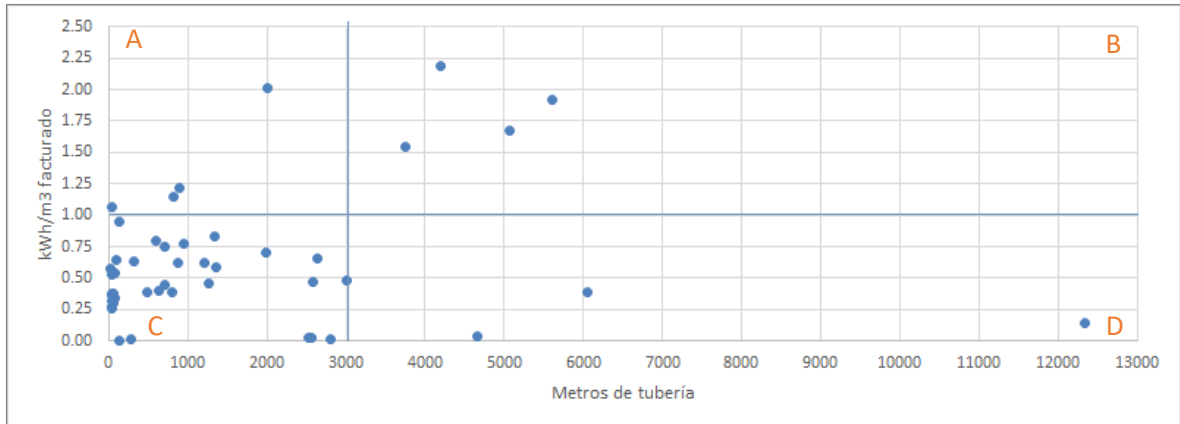


Figura 27. Relación entre Longitud de Conducción y Gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico”, ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados.

Dentro de las alternativas que han surgido para combatir el uso intensivo de energía debido al efecto de la topografía se presenta como ejemplo lo que ocurre en la ciudad de Sapporo, Japón y aunque se trata de un servicio de abastecimiento de agua potable urbano de mayor tamaño, fue construido de manera que cada componente se encuentra en una elevación menor que el componente anterior para minimizar el uso de energía de bombeo, transportando aproximadamente el 80% del suministro de forma gravitacional. (Lam et al., 2017). Aunque esta situación no es posible para la mayoría de los servicios, utilizar el concepto de energía hidráulica debiese incluirse en la planificación de nuevos proyectos. Además de la situación mencionada, se ha popularizado el establecimiento de equipos de generación de “minihidro” para capturar el exceso de energía hidráulica por parte de las empresas de servicios sanitarios. (Cook et al., 2012). Es relevante que cada APR identifique la solución que sea más adecuada por su realidad local.

5.4.2. Relación de indicadores de desempeño energético y factores climáticos

Otra de las causas influyentes sobre la cantidad de energía que se le incorpora a los servicios de abastecimiento, son las características climáticas que

se presentan en el área donde se ubican los servicios, no obstante en los APR estudiados no existe una tendencia clara del efecto del clima sobre el gasto energético, resumiendo este análisis en la **Figura 28**. Junto a la clasificación climática la cantidad de precipitación caída en las zonas en donde se ubican los APRs también puede significar un papel en su necesidad energética. El caso de lo que ocurre en la región del Biobío se puede observar en la **Figura 29**.

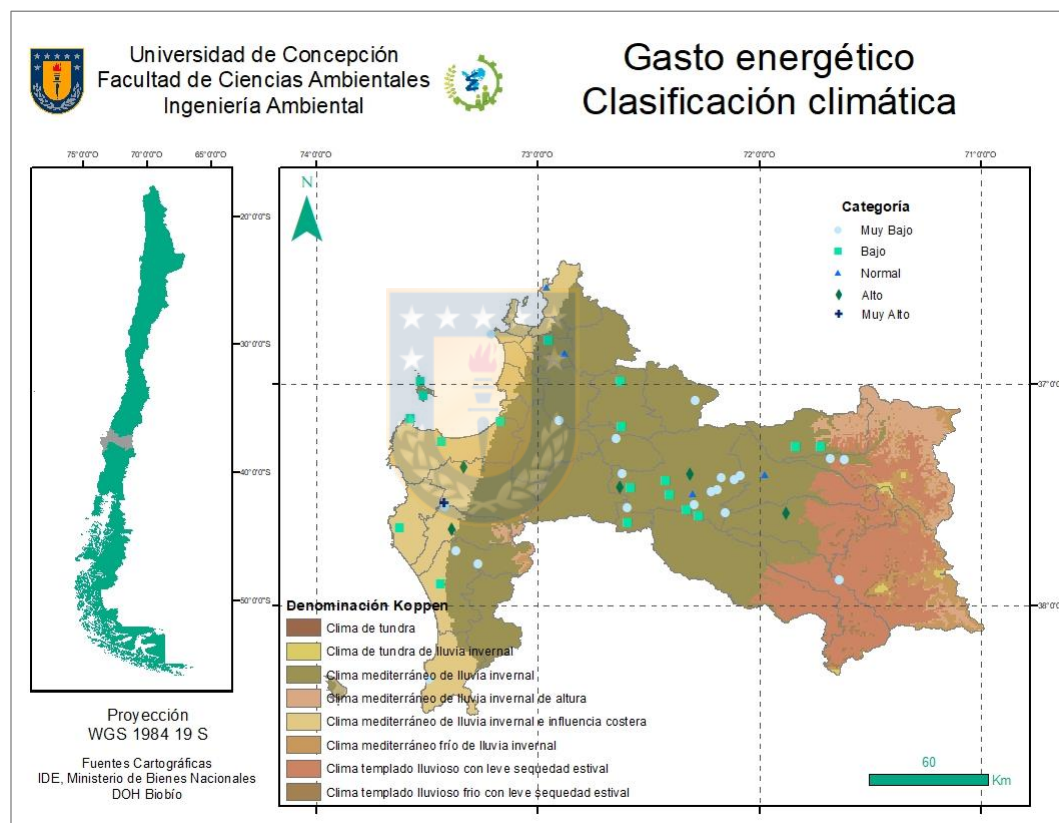
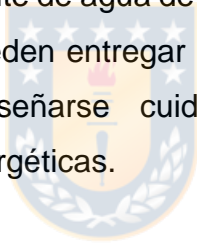


Figura 28. Relación Gasto energético por volumen facturado – Zona climática. Capa climática obtenida desde IDE con clasificación según Köppen.

La significancia de la influencia que ejercen las características de clima y precipitación sobre la intensidad energética incorporada en los servicios estudiados no se presenta de forma clara, no siendo posible indicar que para los servicios de la región del Biobío estos factores determinan en cierta medida el gasto energético. No obstante, estos factores pueden transformarse en

oportunidades aún más en el escenario de cambio climático, los APRs ubicados en zonas con mayores precipitaciones anuales podrían gestionar la esorrentía para satisfacer parte de su demanda de agua no potable. Ejemplo de esto último es la respuesta que tuvieron algunas ciudades australianas a una severa sequía (2001 – 2009) las cuales presentaron un aumento significativo en la captación de tanques de agua de lluvia para el uso de agua no potable. Esto se ve reflejado en el aumento del porcentaje de hogares con tanques de almacenamiento de agua lluvia entre 2007 y 2013, de 18.4% a 47%, de 11.6% a 31.1%, y de 10.3% a 19% en Brisbane, Melbourne y Sídney respectivamente (*Lam et al., 2017*). Esta herramienta de abastecimiento de agua de uso doméstico no potable se presenta como un potencial para complementar el sistema de suministro de agua centralizado, siendo una fuente de agua de menor intensidad energética. A pesar del potencial aporte que pueden entregar a la disminución de gasto energético estos sistemas deben diseñarse cuidadosamente para considerar sus implicancias sanitarias y energéticas.



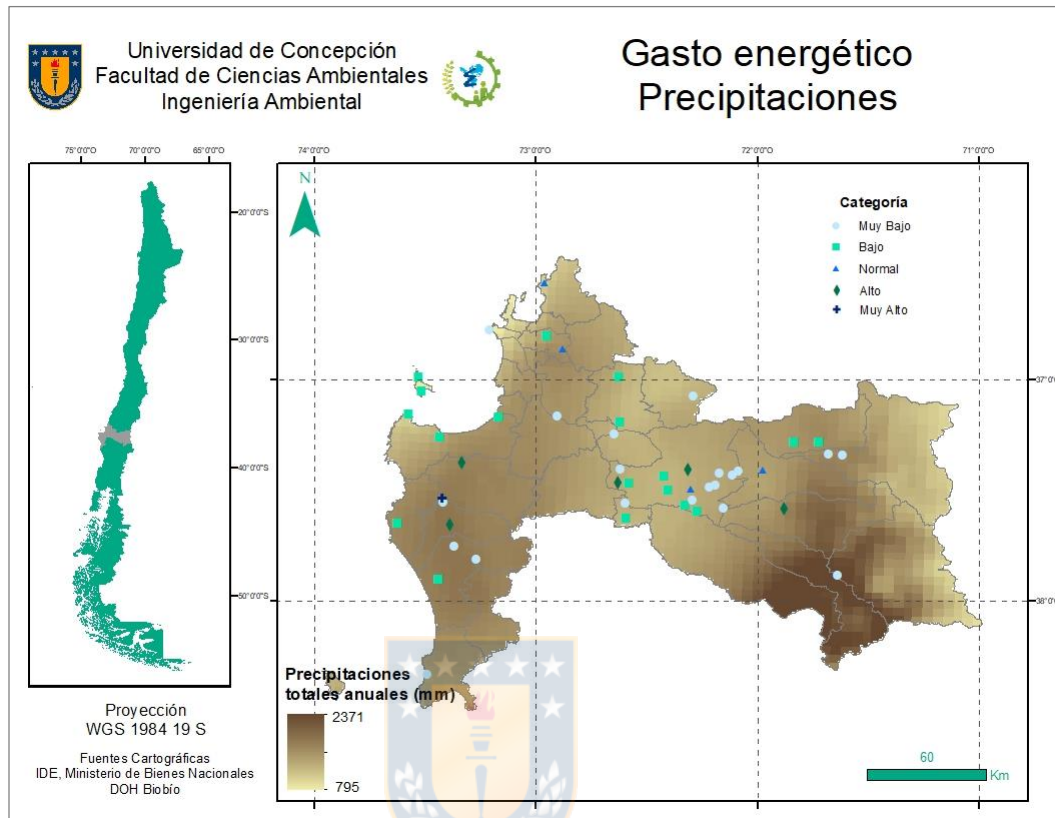


Figura 29. Relación Gasto energético por volumen facturado – Precipitaciones estimadas totales por año.

Fuente: www.worldclim.org/current. Precipitación total anual promedio entre 1950 – 2000 con resolución 2,5 minutos, a través de Laboratorio de Geografía UFRO, 2014.

5.4.3. Relación de indicadores de desempeño energético y factor de patrones de uso – variable número de arranques

Dentro de la categoría que agrupa a los factores de patrones de uso, este estudio consideró el análisis asociado al número de arranques que abastece cada servicio de agua potable. En cuanto a las viviendas abastecidas, este factor presenta una amplitud de 1631 arranques, desde “Chome” que abastece a 32 arranques hasta “Laraquete – El Pinar” con 1663 arranques abastecidos, y un promedio de 413 arranques. El detalle para cada APR se presenta en la **Tabla 11**.

Tabla 14. Número de arranques abastecidos por APR.

APR	N° de arranques	APR	N° de arranques
Caleta Chome	32	Llano Blanco	335
Caleta Las Peñas	62	San Antonio - Las Quintas - Allipén	356
San José Biobío	64	San José de Colico	357
Villucura	93	Puerto Sur	382
Tomeco	96	El Peral	407
El Progreso	117	Santa Rosa	407
Pichiarauco	123	Coihue	415
Diuto	131	Huillinco	434
El Alamo	147	Polcura	450
Lloncao - Paicavi	148	Cayucupil	458
Chaimavida Soto	153	San Carlos de Purén	467
Pata de Gallina	161	Río Claro	490
Villa Los Rios	169	Trupán	498
Puerto Norte	195	Coliumo	625
El Pino - San Miguel	234	Villa Mercedes	630
Peaje Chaimavida	239	Millantú	660
San Luis - Santa Laura	240	Santa Fé	680
Rarinco - Natre Rarinco - Santa Clara	241	Ralco	683
Las Playas	276	Talcamávida	687
Las Delicias	280	Agua y Sol	872
La Montaña	306	Chacayal Norte - Sur	940
Rihue	328	Antihuala - Temuco Chico - La Araucana	1198
Punta Lavapie	334	Tirúa	1227
Villa Las Rosas - Villa Peluca	334	Laraquete - El Pinar	1663

Fuente: DIRPLAN, 2019.

Resulta difícil analizar de forma transversal si cada APR presenta un uso eficiente de recursos durante su proceso productivo, principalmente con la utilización de toda la capacidad de los equipos y procesos para la entrega del servicio. Relacionado a esto se puede pensar en un punto óptimo de producción, resultando interesante el concepto de economía de escala, el cual describe la existencia de un punto en donde luego de aumentar en una unidad producida hay una disminución de los costos por unidad, pensando en el costo como los recursos necesarios para producir una unidad de volumen de agua potable. Dado lo anterior se podría explicar la tendencia que muestra la Figura 30 en su cuadrante inferior derecho (**D en Figura 30**), en el cual los APRs que allí se ubican, que representan al 17% del total, utilizan menos energía a mayor número

de arranques. El cuadrante inferior izquierdo (**C en Figura 30**), que agrupa al 70% de los APR, demuestra que la mayoría de los APR tienen gastos hasta los 1,2 kWh/m³ facturado para abastecer hasta 500 arranques. Los cuadrantes superiores presentan a los APR con peor desempeño de gasto energético por unidad de volumen facturada según el número de arranques abastecidos, con el 4% de los APR el derecho (**B en Figura 30**) muestra al grupo que utiliza más energía para abastecer a más de 500 arranques, mientras que el izquierdo (**A en Figura 30**) muestra a los APR menos eficientes en cuanto a economías de escala, representando el 9% del total de APRs analizados.

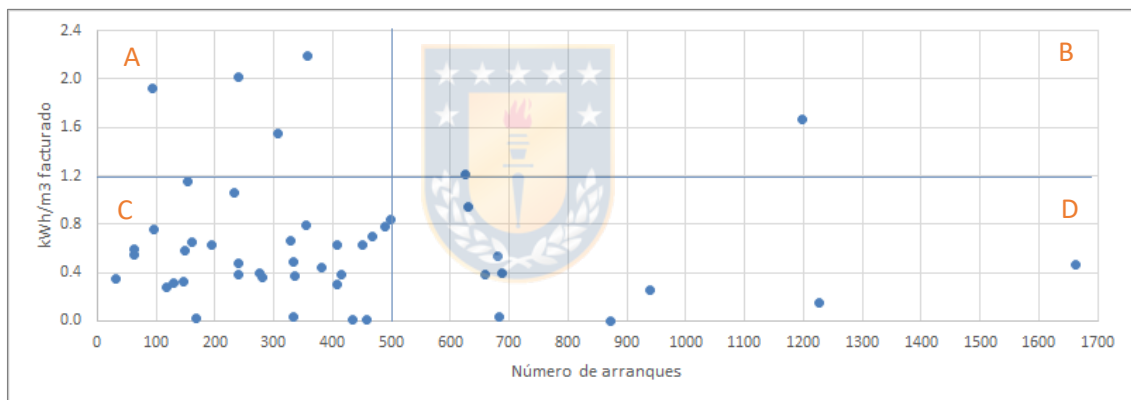


Figura 30. Relación entre número de arranques y gasto energético por volumen facturado. No se incluye “Pichiarauco”, considerado como un dato “valor atípico” ya que gasta cerca del doble de energía que el mayor de los datos agrupados. A: Cuadrante superior izquierdo; B: Cuadrante superior derecho; C: Cuadrante inferior izquierdo; D: Cuadrante inferior derecho.

Dentro de lo que se estima como agua consumida se contabiliza el volumen perdido de agua y aunque se conocen los beneficios de reducirlos, los resultados han demostrado que sigue siendo un tema importante para varios APRs. Los mejores resultados a este respecto posiblemente puedan ofrecer información sobre el enfoque técnico necesario para gestionar mejor el agua producida. Como ejemplo, el estudio de *Lam et al. (2017)* menciona el caso del servicio de

abastecimiento de agua potable urbano correspondiente a la ciudad de Tokio, en dónde se gestionó la pérdida de agua mediante el reemplazo sistemático de tuberías de aguas viejas, realizando una detección activa de fugas, mejorando los dispositivos de detección y conservando la habilidad de detección de fugas en la empresa de servicios públicos, obteniendo como resultado la reducción de su tasa de pérdida de agua de más del 10% en 1990 a menos del 3% en 2010. A diferencia de la realidad de Tokio, en zonas rurales la capacidad de inversión dista de las necesidades que viven sus habitantes, incluso, existen proyectos no planificados con escasa información sobre conexiones y redes como se pudo conocer durante la realización de este estudio.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo de esta investigación se puede concluir lo siguiente:

- Sobre el alcance de la aproximación que se logró llevar a cabo con esta investigación, se recopiló información de un 43% de las APR DOH de la región del Biobío y dentro de las razones de aquellas que no se incluyeron en el estudio se encuentran que no tenían disponible la información solicitada, enviaron información incompleta o no se logró el contacto con los servicios.
- En cuanto al desempeño energético de los APR “Pichiarauco” es quien presenta el indicador más alto, con 8,5 kWh/m³ facturado, mientras que “Agua y sol” es quien presenta menor gasto energético, con 0,002 kWh/m³ facturado. Lo anterior indica una amplitud del rango de valor para el gasto energético por volumen facturado mayor a los 8 kWh/m³ facturado. A modo general, más allá de las inferencias a las que se hace alusión en aquellos APRs con mayor y menor gasto energético, no es posible indicar ninguna afirmación sobre las características que debe tener un APR para tener un mejor desempeño energético, más bien se sabe que las mejoras deben responder a las particularidades de cada servicio. En materia de pérdida de energía, el APR “Antihuala – Temuco Chico – La Araucana”, extiende una pérdida de energía de 81.757,07 kWh entre enero y octubre del 2019.
- El promedio de consumo de agua por día en los APRs estudiados es de 103 Litros/persona/día, a diferencia de los servicios de abastecimiento urbanos encontrados en literatura, que consumen 344 Litros/persona/día en promedio. Además, del consumo de agua, se registraron gastos energéticos acumulado entre enero 2019 y octubre 2019 que van desde los 0,07 hasta los 170 kWh/p/(ene-oct 2019).

- Para el 41% de las APRs DOH vigentes en la región del Biobío, se calculó un aporte acumulado de GEI entre enero 2019 – octubre 2019 de 589.735 kgCO_{2eq}. Se estimó el aporte promedio por año de un servicio de abastecimiento rural de la región del Biobío en 15.385 kgCO_{2eq}/año, el cual es cerca de 7 veces menor al aporte promedio por planta de tratamiento de agua potable urbano. En cuanto al aporte por habitante, el promedio de emisiones es de 8,69 kgCO_{2eq} acumulado entre enero 2019 – octubre 2019.
- En relación a la incidencia que tienen los factores que afectan al gasto energético en los servicios de abastecimiento, no se distinguió una tendencia clara para indicar que características debería tener un APR para tener un mejor desempeño energético. No obstante, el análisis realizado se realizó solo con un factor a la vez, y no se puede desconocer la influencia multifactorial que pueden presentar las particularidades de cada APR sobre la energía necesaria para entregar un servicio de calidad, continuo y viable.
- En materia de gestión, es relevante indicar la ausencia de sistematización o procedimientos para tener y guardar registros de la operación, mantención y problemáticas de los APRs. Se requiere apoyar a estas organizaciones para implementar nuevas formas de gestionar la información, que permita obtener su historia operativa y de tal manera logren trabajar desde el punto de vista de la mejora continua en pro de la eficiencia de sus procesos, y estableciendo oportunidades para una mejor toma de decisiones locales.

7. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

El escenario actual de cambio climático y con ello la creciente preocupación por la seguridad de diferentes recursos y su gestión, no solo ha alcanzado a académicos u organismos privados, el interés de líderes políticos mundiales por actuar frente a esta situación queda demostrado con la creación de los Objetivos para el Desarrollo Sustentable (ODS), en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sustentable de la Organización de Naciones Unidas. Los ODS corresponden a 17 objetivos (**Figura 31**) y 169 metas destinadas a resolver los problemas sociales, económicos y ambientales que aquejan al mundo, siendo presentados el año 2015, con año meta el 2030 y con la década 2020-2030 como período clave para la acción activa a nivel mundial, local y personal. (ONU, 2019).



Figura 31. Objetivos para el Desarrollo Sustentable, “ODS”.

Fuente: ONU, a través de página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/news/communications-material/>.

Los resultados de esta Habilitación Profesional contribuyen directamente a dos de los diecisiete objetivos, “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” (ODS 6) y “Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos” (ODS 7). El primero de ellos debido a que cifras mundiales indican que unos 2200 millones de personas no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura y 4200 millones no cuentan con servicios de saneamiento seguros. (ONU, 2019). Esto es agravado ante las grandes brechas en el acceso a fuentes de abastecimiento de agua y saneamiento en muchos lugares, transformando al agua en uno de los principales riesgos para el progreso económico, la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible. El segundo objetivo se destaca ya que la energía es el principal contribuyente al cambio climático y, representa alrededor del 60% del total de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. (ONU, 2019).

La descripción sobre el alcance de ambos recursos no es suficiente para demostrar el real vínculo que existe entre cada uno de los ODS, no obstante, se entiende que la relación y dependencia transversal de los recursos requiere de un desarrollo conjunto, entendiendo cada una de las realidades locales, que han demostrado importantes desigualdades en el acceso entre diferentes grupos sociales, sean estos clasificados como ricos y pobres, o poblaciones urbanas y rurales. Clara demostración de esto son las zonas rurales, las cuales se ven afectadas por la falta de abastecimiento y saneamiento de un servicio básico, en los cuales las fuentes alternativas de abastecimiento, como los camiones aljibes, están desempeñando un importante papel. Como se mencionó en la investigación, estas fuentes alternativas son, generalmente, más intensivas en el uso de energía, poniendo en riesgo la consistencia de políticas y prácticas de sustentabilidad, salud pública e inversión pública. Es por todo esto que el acercamiento realizado a los APR de la región del Biobío, puede aportar a la

gestión de estos mismos, desde un enfoque de operatividad y eficiencia, contribuyendo a alcanzar metas de desarrollo sustentable.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguas de Portugal (2016). *Annual Report and Accounts. Portugal*. Recuperado de: https://www.adp.pt/en/adp-group/financial-information/annual-reports/downloads/file169_gb.pdf.
- Amores M. et al. (2013). *Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach*. Journal of cleaner production, 43, 84-92. Doi: 10.1016/j.jclepro.2012.12.033.
- Ananda J. (2018). *Productivity implications of the water-energy-emissions nexus: An empirical analysis of the drinking water and wastewater sector*. Journal of cleaner production, 196, 1097-1105. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.145.
- Ayala L. (2010). *Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico*. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago, Chile.
- Banco Mundial (2011). *Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Banco Mundial.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2019). *Información Territorial, Región del Biobío*. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/region8/>.
- Bukhary S., Batista J. & Ahmad S. (2019). *An Analysis of Energy Consumption and the Use of Renewables for a Small Drinking Water Treatment Plant*. Water, 12(1), 28. Doi: doi.org/10.3390/w12010028.
- Cammerman N. (2009). *Integrated water resource management and water energy climate change nexus* Thesis. Institute of Social Science Research. The University of Queensland, Australia.
- Carrasco Mantilla (2011). *Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, German Agency for Technical Cooperation & Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Recuperado de: <https://www.cepal.org/serviciosdeaguaGER004/investigaciones/>.
- Carvalho P., Spataru C. & Bleischwitz R. (2019). *Integration of water and energy planning to promote sustainability*. Journal of sustainable development of energy, water and environment systems, 7(2), 229-252. Doi: 10.13044/j.sdewes.d6.0246.

- Chen P.C., Alvarado V. & Hsu S.C. (2018). *Water energy nexus in city and hinterlands: Multi-regional physical input-output analysis for Hong Kong and South China*. Applied Energy, 225, 986-997. Doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.083.
- Cherchi C. et al., 2015. *Energy and water quality management systems for water utility's operations: a review*. Journal Environmental Management, 153, 108-120.
- Comisión Nacional de Energía (2019). *Factores de Emisión, Energía Abierta*. Recuperado de: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>.
- Conway D. et al. (2015). *Climate and southern Africa's water energy food nexus*. Nature Climate Change, 5(9), 837-846. Doi: 10.1038/nclimate2735.
- Cook S., Hall M. & Gregory A. (2012). *Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia: an update*. CSIRO water for healthy country flagship, Australia.
- Dai, M. et al. (2018). *Current status and environment impact of direct straw return in China's cropland – A review*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 159, 293-300. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.05.014.
- Duan C. & Chen B. (2016). *Energy-water-carbon nexus at urban scale*. Energy procedia, 104, 183-190.
- Ewing B. et al. (2012). *Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework*. Ecological Indicators, 23, 1-8. Doi: 10.1016/j.ecolind.2012.02.025.
- Facchini A. et al. (2017). *The energy metabolism of megacities*. Applied energy, 186, 86-95. Doi: 10.1016/j.apenergy.2016.09.025.
- Farina R. et al. (2016). *Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies*. Civil Engineering and Environmental Systems, 33(1), 35-54. Doi: 10.1080/10286608.2015.1124868.
- Feng K. et al. (2014). *The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis*. Renew. and Sust. Energy Reviews, 39, 342-355. Doi: 10.1016/j.rser.2014.07.080.
- Fundación Amulen (2019). *Pobres de Agua: Radiografía del Agua Rural en Chile*. Santiago, Chile.
- Fundación Chile (2018). *Escenario Hídrico 2030, El futuro del agua en Chile*. Santiago, Chile.
- Fundación Chile (2019). *Radiografía del Agua, Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*. Santiago, Chile.
- Gassert F. et al. (2013). *Biophysical, Socioeconomic, and Geopolitical Vulnerabilities to Hydropower Development on the Un River, China*. Ecology and Society, 18(3), 16-34. Doi: 10.5751/ES-05465-180316

- Gleick P.H. (1994). *Water and energy*. Annu. Rev. Energy Environ. 19, 267-299. Doi: 10.1146/annurev.eg.19.110194.001411.
- Goldstein R. & Smith W. (2002). *Water & Sustainability In: US electricity consumption for water supply & treatment the next hal century*, vol 4. Electric power research institute, Palo Alto, CA.
- Gude V.G. et al. (2010). *Renewable and sustainable approaches for desalination*. Renew. Sustain. Energy Rev., 14(9), 2641-2654.
- Grundfos (2004). *Grundfos annual report 2004*. The grundfos group and The Poul Due Jensen Foundation, Brookshire.
- Hightower, M. & Pierce, S.A. (2008). *The energy challenge*. Nature, 452(7185), 285-286. Doi: 10.1038/452285a.
- Howells M. & Rogner H.H. (2014). *Water energy nexus Assessing integrated systems*. Nature Climate Change, 4, 246-247. Doi: 10.1038/nclimate2180.
- Hussey K. & Pittock J. (2012). *The Energy Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future*. Ecology and Society, 17(1), 31. Doi: 10.5751/ES-04641-170131.
- International Energy Agency (IEA) (2016). *Water-Energy Nexus, World Energy Outlook Special Report*. Paris, Francia. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/water-energy-nexus>.
- Instituto Nacional de Estadística (2017). *Censo de Población y Vivienda 2017*. Santiago, Chile. Recuperado de: www.censo2017.cl.
- Klein G. et al. (2005). *California's water-energy relationship*. California energy commission. California.
- Lam K.L., Kenway S.J. & Lant P.A. (2017). *Energy use for water provision in cities*. Journal of Cleaner Production, 143, 699-709. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.056.
- Lane J.L., de Haas D.W. & Lant P.A. (2015). *The diverse environmental burden of city scale urban water systems*. Water Research, 81, 398-415. Doi: 10.1016/j.watres.2015.03.005.
- Lee M. et al. (2017). *Water energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risk*. Applied Energy, 205, 589-601. Doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.002.
- Lin J. & Kang S.F. (2019). *Analysis of Carbon emission hot spot and pumping energy efficiency in water supply systems*. Water Supply, 19(1), 200-206. Doi: 10.2166/ws.2018.067.
- Loubet P. et al. (2014). *Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature*. Water Research, 67, 187-202. Doi: 10.1016/j.watres.2014.08.048.


- Lundin, M. & Morrison, G.M. (2002). *A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems*. *Urban Water*, 4(2), 145-152. Doi: 10.1016/S1462-0758(02)00015-8.
- Lundie S., Peters G. & Beavis P. (2004). *Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning*. *Environmental Science and Technology*, 38(13), 3465-3473. Doi: 10.1021/es034206m.
- Ministerio de Desarrollo Social (2017). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)*. Santiago, Chile.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2015). *Política Nacional para los Recursos Hídricos*. Santiago, Chile. Recuperado de: https://www.interior.gob.cl/media/2014/04/recursos_hidricos.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2017). *Tercer Reporte del Estado del Medio Ambiente*. Santiago, Chile.
- Mo W. et al. (2011). *Embodied energy comparison of surface water and groundwater supply options*. *Water Research*, 45(17), 5577-5586. Doi: 10.1016/j.watres.2011.08.016.
- Mo W., Wang R. & Zimmerman J.B. (2014). *Energy water nexus analysis of enhanced water supply scenarios: a regional comparison of Tampa Bay, Florida and San Diego, California*. *Environ. Sci. Technol.* 48(10), 5883-5891. Doi: 10.1021/es405648x.
- Mo W., Wang H. & Jacobs J.M. (2016). *Understanding the influence of climate change on the embodied energy of water supply*. *Water Research*, 95, 220-229. Doi: 10.1016/j.watres.2016.03.022.
- Molineaux A., Leyland G. & Favrat D. (2010). *Environomic multi-objectie optimisation of a district heating network considering centralized and decentralized heat pumps*. *Energy* 35(2), 751-758. Doi: 10.1016/j.energy.2009.09.028.
- Molinos M. & Sala-Garrido R. (2017). *Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors*. *Applied Energy*, 202, 275-281. Doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.100.
- Molinos M. & Sala-Garrido R. (2018). *Evaluation of energy performance of drinking water treatment plants: Use of energy intensity and energy efficiency metrics*. *Applied energy*, 229, 1095-1102. Doi: 10.1016/j.apenergy.2018.08.102.
- Molinos M. & Guzmán C. (2018). *Reducing CO2 emissions from drinking water treatment plants: A shadow price approach*. *Applied Energy*, 210, 623–631.

- Nair S. et al. (2014). *Water-energy-greenhouse gas nexus of urban water systems: review of concepts, state of art and methods*. *Resour. Conserv. Recycl.*, 89, 1-10.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2019). *Informe de los Objetivos Para el Desarrollo Sustentable 2019*. Nueva York.
- Olsson G. (2012). *Water and energy threats and opportunities*. IWA Publishing.
- Pandey D.M., Agrawal S. & Pandey J. (2010). *Carbon footprint: current methods of estimation*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(4), 135-160.
- Peña R. (septiembre 2019). Comunicación personal. Oficinas DIRPLAN Biobío, MOP.
- Plappally A. & Lienhard J.H. (2012). *Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4818-4848. Doi: 10.1016/j.rser.2012.05.022.
- Racoviceanu A.I. et al. (2007). *Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions inventory for water treatment systems*. *J. Infrastruct. Syst.*, 13(4), 261–270. Doi: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:4(261).
- Rojas O. et al. (2017). *Urban Growth and Flood Disasters in the Coastal River Basin of South-Central Chile (1943–2011)*. *Sustainability*, 9(2), 195. Doi: 10.3390/su9020195.
- Rothausen S. & Conway D. (2011). *Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector*. *Nature Climate Change*, 1, 210-219. Doi: 10.1038/nclimate1147.
- Santana M. et al. (2017). *Could smart growth lower the operational energy of water supply? A scenario analysis in Tampa, Florida, USA*. *Landscape and Urban Planning*, 164, 99-108. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.04.010.
- Schaum, C., Lensch D. & Cornel P. (2015). *Water reuse and reclamation: a contribution to energy efficiency in the water cycle*. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 5(2), 83-94. Doi: 10.2166/wrd.2014.159.
- Siddiqi A. & Diaz L. (2011). *The water energy nexus in Middle East and North Africa*. *Energy Policy*, 39(8), 4529-4540. Doi: 10.1016/j.enpol.2011.04.023.
- Stokes J. & Horvath A. (2006). *Life cycle energy assessment of alternative supply systems*. *Int. J. Life Cycle Ass.*, 11(5), 335-343. Doi: 10.1065/lca2005.06.214.

- Stokes, J.R. & Horvath, A. (2009). *Energy and Air Emission effects of Water Supply*. Environ. Sci. Technol., 43, 2680-2687. Doi: 10.1021/es801802h.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2019). *Balance de Gestión Integral Año 2018*. Santiago, Chile.
- Teixeira M.R. et al. (2016). *Performance indicators matrix as a methodology for energy management in municipal water services*. Journal of Cleaner Production, 125, 108-120.
- Vieira A.S. et al. (2014). *Energy intensity of rainwater harvesting systems: a review*. Renew. Sust. Energy Rev., 34, 225-242. Doi: 10.1016/j.rser.2014.03.012.
- Wakeel M. et al. (2016). *Energy consumption for water use cycles in different countries: A review*. Applied Energy, 178, 868-885. Doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.114.
- Weitz N. et al. (2017). *Closing the governance gaps in the water energy food nexus: Insights from integrative governance*. Global Environmental Change, 45, 163-173. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.06.006.
- Wiedmann T. (2009). *Carbon Footprint and Input-Output Analysis*. An Introduction, Economic Systems Research, 21, 175-186.
- World Bank. 2019. *A Water-Secure World for All*. Washington, DC: World Bank.
- World Resources Institute (WRI) (2015). *Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040*. Washington DC. Recuperado de: <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040>.
- Xiang X.Z. & Jia S. (2019). *China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use*. Resources, Conservation and Recycling, 144, 32-38. Doi: 10.1016/j.resconrec.2019.01.009.
- Yonkin M. & Pirne M. (2008). *Statewide assessment of energy use by the municipal water and wastewater sector*. New York State Energy Research and Development Authority, Albany.

9. ANEXOS

Anexo 1. Guión para realizar llamados a APR y asegurar la equidad y completa entrega de la información.

<p>Guía para llamados</p> <p>Saludo y presentación</p> <ul style="list-style-type: none">• Nombre• Estudiante• Universidad <p>Motivo de la llamada</p> <ul style="list-style-type: none">• Explicación breve del proyecto: se trata de una investigación para finalizar estudios de Ingeniería Ambiental y la idea es generar una “radiografía” del escenario de las APR, específicamente de sobre la cantidad de energía que utilizan para entregar agua potable.• Especificaciones: no hay interés en conocer temas ni financieros ni administrativos.• Solicitud de ayuda voluntaria <p>Coordinación de entrega de información</p> <ul style="list-style-type: none">• Elección de canal• Envío de solicitud formal• Estimación de fechas <p>Despedida</p>	
--	--

Anexo 2. Documento tipo de la forma en que se solicitaba la información requerida a los APR.

Solicitud de Información

Estimados,

APR "*Nombre del APR*"

Según lo indicado telefónicamente solicito a ustedes hacer envío de la información que se detalla a continuación:

- Gasto energético mensual
- Volúmenes mensuales producidos
- Volúmenes mensuales facturados
- Número de arranques abastecidos a la fecha
- Tipo de captación (Fuente superficial/subterránea)
- Tipo de sistema de tratamiento (Mención de las tecnologías que usan)
- Equipos en uso que consuman energía eléctrica

A modo de ejemplo les indico la siguiente tabla para que registren datos de gasto energético y volúmenes:

Información	Mes			
	Enero - 2019	Febrero - 2019	...	Diciembre - 2019
Gasto energético (kWh)				
Volumen producido (m ³)				
Volumen facturado (m ³)				

Ruego comunicarse ante cualquier duda.

Saludos cordiales

Maximiliano Rojas Yáñez
Estudiante Ingeniería Ambiental
Universidad de Concepción
+ 56 9 82694890
maxrojas@udec.cl

Anexo 3. Datos de APRs con los cuales se realizó cálculo del promedio de pérdida (según formulas indicadas en sección 4.3).

APR	% de pérdida mensual										de pérdidas por APR
	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	
ANTIHUALA - TEMUCO CHICO - LA ARAUCANA	57.32	17.97	33.95	33.00	32.34	36.99	34.34	31.69	30.86	30.32	33.88
CAYUCUPIL	24.59	28.42	25.38	33.59	33.35	58.57	30.69	37.55	29.83	36.97	33.89
CHAIMAVIDA SOTO	17.89	6.42	20.02	10.68	16.70	12.27	8.91	13.57	34.07	16.36	15.69
COLIUMO	27.40	31.79	34.54	33.10	33.82	36.06	36.90	36.93	33.07	37.55	34.12
EL ALAMO	11.97	12.20	10.86	14.67	27.56	8.82	11.52	10.43	13.24	14.36	13.56
LA MONTAÑA	11.64	21.59	32.89	40.15	51.27	50.92	55.44	53.39	43.10	53.73	41.41
LAS DELICIAS	20.79	12.20	23.09	9.17	17.21	11.80	35.33	13.98	23.99	14.02	18.16
LOS BOLDOS - MAÑIL BAJO - LOS NARANJOS	4.43	18.50	21.43	11.12	23.10	28.25	25.10	26.92	23.48	28.90	21.12
PATA DE GALLINA	16.36	21.01	29.66	20.46	17.70	21.15	37.78	23.42	29.62	32.15	24.93
POLCURA	23.12	27.22	32.72	32.45	29.86	39.64	31.30	28.11	27.35	32.02	30.38
RIHUE - PICHIRENAICO	16.28	9.59	35.69	29.42	46.26	41.67	42.65	31.35	25.06	26.72	30.47
SALTO DEL LAJA ORIENTE	10.51	21.06	26.71	32.21	33.78	33.27	56.55	47.89	33.78	30.53	32.63
SAN LUIS - SANTA LAURA	29.75	33.21	37.40	42.45	45.50	42.92	41.10	22.66	20.63	43.84	35.95
SANTA FE	30.66	35.97	18.93	24.24	8.69	19.01	20.70	8.57	12.16	22.33	20.13
SANTA ROSA (LEBU)	9.48	3.90	20.35	14.97	12.73	22.36	23.19	24.48	25.74	19.14	17.63
TIRUA	11.27	9.98	3.83	7.39	6.49	5.20	7.10	5.68	8.48	4.24	6.97
VILLA MERCEDES	38.91	43.83	52.58	42.11	54.03	42.88	55.13	50.69	38.35	47.54	46.60
VILLUCURA	23.05	23.16	29.18	26.75	28.85	30.11	32.57	27.49	26.64	28.86	27.67
Promedio de % de pérdidas para APRs de la región del Biobío											26.95

Anexo 4. Suma de gastos energéticos para APRs que reciben el servicio eléctrico de dos empresas diferentes.

APR	Empresa	Consumo eléctrico (kWh)									
		ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19
Caleta Las Peñas	A	205	185	174	174	190	168	143	194	160	176
	B	176	290	275	136	438	256	199	308	346	182
	Total	381	475	449	310	628	424	342	502	506	358
Villa Mercedes	A	8053	7842	6280	7161	5643	5679	5360	5406	2750	2467
	B	2236	1766	2384	2225	2133	1734	2138	1895	1895	2117
	Total	10289	9608	8664	9386	7776	7413	7498	7301	4645	4584

A: empresa de servicio eléctrico 1

B: empresa de servicio eléctrico 2



Anexo 5. Indicadores, Valores normalizados y Categorización para los indicadores de desempeño energético: kWh/m³ facturado, kWh/persona/enero-octubre 2019 y kWh/persona/mes (según metodología descrita en secciones 4.3 y 4.4).

Gasto energético promedio por unidad de volumen facturado

APR	kWh/m ³	Valor normalizado
AGUA Y SOL	0.002	0.001
HUILLINCO	0.011	0.005
CAYUCUPIL	0.012	0.005
VILLA LOS RIOS	0.021	0.010
RALCO	0.029	0.013
VILLA LAS ROSAS - VILLA PELUCA	0.036	0.017
TIRUA	0.144	0.066
CHACAYAL	0.256	0.117
EL PROGRESO	0.276	0.126
EL PERAL	0.305	0.140
DIUTO	0.309	0.141
EL ALAMO	0.323	0.148
CALETA CHOME	0.346	0.158
LAS DELICIAS	0.360	0.165
LLANO BLANCO	0.373	0.170
SAN LUIS - SANTA LAURA	0.383	0.175
COIHUE	0.386	0.176
MILLANTU	0.387	0.177
LAS PLAYAS	0.392	0.179
TALCAMAVIDA	0.396	0.181
PUERTO SUR	0.444	0.203
LARAQUETE - EL PINAR	0.459	0.210
PEAJE CHAIMAVIDA	0.475	0.217
PUNTA LAVAPIE	0.485	0.222
SANTA FE	0.535	0.244
SAN JOSE DE BIOBIO	0.543	0.248
LLONCAO - PAICAVI	0.577	0.264
CALETA LAS PEÑAS	0.588	0.269
SANTA ROSA (LEBU)	0.626	0.286
POLCURA	0.626	0.286
PUERTO NORTE	0.630	0.288
PATA DE GALLINA	0.646	0.295
RIHUE - PICHIRENAICO	0.660	0.301
SAN CARLOS DE PUREN	0.700	0.320

Gasto energético promedio por unidad de volumen facturado (continuación)

APR	kWh/m ³	Valor normalizado
TOMECO	0.754	0.345
RIO CLARO	0.780	0.356
SAN ANTONIO - LAS QUINTAS - ALLIPEN	0.796	0.364
TRUPAN	0.837	0.383
VILLA MERCEDES	0.945	0.432
EL PINO - SAN MIGUEL	1.064	0.486
CHAIMAVIDA SOTO	1.148	0.525
COLIUMO	1.212	0.554
LA MONTAÑA	1.545	0.706
ANTIHUALA - TEMUCO CHICO - LA ARAUCANA	1.670	0.763
VILLUCURA	1.918	0.877
RARINCO - NATRE RARINCO - SANTA CLARA	2.014	0.921
SAN JOSE DE COLICO	2.188	1.000
PICHIARAUCO	8.499	3.884

Gasto energético acumulado por persona entre enero 2019 - octubre 2019

APR	kWh/p/(ene-oct 2019)	Valor normalizado
AGUA Y SOL	0.07	0.001
CAYUCUPIL	0.28	0.006
HUILLINCO	0.33	0.007
VILLA LOS RIOS	0.46	0.009
VILLA LAS ROSAS - VILLA PELUCA	1.12	0.023
RALCO	1.30	0.026
TIRUA	5.03	0.102
EL PROGRESO	6.91	0.140
LLANO BLANCO	6.94	0.141
DIUTO	8.46	0.172
EL ALAMO	9.51	0.193
EL PERAL	9.78	0.199
CALETA CHOME	10.45	0.212
SAN LUIS - SANTA LAURA	11.14	0.226
PUERTO SUR	11.48	0.233
MILLANTU	11.96	0.243
PUNTA LAVAPIE	12.40	0.252
COIHUE	13.25	0.269
SAN JOSE DE BIOBIO	14.44	0.293
SANTA FE	14.72	0.299

Gasto energético acumulado por persona entre enero 2019 - octubre 2019 (continuación)

APR	kWh/p/(ene-oct 2019)	Valor normalizado
CHACAYAL	14.77	0.300
LARAQUETE - EL PINAR	15.30	0.311
PUERTO NORTE	16.93	0.344
LLONCAO - PAICAVI	17.42	0.354
RIHUE - PICHIRENAICO	17.63	0.358
CALETA LAS PEÑAS	17.64	0.359
LAS PLAYAS	18.04	0.367
PEAJE CHAIMAVIDA	18.12	0.368
TALCAMAVIDA	18.57	0.377
PATA DE GALLINA	18.84	0.383
SANTA ROSA (LEBU)	20.36	0.414
SAN ANTONIO - LAS QUINTAS - ALLIPEN	21.28	0.433
SAN CARLOS DE PUREN	21.34	0.434
TOMEKO	22.03	0.448
TRUPAN	22.48	0.457
POLCURA	23.15	0.471
EL PINO - SAN MIGUEL	26.55	0.540
COLIUMO	27.96	0.568
VILLA MERCEDES	29.90	0.608
CHAIMAVIDA SOTO	38.25	0.778
SAN JOSE DE COLICO	43.62	0.887
LA MONTAÑA	43.91	0.893
ANTIHUALA - TEMUCO CHICO - LA ARAUCANA	46.15	0.938
VILLUCURA	46.59	0.947
RARINCO - NATRE RARINCO - SANTA CLARA	49.19	1.000
PICHIARAUCO	172.31	3.503



Gasto energético promedio por persona por mes

APR	kWh/p/mes	Valor normalizado
AGUA Y SOL	0.007	0.001
CAYUCUPIL	0.028	0.006
HUILLINCO	0.033	0.007
VILLA LOS RIOS	0.046	0.009
VILLA LAS ROSAS - VILLA PELUCA	0.112	0.023
RALCO	0.130	0.026
TIRUA	0.503	0.102
EL PROGRESO	0.691	0.140
LLANO BLANCO	0.694	0.141
DIUTO	0.846	0.172

Gasto energético promedio por persona por mes (continuación)

APR	kWh/p/mes	Valor normalizado
EL ALAMO	0.951	0.193
EL PERAL	0.978	0.199
CALETA CHOME	1.045	0.212
SAN LUIS - SANTA LAURA	1.114	0.226
PUERTO SUR	1.148	0.233
MILLANTU	1.196	0.243
PUNTA LAVAPIE	1.240	0.252
LAS DELICIAS	1.251	0.254
COIHUE	1.325	0.269
SAN JOSE DE BIOBIO	1.444	0.293
SANTA FE	1.472	0.299
CHACAYAL	1.477	0.300
LARAQUETE - EL PINAR	1.530	0.311
PUERTO NORTE	1.693	0.344
LLONCAO - PAICAVI	1.742	0.354
RIHUE - PICHIRENAICO	1.763	0.358
CALETA LAS PEÑAS	1.764	0.359
LAS PLAYAS	1.804	0.367
PEAJE CHAIMAVIDA	1.812	0.368
TALCAMAVIDA	1.857	0.377
PATA DE GALLINA	1.884	0.383
SANTA ROSA (LEBU)	1.957	0.398
SAN ANTONIO - LAS QUINTAS - ALLIPEN	2.036	0.414
SAN CARLOS DE PUREN	2.041	0.415
RIO CLARO	2.128	0.433
TOMECO	2.203	0.448
TRUPAN	2.248	0.457
POLCURA	2.315	0.471
EL PINO - SAN MIGUEL	2.655	0.540
COLIUMO	2.796	0.568
VILLA MERCEDES	2.990	0.608
CHAIMAVIDA SOTO	3.825	0.778
SAN JOSE DE COLICO	4.362	0.887
LA MONTAÑA	4.391	0.893
ANTIHUALA - TEMUCO CHICO - LA ARAUCANA	4.615	0.938
VILLUCURA	4.659	0.947
RARINCO - NATRE RARINCO - SANTA CLARA	4.919	1.000
PICHIARAUCO	17.231	3.503



