



**Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental**



ANÁLISIS EXPLORATORIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON MICROTURBINAS EN UNA RED DE DRENAJE DE AGUAS LLUVIA EN LA CIUDAD DE PUERTO MONTT

Habilitación profesional presentada para optar al título de
Ingeniero Ambiental

LUZ MAGDALENA GUTIÉRREZ BROWN

Profesor Guía: Dr. Pedro Arriagada Sanhueza
Profesor Co-Guía: Ing. Gustavo Rey Hernández (ENEL)

**Concepción,
Chile 2024**

“ANÁLISIS EXPLORATORIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON MICROTURBINAS EN UNA RED DE DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE PUERTO MONTT.”

Profesor Guía: Dr. Pedro Arriagada Sanhueza



Profesor Co-Guía: Dr. Gustavo Rey Hernández



Profesor Comisión: Dr. Ricardo Figueroa Jara



CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MAXIMA

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, abril 2024

AGRADECIMIENTOS

Quisiera manifestar un profundo agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres, Juan Fermín y Mónica Elizabeth, por su apoyo incondicional e inmenso amor que han demostrado en cada uno de sus actos.

A Ali Jesús, por su leal compañía y por siempre creer en mí, incluso más de lo que yo misma lo hacía.

A mis amigos, por estar a mi lado durante todo este trayecto y ser parte importante de las mejores experiencias que tuve estos años. Agradezco infinitamente todo el cariño que he recibido de su parte.

A mi profesor guía, Pedro Arriagada, por su tremenda disposición y constante compromiso. Estoy muy agradecida de haber sido recibida en un entorno cálido y de mucho aprendizaje.

A mi profesor co-guía, Gustavo Rey, por también guiarme y por compartir sus conocimientos cada vez que lo necesité.

A mis profesores de comisión, por su interés y respeto al ayudarme a mejorar.

Muchas gracias a toda persona que fue parte de mi camino en estos últimos años, pues de alguna u otra manera influyeron en mí y contribuyeron a formar la persona que soy el día de hoy.

Índice principal:

Índice de figuras:	v
Índice de tablas:.....	vi
Resumen	vii
1. Antecedentes Generales	1
1.1. Transición energética.....	1
1.2. Generación distribuida	2
1.2.1. Generación distribuida en Chile	3
1.3. Proyectos hidroeléctricos en redes de drenaje	5
1.3.1. Aspectos técnicos por considerar	10
1.4. Sistema de drenaje de aguas lluvias en Chile:.....	11
1.4.1. Ley 19525	12
1.4.2. Oportunidad de implementación en Puerto Montt	13
2. Pregunta de Investigación	15
3. Objetivos	15
3.1. General	15
3.2. Específicos.....	15
4. Metodología	16
4.1. Área de estudio:	16
4.2. Objetivo específico 1: Identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt donde es posible implementar un proyecto de generación eléctrica con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias	19
4.2.1. Análisis del marco normativo para factibilidad legal	19
4.2.2. Análisis espacial de la zona de estudio:.....	19
4.3. Objetivo específico 2: Estimar la potencia en los distintos sitios identificados para la posible instalación de microturbinas:.....	21
4.3.1. Análisis climático.....	21
4.3.1.1. Análisis de Precipitaciones Diarias	21
4.3.2. Obtención de caudales:.....	22
4.3.3. Estimación de la potencia bruta	24

5.	Resultados y Discusión:.....	25
5.1.	Objetivo específico 1: Identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt donde es posible implementar un proyecto de generación eléctrica con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias.	25
5.1.1.	Análisis del marco normativo para factibilidad legal:.....	25
5.1.2.	Análisis espacial de la zona de estudio:.....	28
5.1.2.1.	Tramos seleccionados:.....	29
5.2.	Objetivo específico 2: Estimar la potencia en los distintos sitios identificados para la posible instalación de microturbinas.....	43
5.2.1.	Resultados de análisis de precipitaciones diarias	43
6.	Conclusiones y recomendaciones:.....	55
7.	Referencias Bibliográficas.....	57
8.	Anexos	61

Índice de figuras:

Figura 1.	Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de generación distribuida (b).	2
Figura 2.	Tipos de autoconsumo.	4
Figura 3.	Red de drenaje y evacuación de aguas lluvias urbano.....	12
Figura 4.	Operación de una central hidroeléctrica en una red de drenaje de aguas lluvias.	7
Figura 5.	Terrazas glaciofluviales donde se asienta la ciudad de Puerto Montt.	14
Figura 6.	Área de estudio.....	17
Figura 7.	Red de drenaje de aguas lluvias en la ciudad de Puerto Montt.	18
Figura 8.	Esquema de filtros y criterios para la selección de tramos.	20
Figura 9.	Esquema para el cálculo de porcentajes de días con y sin lluvia, y estimación de precipitaciones mensuales y anuales.....	22
Figura 10.	Colectores con mayor potencial para generación hidroeléctrica según número de zona.	30
Figura 11.	Cantidad de colectores con respecto a sus diferencias de cotas.....	31
Figura 12.	Tramos seleccionados en zona 1.....	32
Figura 13.	Tramos seleccionados en zona 3.....	34
Figura 14.	Tramos seleccionados en zona 4.....	36
Figura 15.	Tramos seleccionados en zona 5.....	38
Figura 16.	Tramos seleccionados en zona 6.....	40
Figura 17.	Porcentaje mensual y anual de días con y sin lluvia en Estación Puerto Montt para el periodo 1980-2022.....	44
Figura 18.	Caudales medios anuales obtenidos para cada tramo de colector en el área de estudio.....	45
Figura 19.	Potencias medias estimadas obtenidas para cada tramo de colector en el área de estudio, para valores de precipitación anual.	49

Índice de tablas:

Tabla 1.	Parámetros técnicos y valores o rangos recomendados para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en redes de drenaje de aguas lluvias, según autores.	10
Tabla 2.	Información de colectores seleccionados para zona 1.	32
Tabla 3.	Información de colectores seleccionados para zona 3.	35
Tabla 4.	Información de colectores seleccionados para zona 4.	37
Tabla 5.	Información de colectores seleccionados para zona 5.	38
Tabla 6.	Información de colectores seleccionados para zona 6.	41
Tabla 7.	Precipitaciones medias mensuales en Estación Puerto Montt para el periodo 1980-2022.	43
Tabla 8.	Información de caudales para colectores seleccionados para zona 1.....	46
Tabla 9.	Información de caudales para colectores seleccionados para zona 3.....	46
Tabla 10.	Información de caudales para colectores seleccionados para zona 4.....	47
Tabla 11.	Información de caudales para colectores seleccionados para zona 5.....	47
Tabla 12.	Información de caudales para colectores seleccionados para zona 6.....	48
Tabla 13.	Información de potencia para colectores seleccionados para zona 1.....	50
Tabla 14.	Información de potencia para colectores seleccionados para zona 3.....	50
Tabla 15.	Información de potencia para colectores seleccionados para zona 4.....	51
Tabla 16.	Información de potencia para colectores seleccionados para zona 5.....	51
Tabla 17.	Información de potencia para colectores seleccionados para zona 6.....	51
Tabla 18.	Colectores seleccionados y sus potencias medias estimadas, según caso de precipitaciones anuales y mensuales para junio y enero.....	52

Resumen

La creciente demanda energética ha causado un aumento exponencial en el consumo de combustibles fósiles a nivel global, lo que, a su vez, ha elevado la emisión de gases de efecto invernadero. Se plantea un desafío crucial: la necesidad de reducir las emisiones sin comprometer el desarrollo económico, productivo y social. En este contexto, es relevante explorar modelos energéticos más eficientes y sostenibles, donde la generación distribuida emerge como una solución prometedora. Entre las energías renovables no convencionales que pueden ser parte de un sistema de generación distribuida, la generación hidroeléctrica a pequeña escala se presenta como una alternativa atractiva, especialmente por sus ventajas ambientales en comparación con otras energías renovables.

En particular, la micro hidroelectricidad puede aprovechar infraestructuras existentes, como las redes de drenaje de aguas lluvias. Diversos estudios han evaluado la viabilidad de proyectos hidroeléctricos en estas redes, evidenciando sus diversos beneficios. Esta idea de proyecto encuentra un escenario propicio en ciudades como Puerto Montt, que está caracterizada por su régimen pluviométrico y topografía favorable.

El presente estudio se centra en la evaluación del Plan Maestro de Aguas Lluvias de la Ciudad de Puerto Montt, realizado en 2002, mediante análisis normativos y espaciales de su red de drenaje. Se identifican 40 posibles tramos de colectores para la implementación de centrales hidroeléctricas, estimando sus potencias medias que podrían alcanzar hasta los 27 kW. Los resultados obtenidos respaldan la continuación de la investigación y se sugiere profundizar el estudio a futuro.

1. Antecedentes Generales

1.1. Transición energética

Una mayor demanda energética a nivel global impulsó la utilización de combustibles fósiles, lo que, a su vez, provocó un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero, o “GEI” (IPCC, 2011). Debido principalmente a la quema de combustibles fósiles para la producción energética (IPCC, 2014). En el caso de Chile, en el año 2020, el componente de “Producción de electricidad y calor como actividad principal” fue la principal fuente de emisiones de GEI, abarcando un 26% de las emisiones totales nacionales (MMA, 2022).

Las crecientes emisiones de GEI están relacionadas al aumento de la temperatura promedio del planeta y, por consecuencia, a los cambios globales como la modificación de los patrones de precipitación, cambios en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y alza del nivel del mar (IPCC, 2018). Es necesario entonces disminuir los niveles de emisiones globales, pero sin dejar de producir energía para el desarrollo económico, productivo y social de los países.

Para esto, es necesario realizar un cambio y diversificación de la matriz energética, introduciendo energías renovables en la producción de energía útil (CEPAL, 2017). La transición hacia estas energías sostenibles no sólo es esencial para reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, sino que también desempeña un papel crucial en la mitigación de los efectos del cambio climático (Labandeira et al., 2012).

Los avances en tecnologías energéticas apuntan a transformaciones profundas al modelo actual de generación y distribución de energía, además de la inyección de energías renovables como fuentes de generación y reemplazo a las centrales fósiles, se observa también la creciente necesidad de incorporar temas como almacenamiento de energía, mejoras en la seguridad y estabilidad energética, redes inteligentes, gestión de la demanda energética, entre otros. Explorar alternativas al modelo actual se convierte en una necesidad prioritaria en el contexto de mejorar las políticas energéticas. Así,

dentro de las distintas posibles medidas a implementar e investigar, se observan los sistemas de generación distribuida como uno de los múltiples aportes para solucionar las necesidades energéticas.

1.2. Generación distribuida

En contraposición al modelo tradicional centralizado de generación y distribución energética, la generación distribuida presenta un sistema que permite la autogeneración de energía, principalmente en base a energías renovables no convencionales, permitiendo a los usuarios convertirse en generadores para cubrir su propia demanda, e incluso vender sus excedentes de energía. La principal diferencia entre un sistema de energía eléctrica tradicional y un sistema de generación distribuida corresponde a la existencia de una bidireccionalidad en la etapa de distribución. La Figura 1, a continuación, ejemplifica las diferencias entre los esquemas de funcionamiento de estos dos sistemas.

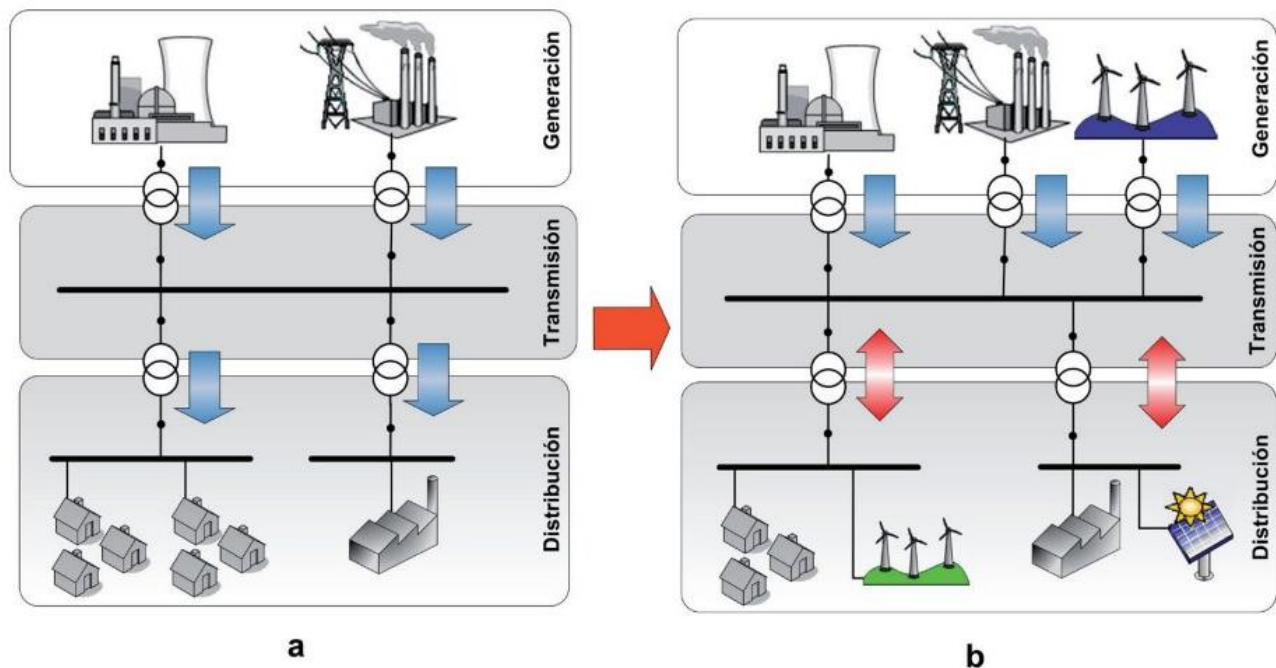


Figura 1. Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y de generación distribuida (b).

Fuente: Diaz & Hernández. (2011).

Dentro de los beneficios de la generación distribuida se encuentran:

- Reduce las pérdidas de energía en la etapa de transmisión: a diferencia de los sistemas centralizados, al ubicar las fuentes de energía dentro del área de consumo o en sus cercanías se reduce la necesidad de extensas líneas de transmisión, minimizando las pérdidas por el transporte de energía y mejorando la eficiencia global del sistema (Valencia, 2008; ENDESA, s.f.).
- Promueve la participación de las fuentes de generación de ERNC, aumentando así el porcentaje de energías limpias y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero (Ramos, 2020; Valencia, 2008).
- Aumenta la seguridad del sistema eléctrico: al presentar una generación dispersa y con múltiples fuentes de generación locales, las probabilidades de un corte de suministro por fallo disminuyen. Así, una red de generación distribuida puede ofrecer un servicio más fiable y aumentar la autosuficiencia de la comunidad. (Valencia, 2008; ENDESA, s.f.)

1.2.1. Generación distribuida en Chile

En Chile, existen diferentes modelos bajo los cuales se puede desarrollar la generación distribuida de autoconsumo:

- Generación distribuida para el autoconsumo o Net-billing: son proyectos de generación por fuentes de energía renovables que buscan auto suministrar las demandas de energías locales, a través de un usuario residencial o comercial. Permiten disminuir el costo de la energía e incluso generar un ingreso económico por la inyección de energía producida por el cliente. La capacidad instalada para un proyecto de Net-billing debe ser de hasta 300 kW y se rigen por el Art. 149 Bis de la Ley General de Servicios Eléctricos, o LGSE, y el DS 57/2019 (Gutiérrez, 2023).

- Pequeños Medios de Generación Distribuida o “PMGD”: son proyectos principalmente de índole comercial, que pueden presentar hasta 9000 kW de excedentes de potencia suministrables a la red de distribución. Estas fuentes de energía tienen la posibilidad de conectarse sin estar vinculados a un consumo, por lo que se han desarrollado principalmente con objetivo de comercializar energía en el mercado eléctrico. Estos proyectos se rigen por el Art. 149 LGSE, y el DS 88/2019 (Santana, 2019; Gutierrez, 2023).

- Autogeneración sin inyección: son proyectos de autoconsumo que no inyectan sus excedentes de electricidad a la red de distribución. Estos pueden ser proyectos aislados de la red o con enfoques comerciales. No tienen un límite específico de capacidad y se rigen por el DS 8/2019 y el pliego técnico normativo RIC n.º 9.

La Figura 2, a continuación, ilustra los tipos de autoconsumo en Chile según su conexión a la red e inyección.

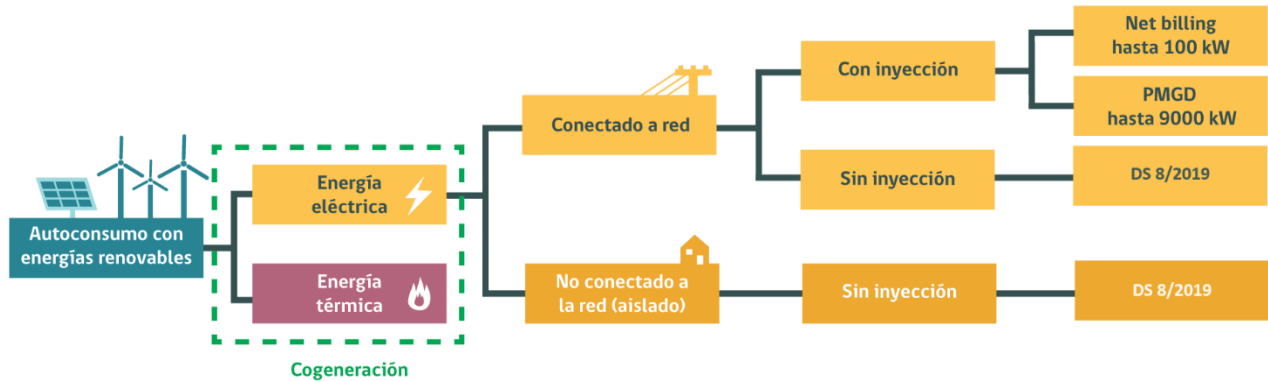


Figura 2. Tipos de autoconsumo.

Fuente: Ministerio de Energía (2024)

1.3. Proyectos hidroeléctricos en redes de drenaje

En Chile, con una potencia de 619 MW, los proyectos mini hidro aportan poco menos de un 10% a la capacidad instalada total de proyectos hidroeléctricos que alcanzan los 7.200 MW aproximados (CNE, 2023). Este valor no representa ni un 50% del potencial hidroeléctrico del país que se estima podría llegar hasta a más de 15.000 MW. (Ministerio de Energía 2016).

Las pequeñas centrales hidroeléctricas, también llamadas “mini hidroeléctricas” o “mini hidro” en Chile, corresponden a proyectos hidráulicos que pueden aprovechar cauces medianos o pequeños para la generación eléctrica a pequeña escala y mayoritariamente son proyectos de pasada (Okot, 2013). Estos derivan el agua del río hacia una cámara de carga la cual se conecta con una turbina para generar la electricidad y posteriormente devolver las aguas al cauce. Para que un proyecto hidroeléctrico sea considerado como “mini hidro” en Chile, debe cumplir con el requisito de presentar una potencia instalada de hasta 20 MW, pero este valor varía en otros países y pueden llegar hasta 25 MW, como en India, o incluso hasta 50 MW, como en Filipinas o Nueva Zelanda (Abbasi & Abbasi, 2011). Para calcular y conocer esta potencia hidráulica, es imprescindible conocer el salto bruto y la evolución temporal del caudal (Carta et al., 2019).

Diversos autores coinciden en que estos sistemas no presentan emisiones atmosféricas en su periodo de operación, y tampoco generan gases de efecto invernadero, pero pueden llegar a causar otros problemas ambientales al incorporar pequeños embalses parecidos a los ya conocidos en la energía hidráulica convencional, como por ejemplo la destrucción de ecosistemas, pérdida de la biodiversidad y fragmentación de hábitats

(Kucukali, 2014; Kelly, 2019; Comino et al., 2019; Okot, 2013). Estos impactos negativos pueden evitarse si se reemplazan por centrales de pasada, en canales de riego o en infraestructuras hídricas existentes.

Dentro de la clasificación de mini hidro, se encuentra también una subclasificación asociada a la potencia instalada: los proyectos llamados “micro hidroeléctricos”, que alcanzan una potencia máxima de 100 kW. Estas centrales micro hidroeléctricas generalmente aprovechan los cauces de agua pequeños para tener así un proceso con una potencia de hasta 100 kW (Carta et al., 2009). Estas centrales requieren obras civiles pequeñas y cercanas a los flujos de agua a aprovechar. Mundialmente, esta tecnología se ha implementado principalmente en las zonas rurales, pero también existen iniciativas de proyectos micro hidroeléctricos en zonas urbanas.

Estos proyectos hidroeléctricos en zonas urbanas presentan el aprovechamiento del potencial energético de aguas que no necesariamente están siendo usadas con fines energéticos (Punys & Jurevicius, 2022). Al existir ya la infraestructura por la que fluyen estas aguas, se presenta un beneficio al poder integrar estas centrales o plantas hidroeléctricas a ellas y evitar los impactos ambientales que usualmente están asociados a la construcción de proyectos hidroeléctricos convencionales, llegando incluso a presentar impactos positivos asociados a la recuperación energética (Vincent Denis & Punys, 2012).

Existen distintas oportunidades de implementar proyectos hidroeléctricos de pequeña escala en infraestructura existente, como redes de agua potable, residuales e incluso drenaje de aguas lluvias. La Figura 3 a continuación entrega una idea conceptual de cómo funciona una pequeña central hidroeléctrica integrada a una red de drenaje de

aguas lluvias.

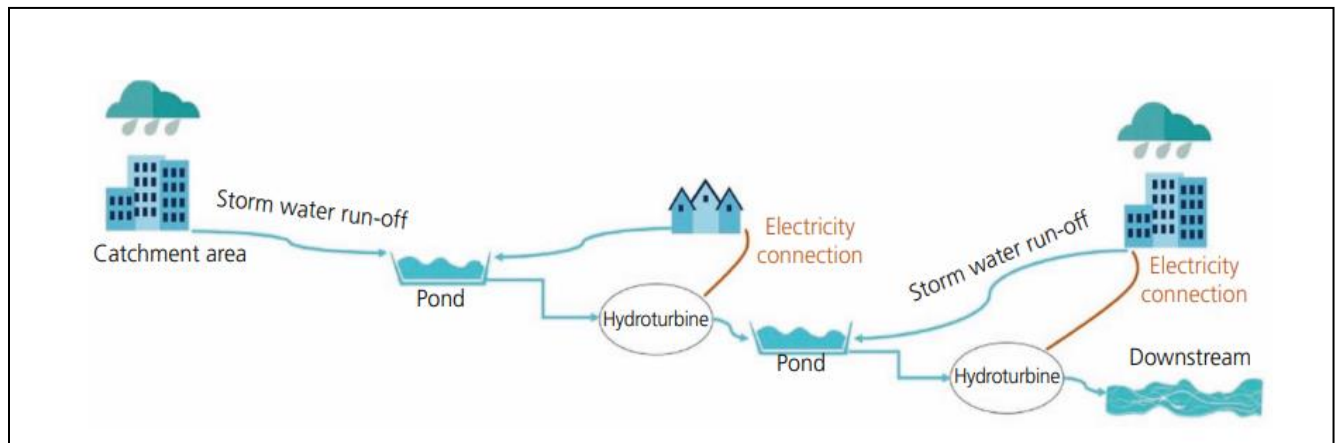


Figura 3. Operación de una central hidroeléctrica en una red de drenaje de aguas lluvias.

Fuente: Costa, Fenner, & Kapetas. (2018).

Distintos estudios han explorado la factibilidad de implementar proyectos hidroeléctricos en estas redes de drenaje de aguas lluvias, sugiriendo que no sólo es posible aprovechar el caudal para generación eléctrica, sino también que hacerlo entrega múltiples beneficios como la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y el aporte al control de inundaciones en zonas urbanas (Duan & Gao, 2019). Por ejemplo:

- Bailey et al., en 2009, desarrolló un estudio de factibilidad de un proyecto hidroeléctrico en infraestructura de drenaje de aguas lluvias en Portland, Oregon, USA. Este estudio determinó que, a pesar de que la ciudad tuviera abundante precipitación y caídas de nivel sustanciales, el principal factor limitante era la continuidad del flujo del

agua. Este caso de estudio se evaluó en dos puntos, considerando caudales variables que van desde $0.006 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, alturas de 12, 22 y 35 metros y turbinas con eficiencia del 70%. Las potencias estimadas van de 1.33 a 5.4 KW.

- Costa et al., en 2018, evaluó la factibilidad de proyectos hidroeléctricos en dos sitios de estudio, en Herefordshire, UK, y en Oregon, USA, asumiendo la implementación de una piscina de retención en los sistemas. Respectivamente, estos presentaron una potencia estimada de 0.09 y 10.6 kW. El primer caso se evaluó considerando un caudal máximo de $10.8 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de 4.2 metros y una turbina tubular. No se mencionó la eficiencia asociada a la posible turbina.

El segundo caso se evaluó considerando un caudal máximo de $126 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de 44 metros y una turbina Pelton o de flujo cruzado. No se mencionó la eficiencia asociada a las posibles turbinas.

- Duan & Gao, en 2019, evalúa un caso de estudio de generación hidroeléctrica en redes de drenaje de aguas lluvias en la ciudad de Tung Chung, Hong Kong. Este caso de estudio se evaluó considerando caudales variables que van desde $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2.918 \text{ m}^3/\text{s}$, una altura de 5.5 metros y una turbina con eficiencia del 70%. Se determinó la potencia estimada que podría tener el proyecto en distintos escenarios asociados al cambio climático, y también se evaluaron estos escenarios con y sin la implementación de piscinas de retención en la infraestructura, obteniendo potencias

estimadas de entre 1 y 110 kW. Concluye que es provechoso desarrollar este tipo de proyecto, no sólo por los beneficios de la generación eléctrica sino también por el control de inundaciones.

- Kamal et al., en 2014, evalúa la factibilidad de un proyecto micro hidroeléctrico aprovechando una piscina de retención ubicada en la red de drenaje de aguas lluvias de Kuala Lumpur, Malasia. Este caso de estudio se evaluó considerando un caudal mínimo de $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal máximo de $24.2 \text{ m}^3/\text{s}$, una altura de 3 metros y una turbina con eficiencia del 70%. Se modificó el diseño de la piscina y se estimó la potencia según caudales y su duración, entregando resultados de entre 0.5 a 498 kW.

- Ramos et al., en 2012, analiza diferentes diseños de piscinas de retención en un sistema de drenaje urbano de aguas lluvias y establece una metodología para optimizar la producción hidroeléctrica en esta infraestructura. El área de estudio corresponde al distrito de Alcantara en Lisboa, Portugal. Los escenarios variaban entre una piscina de retención y dos piscinas de retención, y respectivamente entregaron resultados de potencia estimada de hasta 45 kW para el primer caso, y hasta 60 kW en el segundo.

Autores coinciden en que las principales limitaciones de estos proyectos están asociadas a la intermitencia de la producción, dado que las redes de drenaje de aguas lluvias no presentan infraestructura para retener el recurso y mantener el flujo constante, es por esto por lo que recomiendan la implementación de piscinas de

retención para asegurar un funcionamiento más estable. También es mencionado el desafío de controlar las partículas y sedimentos que están presente en el agua de estas infraestructuras, puesto que pueden causar daños a las turbinas, siendo necesario implementar soluciones a este problema en el diseño del proyecto (San Bruno et al., 2010).

1.3.1. Aspectos técnicos por considerar

Tomando en cuenta lo anterior, se presenta la Tabla 1 con los principales parámetros técnicos a considerar en el desarrollo y evaluación de los proyectos micro hidroeléctricos en redes de drenaje de aguas lluvias, según lo mencionado en los estudios previamente mencionados.

Tabla 1. Parámetros técnicos y valores o rangos recomendados para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en redes de drenaje de aguas lluvias, según autores.

Parámetro	Valores o rangos recomendados	Autores que lo mencionan
Altura de la caída de agua	>2 metros	Costa, 2018. Kamal et al., 2014. Bailey & Bass, 2009.
Pendiente de la caída de agua	>5%	CNR, 2020.
Caudal	Se recomienda construir piscinas de retención para mantener una carga hidráulica constante	Costa, 2018. Kamal et al., 2014. Bailey & Bass, 2009.

Parámetro	Valores o rangos recomendados	Autores que lo mencionan
Calidad del agua (partículas sedimentarios y/o desechos, y sus características)	Se debe evitar la erosión mecánica de la turbina	Kamal et al., 2017. Bailey & Bass, 2009.
Cantidad de lluvia	>1000 mm anuales promedio	Costa, 2018. Kamal et al., 2014. Bailey & Bass, 2009.

1.4. Sistema de drenaje de aguas lluvias en Chile:

La creciente urbanización representa una amenaza para las condiciones naturales de una cuenca y su ciclo hidrológico (Fernández, 2004). El proceso de cambio de uso de suelo al urbanizar un territorio puede modificar los patrones de drenaje cuando se impermeabiliza el suelo, esto por la construcción de distintas infraestructuras urbanas, llegando también a alterar las vías naturales de escurrimiento (SERVIU, 2020). Estos cambios han generado la necesidad de diseñar una red que pueda drenar las aguas lluvias urbanas para asegurar un fácil escurrimiento y disposición, que impidan el daño que puedan causar a la comunidad. Es por esto por lo que se define, para las zonas urbanizadas, una red de drenaje de aguas lluvias correspondientes a una red de conductos que capte y desaloje las aguas lluvias de las zonas urbanas hacia un cuerpo de agua receptor. Estos proyectos pueden incluir obras de infiltración, almacenamiento, captación y conducción (superficial o subterránea).

En la siguiente Figura 4, se observa un esquema del funcionamiento de una red de drenaje en una zona urbana.

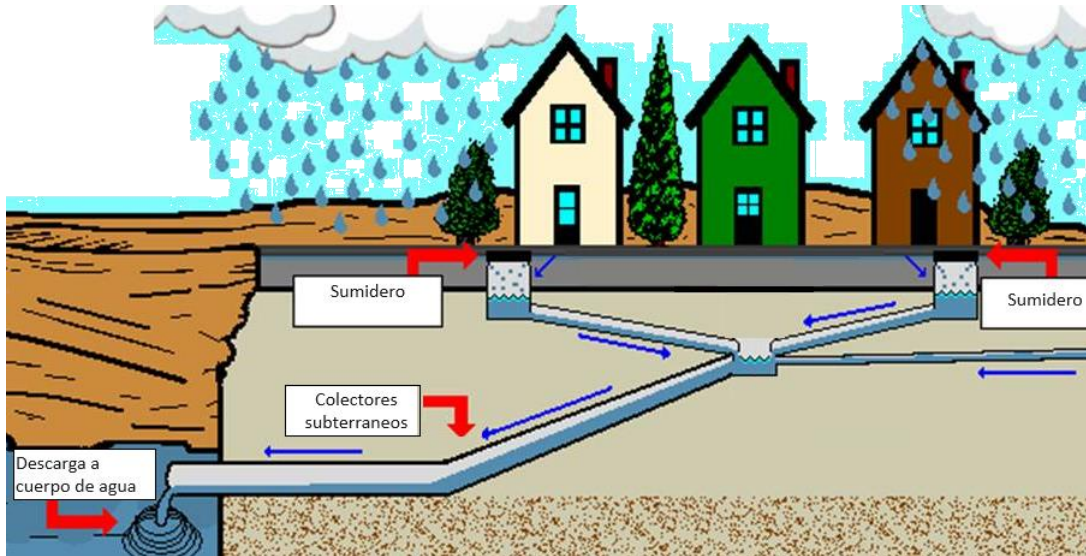


Figura 4. Red de drenaje y evacuación de aguas lluvias urbano.

Fuente: Salam & Shah. (2019).

1.4.1. Ley 19525

Los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias en Chile están reglamentados por la Ley n.º 19525 del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la cual fue publicada el 10 de noviembre del año 1997. Establece que “el Estado velará porque en las ciudades y en los centros poblados existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan el daño que ellas puedan causar a las personas, a las viviendas y, en general, a la infraestructura urbana”.

En este proyecto de ley se define que la red primaria de los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias y su planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento estarán a cargo del Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), mientras que la red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda de Urbanismo (MINVU), directamente en lo relativo a su planificación y estudio, y a través de los Servicios de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) en lo relativo a su proyección, construcción, reparación y mantención.

El MOP está encargado de crear el principal instrumento de planificación de estas redes de drenaje: el Plan Maestro de Aguas Lluvias. Este instrumento de planificación territorial entrega los antecedentes técnicos, y la definición de las redes de evacuación y drenaje primarias y secundarias. La red primaria se define en cada plan maestro, dependiendo de los estudios y los distintos criterios que puedan seleccionarse en base a ellos, mientras que la red secundaria se define y constituye por el resto de las redes que no forman parte del proyecto primario. Dentro de los criterios más recurrentes en las definiciones de redes primarias de Planes Maestros de distintas comunas del país, se encuentran: cauces naturales y sus obras de canalización, canales, colectores cuyo diámetro sea igual o superior a 500 mm.

Esta Ley establece también que las redes de drenaje y evacuación de aguas lluvias que se construyan deben estar completamente separadas de las redes de aguas servidas, a menos que la autoridad competente así lo disponga y se justifique.

1.4.2. Oportunidad de implementación en Puerto Montt

La ciudad de Puerto Montt, ubicada en la región de Los Lagos, en la zona sur del país, es un ejemplo de un posible lugar de implementación para un proyecto de aprovechamiento de red de drenaje de aguas lluvias para la generación de energía hidroeléctrica, por su régimen pluviométrico y las elevaciones del terreno en que se emplaza.

Esta ciudad presenta un clima sin estación seca, lo que quiere decir que, a pesar de que los meses de verano presentan menores precipitaciones, estos eventos de lluvia se prolongan todo el año y se concentran en los meses de invierno (Nómade Consultores, 2018). Específicamente, presenta una precipitación anual media de más de 1600 mm y llueve 150 días en promedio al año (CNR, 2023; METEOCHILE, 2023), presentando así una potencia de flujo de lluvia que podría ser aprovechada en un proyecto micro

hidroeléctrico. Además, se emplaza en un sistema de cuatro terrazas (Rovira, 2009), separadas entre sí por laderas escarpadas y quebradas, llegando a una elevación máxima de más de 100 m.s.n.m. La Figura 5 muestra las áreas de las cuatro terrazas de la ciudad de Puerto Montt.

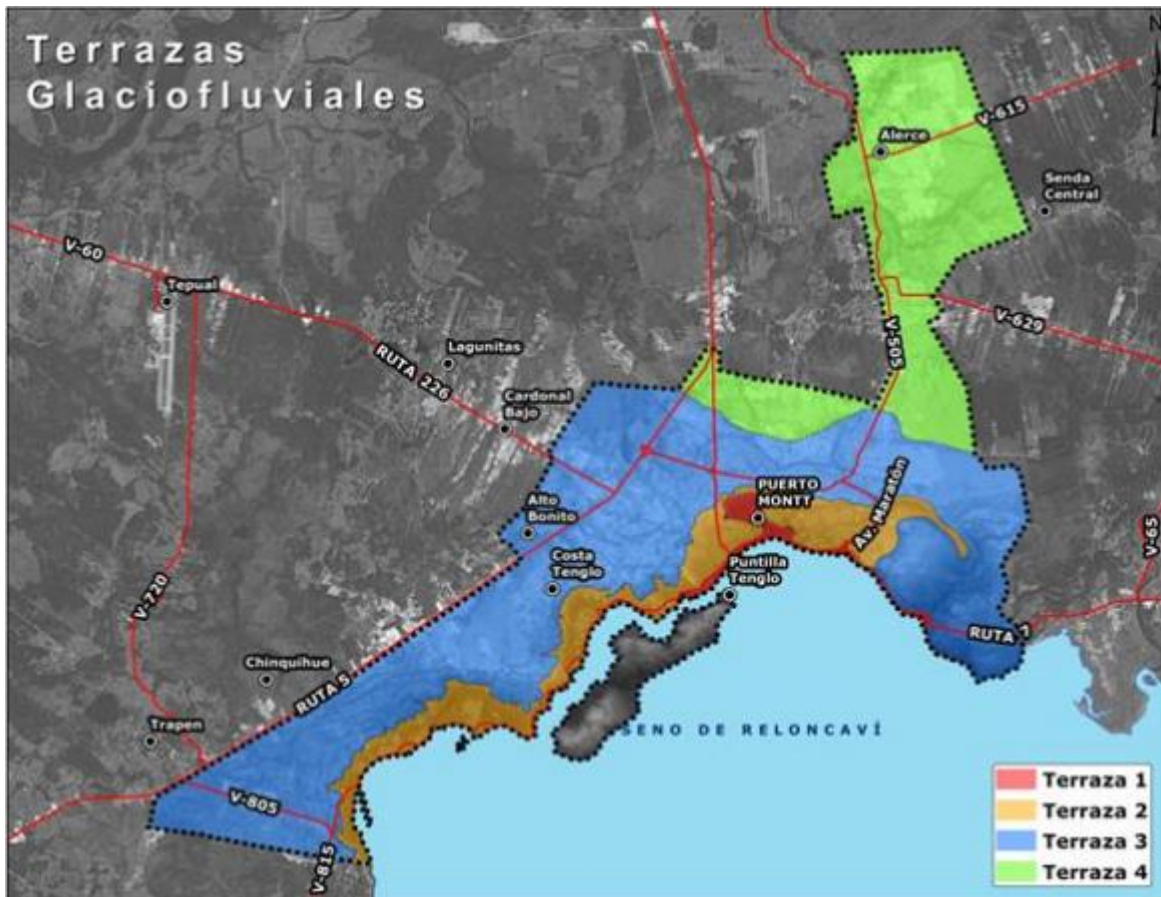


Figura 5. Terrazas glaciofluviales donde se asienta la ciudad de Puerto Montt.

Fuente: Nómade Consultores. (2018).

Es por estas características, y su comparación con los casos de estudio anteriormente mencionados, que este lugar es altamente atractivo para la implementación de un proyecto de generación eléctrica con aguas lluvias.

2. Pregunta de Investigación

¿En qué zonas de la red de drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Puerto Montt es posible instalar microturbinas para generación eléctrica?

3. Objetivos

3.1. General

Evaluar la factibilidad técnica de un proyecto de generación de electricidad con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Puerto Montt

3.2. Específicos

3.2.1. Identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt donde es posible implementar un proyecto de generación eléctrica con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias

3.2.2. Estimar la potencia en los distintos sitios identificados para la posible instalación de microturbinas

4. Metodología

4.1. Área de estudio:

La comuna de Puerto Montt está ubicada en la décima región de Los Lagos, provincia de Llanquihue, en la zona sur del país. Su superficie es de aproximadamente 1667 km² limitando con las comunas de Los Muermos, Calbuco y Maullín al suroeste, Puerto Varas al norte y Cochamó al oeste, y el océano pacífico por el sur. Esta capital regional presentaba hasta el año 2017, 245.902 habitantes de los cuales 89,6% residía en una zona urbana (INE, 2017).

La clasificación climática de Koppen de esta comuna corresponde, en su mayor parte, a Cfb (i), clima templado lluvioso e influencia costera. El uso de suelo predominante en el área de estudio corresponde a bosques, con un 63,5%; praderas y matorrales con un 27,1%; cuerpos de agua con un 3,5%; áreas urbanas-industriales con un 2,9%. Las áreas urbanas se dividen principalmente en Puerto Montt y Alerce, ciudad satélite ubicada al norte de la comuna.

La zona por estudiar corresponde, específicamente, al área urbana de Puerto Montt asociada a la red de drenaje de aguas lluvias, que se encuentra delimitada en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Puerto Montt, y presenta una superficie de 45 km². (ver Figura 6).

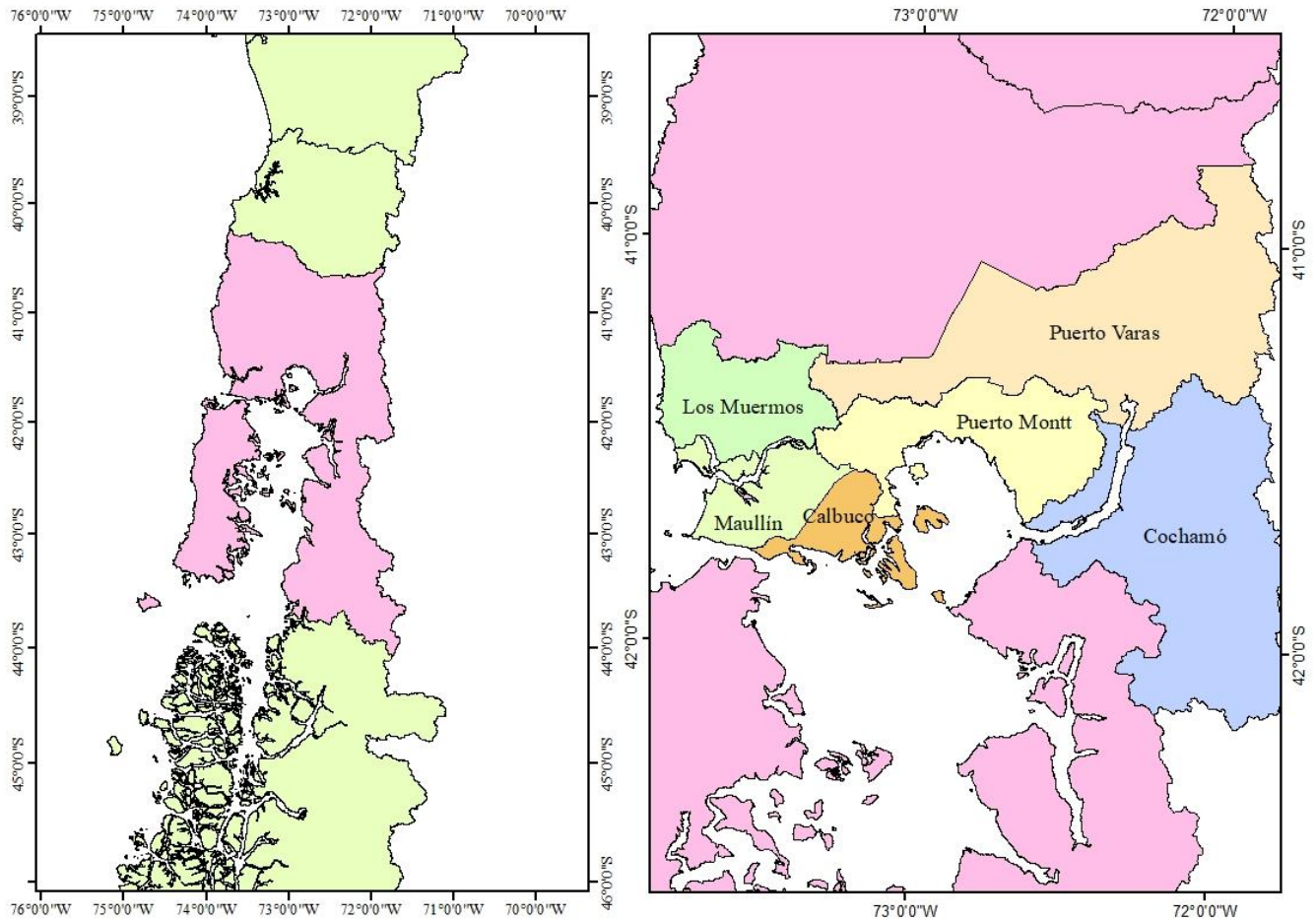


Figura 6. Área de estudio.

La red de drenaje y evacuación de aguas lluvias de la ciudad de Puerto Montt cubre aproximadamente a 170.000 habitantes y su red primaria tiene una longitud de casi 75.000 metros. Los colectores de aguas lluvias de esta red primaria presentan diámetros que van desde los 400 mm hasta 1.800 mm.

Los colectores descargan en distintos lugares y cuerpos de agua receptores, entre ellos se encuentra el mar, distintos canales, cauces y esteros, quebradas e incluso cámaras existentes que los conectan a otros colectores. En la Figura 7 se observa la red de drenaje de aguas lluvias y sus correspondientes puntos de descarga.

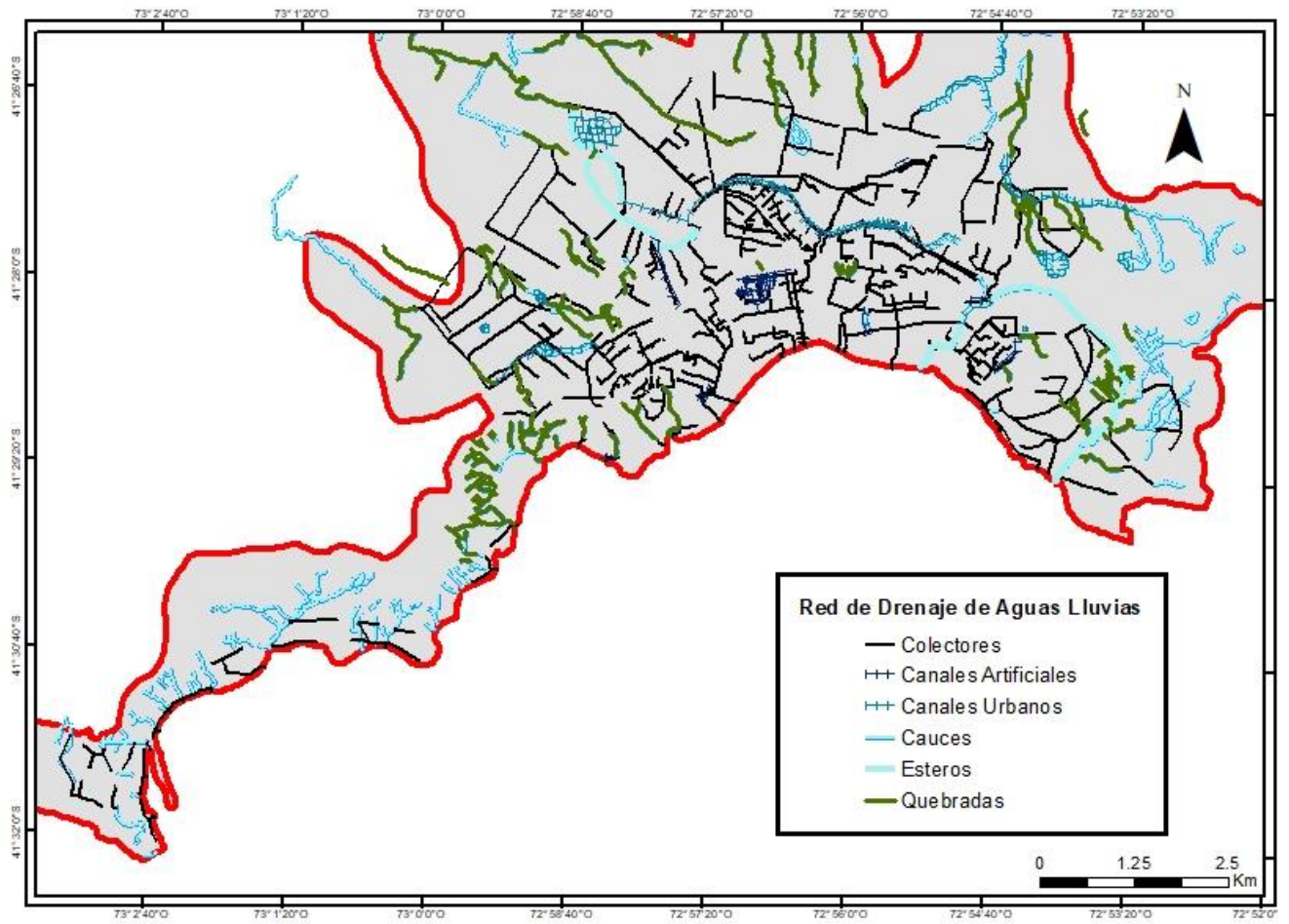


Figura 7. Red de drenaje de aguas lluvias en la ciudad de Puerto Montt.

4.2. Objetivo específico 1: Identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt donde es posible implementar un proyecto de generación eléctrica con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias

4.2.1. Análisis del marco normativo para factibilidad legal

Para encontrar las zonas de interés, fue necesario comenzar con una revisión bibliográfica para recopilar información relevante al marco normativo asociado a este tipo de proyectos. Se estudió la regulación del país para así determinar cuáles son los vacíos o modificaciones que existen en relación con los proyectos hidroeléctricos que funcionan con aguas lluvias, para esto se consultó la Biblioteca del Congreso Nacional con el fin de encontrar requerimientos para su implementación y analizar la factibilidad legal de ésta.

Específicamente, se revisó el Código de Aguas (D.F.L. n° 1.122), DS 50/2015, DS 88/2019, Ley 19.525, Ley 19.300 y DS 40/2013.

La salida de esta búsqueda incluyó requisitos y limitaciones legales para la realización del proyecto, asociados a su respectiva norma.

4.2.2. Análisis espacial de la zona de estudio:

De forma paralela, para el análisis espacial de la zona de estudio se trabajó con la información del Plan Maestro de Aguas Lluvias de la ciudad de Puerto Montt del año 2002. Este presentó datos de 183 colectores, divididos en proyectados y existentes, entregados en forma de planos, documentos escritos y planillas de cálculo. Para analizar y trabajar la información, se utilizaron los softwares Autodesk Autocad, para extraer datos de los planos del proyecto, y ArcGIS, para procesar la información y

obtener resultados de análisis espacial.

El plano de redes primaria y complementaria fue transformado para poder ser trabajado en ArcGIS, asociando a cada figura su respectivo proyecto de colector y su código de identificación. Las redes fueron divididas según los tramos de cada colector, obteniendo puntos de inicio y final para cada uno. Se extrajo la información de elevación para los colectores, desde un modelo de elevación digital (DEM) SRTM obtenido desde Earth Explorer, y se calculó la diferencia de cotas entre tramos, junto con su respectiva pendiente porcentual. Para seleccionar las zonas de interés, en primer lugar se aplicó un filtro asociado a la diferencia de cotas: debe ser mayor o igual a 2 metros, en segundo lugar se aplicó otro filtro asociado a la pendiente porcentual: debe ser mayor o igual a 5% (CNR, 2020), y finalmente se seleccionaron los tramos de colectores cuya diferencia de cotas estaba dentro del 25% superior.

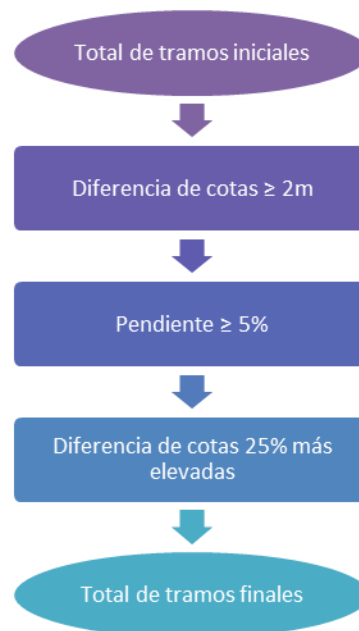


Figura 8. Esquema de filtros y criterios para la selección de tramos.

4.3. Objetivo específico 2: Estimar la potencia en los distintos sitios identificados para la posible instalación de microturbinas:

4.3.1. Análisis climático

Para estimar la potencia de generación en las distintas zonas tentativas para el proyecto, es necesario estudiar el comportamiento pluvial del área de estudio. Para ello se recopiló datos de estaciones pluviométricas de la Dirección General de Aguas y el Explorador Climático del Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia, para un periodo de 1980-2022.

Las estaciones seleccionadas para el análisis climático debían cumplir:

- Tener influencia en la zona de estudio, o sea, la ciudad de Puerto Montt, para ello se utilizaron los polígonos de Thiessen.
- Tener a disposición datos pluviométricos de por lo menos 30 años.

4.3.1.1. Análisis de Precipitaciones Diarias

Los datos utilizados para el análisis corresponden a precipitaciones diarias en la estación de la zona de estudio para el periodo de 1980-2022. Con esta información, se calculó la frecuencia de precipitación mensual y anual, contrastando la información de los días que presentaron lluvia para el periodo de 1980-2022 con los días que no presentaron eventos de lluvia. Este cálculo permitió estimar el porcentaje de días con y

sin lluvia para cada mes del año, y también a escala anual. Adicionalmente, se calculó la precipitación media mensual y anual.

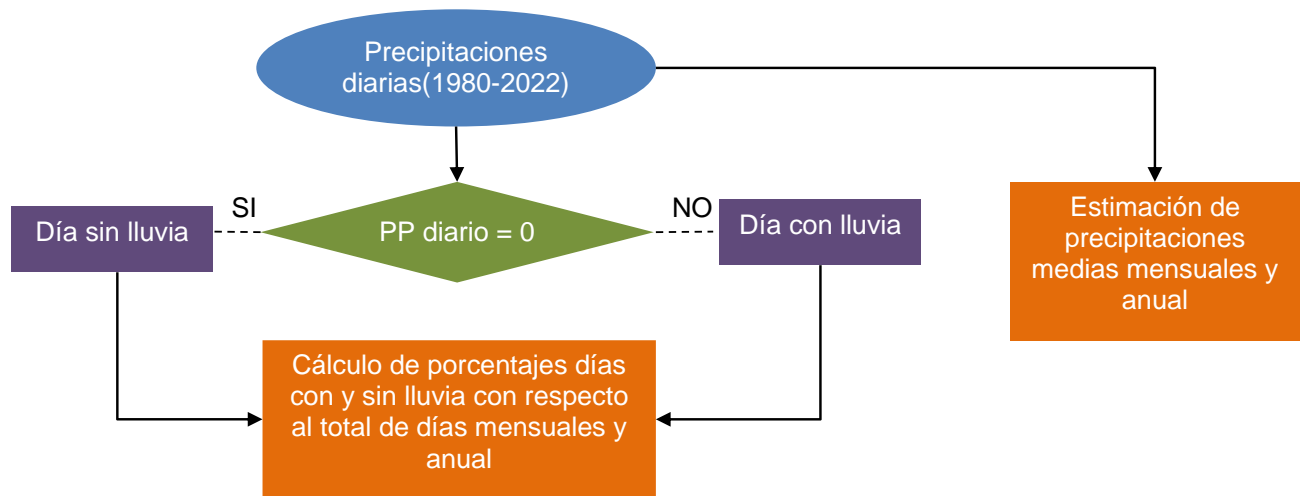


Figura 9. Esquema para el cálculo de porcentajes de días con y sin lluvia, y estimación de precipitaciones mensuales y anuales.

4.3.2. Obtención de caudales:

Teniendo la información climática, y los parámetros de cada tramo de colector, fue necesario estimar los caudales circulantes por el sistema de drenaje de aguas lluvias. Para ello se utilizó la información de caudales de diseño del Plan Maestro y estimados por el Método Racional.

Para encontrar los valores de caudales de diseño, se utilizó la información de los colectores entregada por los distintos planos del Plan Maestro, que entregaron valores

de caudal de diseño para un periodo de retorno $T = 2$ años para cada tramo de colector.

Para los colectores que no presentaban dicha información en los planos, se identificaron los códigos asociados a su infraestructura. Estos códigos fueron buscados posteriormente en una planilla de base de datos entregada por el Plan Maestro, que presentaba los caudales de diseño asociados a cada tramo de colector y su respectivo código.

La información caudal de diseño fue expresada en unidades de (m^3/s) . Los caudales de diseño seleccionados para cada tramo de colector correspondieron a los valores aguas arriba.

Para estimar los caudales de cada colector según el Método Racional, fue necesario, en primer lugar, encontrar las zonas de drenaje asociadas a cada colector de aguas lluvias y calcular su superficie. Posterior a esto, se buscó los coeficientes de escorrentía asociados a cada una de estas áreas de drenaje. Con esta información, entregada por el Plan Maestro de Aguas Lluvias, junto con la información de precipitación calculada anteriormente, se pudo estimar el caudal para cada tramo de colector con la siguiente Ecuación (1):

$$Q = C * I * A$$

(ec. 1)

Donde:

Q = caudal en $[\text{m}^3/\text{s}]$

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de precipitación en [mm/hora]

A = superficie de drenaje en [km²]

4.3.3. Estimación de la potencia bruta

Se realizó según los métodos del Manual de Diseño de Proyectos Microhidroeléctricos en Obras de Riego (CNR, 2020) y de la Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica (ESHA, 2006). Se utilizó la ecuación (2):

$$P = Q * H * \gamma$$

(ec. 2)

Donde:

- P: potencia estimada en [kW]
- γ : peso específico del agua (9800 [N/m³])
- Q: caudal en [m³/s]
- H: diferencia de cotas por tramo en [m]

Los datos de caudal utilizados correspondieron a los valores de caudal de diseño y de Método Racional anteriormente calculados. Las diferencias de cotas por tramo correspondieron a los valores calculados en el análisis espacial, obtenidos a partir del *DEM*.

5. Resultados y Discusión:

5.1. Objetivo específico 1: Identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt donde es posible implementar un proyecto de generación eléctrica con microturbinas en la red de drenaje de aguas lluvias.

5.1.1. Análisis del marco normativo para factibilidad legal:

A continuación se presenta la revisión del actual marco normativo chileno asociado al desarrollo de este tipo de proyectos que establece las respectivas obligaciones legales que deben ser cumplidas para asegurar su funcionamiento:

- El **Código de Aguas (D.F.L. n° 1.122)** expresa que, según el art. 10, “el uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro de su predio o no caigan a cauces naturales de uso público. En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudique derechos de terceros.”

Así, el uso de las aguas lluvias pertenece al dueño del inmueble donde precipitan o se acumulan, a menos que estas se mezclen con aguas de cauces naturales. No se conceden derechos de aprovechamiento de aguas sobre ellas y la Dirección General de Aguas no tiene competencia para condicionar su uso, a menos que estas aguas se mezclaran con aguas de ríos, esteros, vertientes, lagunas, lagos u otras fuentes hídricas naturales.

También, según el art. 47 del mismo cuerpo legal, se consigna que: “Constituyen un sistema de drenaje todos los cauces naturales o artificiales que sean colectores de aguas que se extraigan con el objeto de recuperar terrenos que se inundan periódicamente, desecar terrenos pantanosos o vegosos y deprimir niveles freáticos

cercanos a la superficie.”; el art. 54, que: “El uso por terceros de derrames o drenajes no constituye gravamen o servidumbre que afecte al predio que los produce. Son actos de mera tolerancia que no confieren posesión ni dan fundamento a prescripción.”; y el art. 55, que: “Los derechos, gravámenes o servidumbres sobre derrames y drenajes sólo pueden constituirse a favor de terceros, por medio de un título. Ni aun el goce inmemorial bastará para constituirlos. Para que produzca efectos respecto de terceros, el título deberá constar en instrumento público e inscribirse en el Registro de Hipotecas y Gravámenes de Aguas del Conservador de Bienes Raíces.”

Tomando en cuenta lo anterior, las aguas lluvias podrán usarse desde un drenaje siempre y cuando este no se constituya con algún cauce natural y de acuerdo con los artículos antes señalados. Considerando también que, con relación a un sistema de drenaje, son beneficiarios todos aquellos que lo utilizan para desaguar sus predios y de este modo aprovechar las aguas provenientes de los mismos.

- Según el **DS 50/2015**, el art. 294 del **Código de Aguas** expresa también que “requerirán la aprobación del Director General de Aguas, (...), la construcción y/o modificación de las siguientes Obras:

- a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5m. de altura;
- b) Los acueductos que conduzcan más de 2 m³/s;
- c) Los acueductos que conduzcan más de 0.5 m³/s, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite
- d) Los sifones y canoas que cumplan con las características señaladas en las letras b) o c) precedentes que crucen cauces naturales.”

Tomando en cuenta lo anterior, dependiendo de la infraestructura que se necesite construir o modificar para un proyecto de aprovechamiento de aguas lluvias, podría requerir una aprobación.

- El **DS 88/2019 MINENERGIA**, reglamento para medios de generación de pequeña escala, establece un mecanismo de estabilización del precio de energía para propietarios de proyectos de generación cuyos excedentes de potencia no superen **los 9 MW**, y entrega también los procedimientos para la conexión a distribución. Si el proyecto no supera la potencia suministrable de 9 MW, deberá someterse al marco de este decreto y pasar por el proceso de conexión regulado con la respectiva empresa distribuidora.

- La **Ley 19525** no establece factibilidades relacionadas a proyectos de generación eléctrica con aguas lluvias, pero, asociado a esta Ley, se establece que las modificaciones que se produzcan en el Plan Maestro de Aguas Lluvias deben ser aprobadas por resolución exenta emanada de la Dirección de Obras Hidráulicas. Así, si el diseño del proyecto llegara a incluir una modificación necesaria al Plan Maestro de Aguas Lluvias, esta deberá ser aprobada de acuerdo con lo anterior.

- La **Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente (19300)** y el **DS 40/2013** establece que los proyectos de centrales de generación hidroeléctrica que deben presentarse al SEIA son aquellos con una potencia instalada mayor a 3 MW o acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, anteriormente mencionado.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir de la revisión del marco normativa que es posible la implementación de proyectos hidroeléctricos en el sistema de drenaje. Al ser proyectos de modificación del Plan Maestro de Aguas Lluvias, se debe solicitar la aprobación de la Dirección de Obras Hidráulicas para construir la central hidroeléctrica

que desviaría las aguas de las redes existentes o proyectadas. Por las características de esta central y su ubicación dentro del radio urbano de la ciudad de Puerto Montt, podría también requerir una aprobación de parte de la Dirección General de Aguas según el artículo 294 del Código de Aguas, lo que derivaría, además, en la necesidad de presentarse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Al aprovechar aguas lluvias y de drenaje, el código de aguas no indica que se requiera solicitar derechos de aguas de uso no consuntivo.

Este análisis preliminar muestra que no existen prohibiciones para desarrollar una central hidroeléctrica que aproveche las aguas lluvias de una red de drenaje urbana, no obstante, es importante mencionar que se requiere un análisis legal más profundo a medida que se desarrolle el proyecto, pues podrían encontrarse tramitaciones adicionales a las anteriormente mencionadas a medida que la descripción de la central sea definida.

5.1.2. Análisis espacial de la zona de estudio:

Previo a la obtención de resultados y a pesar de que este estudio no posee una sección de resultados asociada al diseño y dimensionamiento de los proyectos, se asume que la central hidroeléctrica a instalar corresponderá a una modificación a la red de drenaje de aguas lluvias, con infraestructura paralela a los tramos de colectores y unida desde un punto de captación. Se asume también que, en caso de no funcionamiento de la central, las modificaciones a la red de drenaje no obstruyen ni dificultan su operación corriente.

A pesar de que la implementación de estanques de retención en proyectos hidroeléctricos de este tipo puede ser beneficioso para el control de caudales y de sedimentos, se asume que no existirán estas estructuras para el análisis.

5.1.2.1. Tramos seleccionados:

El Plan Maestro de Aguas Lluvias para la ciudad de Puerto Montt presenta un total de 183 colectores que se dividen en 1348 tramos. Al aplicar el primer filtro (diferencia de cotas mayor a 2 metros) reduciéndose a 153 colectores que se dividen en 763 tramos; al aplicar el segundo filtro (pendiente porcentual de más de 5), y el tercer filtro (25% valores más altos en diferencias de cotas), se acotó, finalmente, 37 colectores que se dividen en 40 tramos.

Los tramos de colectores seleccionados para una posible implementación de proyecto se muestran en las Figuras 10 a la 16.

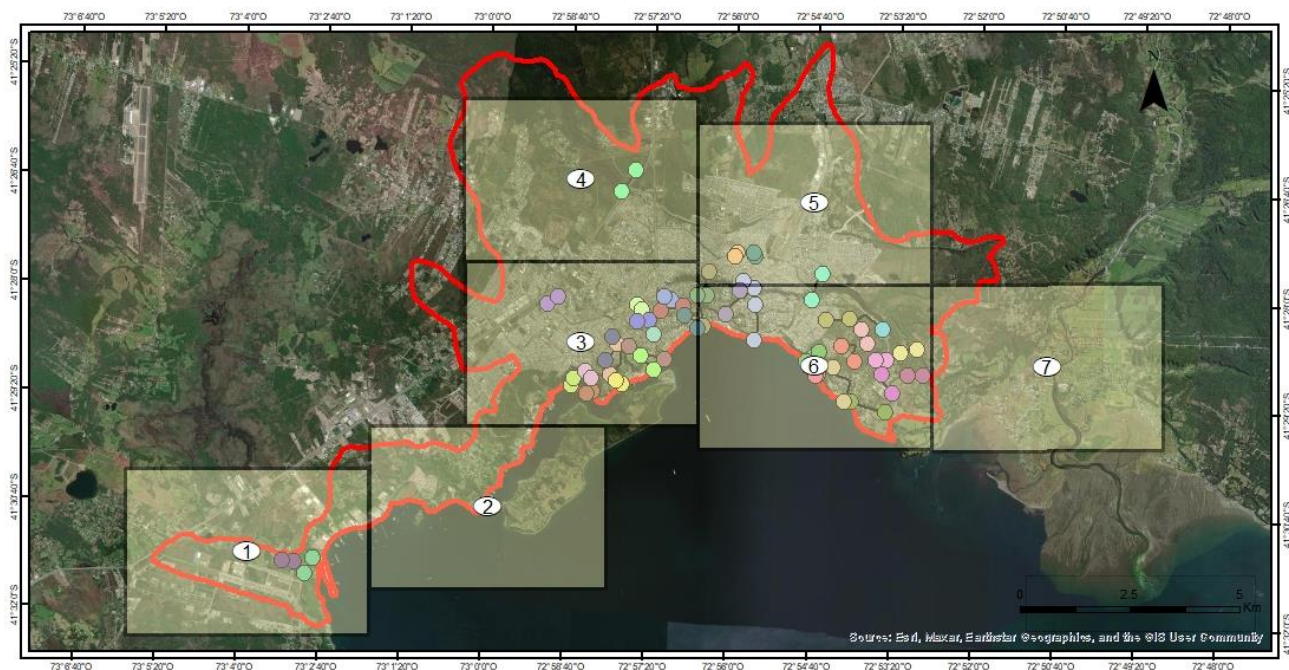


Figura 10. Colectores con mayor potencial para generación hidroeléctrica según número de zona.

Los tramos seleccionados de colectores se sitúan, predominantemente, en la zona centro-sur de la ciudad de Puerto Montt, concentrándose específicamente en el centro urbano y residencial, y en la periferia este. Estos colectores atraviesan diversas secciones de la ciudad y evacúan sus aguas al mar, canales, quebradas o cámaras existentes.

Las diferencias de cotas de estos sitios seleccionados varían desde los 15 hasta 108 metros. Más de la mitad de estos tramos presenta una elevación de hasta 40 metros. La Figura 11 muestra la cantidad de colectores agrupados por rangos de diferencias de altura. Se observa que la mayor cantidad (15 colectores) posee una diferencia de cota entre 20 a 40 metros, y un grupo no menor de 9 colectores con una diferencia de

elevación mayor a 60 m.

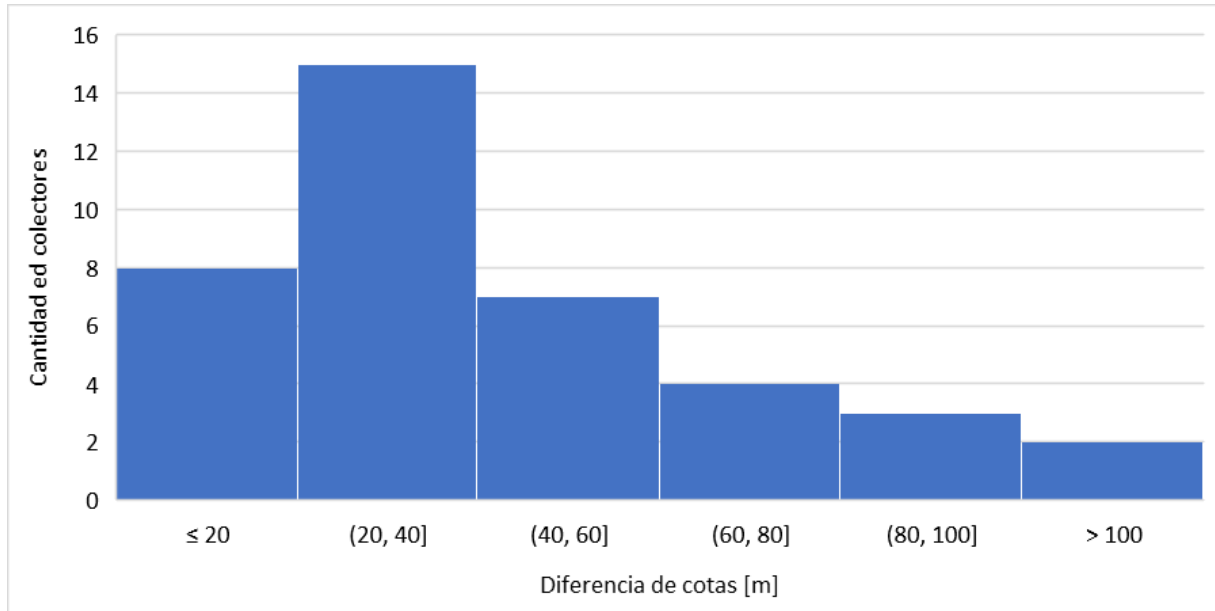


Figura 11. Cantidad de colectores con respecto a sus diferencias de cotas.

La Figura 12 muestra la zona 1 de análisis, la cual abarca dos tramos de un colector ubicado en la zona suroeste del área de estudio. Este colector recorre terrenos no urbanizados, para terminar evacuando sus aguas en una quebrada. Como se observa en la Figura 12, las limitadas zonas residenciales en esta área podrían presentar una ventaja significativa, ya que reduce la probabilidad de enfrentarse a conflictos sociales derivados de la construcción y puesta en marcha del proyecto. La Tabla 2 presenta el tipo de proyecto correspondiente a los tramos, su diferencia de cotas, diámetro, caudal de diseño y periodo de retorno para estos caudales. Por otro lado, la zona 2 no presentó tramos seleccionados.

Zona 1



Figura 12. *Tramos seleccionados en zona 1.*

Tabla 2. *Información de colectores seleccionados para zona 1.*

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
----------	------------------	-------------------------	---------------	------------------------	---------------------------

7F 1	Red Secundaria Proyectada	53	300	140	2
7F 3	Red Primaria Proyectada	64	600	284	2

La Figura 13 muestra la zona 3, la cual abarca quince tramos de colectores ubicados en la zona centro y norte del área de estudio. Los tramos de infraestructura existente evacúan sus aguas al mar y a quebradas (U y S), mientras que los tramos de infraestructura proyectada evacúan sus aguas a canales y quebradas (6B3 y 6A2), y en cámaras existentes. Se observa una mayor densidad de urbanización en esta zona, destacando un número superior de zonas residenciales y estructuras urbanas. Esto plantea la posibilidad de desafíos adicionales en la ejecución del proyecto. No obstante, se identifican proyectos situados en quebradas adyacentes a áreas residenciales y con diferencias de cota por sobre los 75 metros, los colectores U y S, que podrían presentar opciones más prometedoras para su selección.

Esta zona presenta, en su mayoría, alturas entre los 20 y 50 metros aproximadamente, con tres excepciones (colectores U, S y R) que presentan alturas desde los 76 hasta casi los 90 metros de altura de caída.

En la Tabla 3 se observa el tipo de proyecto correspondiente a cada tramo, su diferencia de cotas, diámetro, caudal de diseño y periodo de retorno para estos caudales.

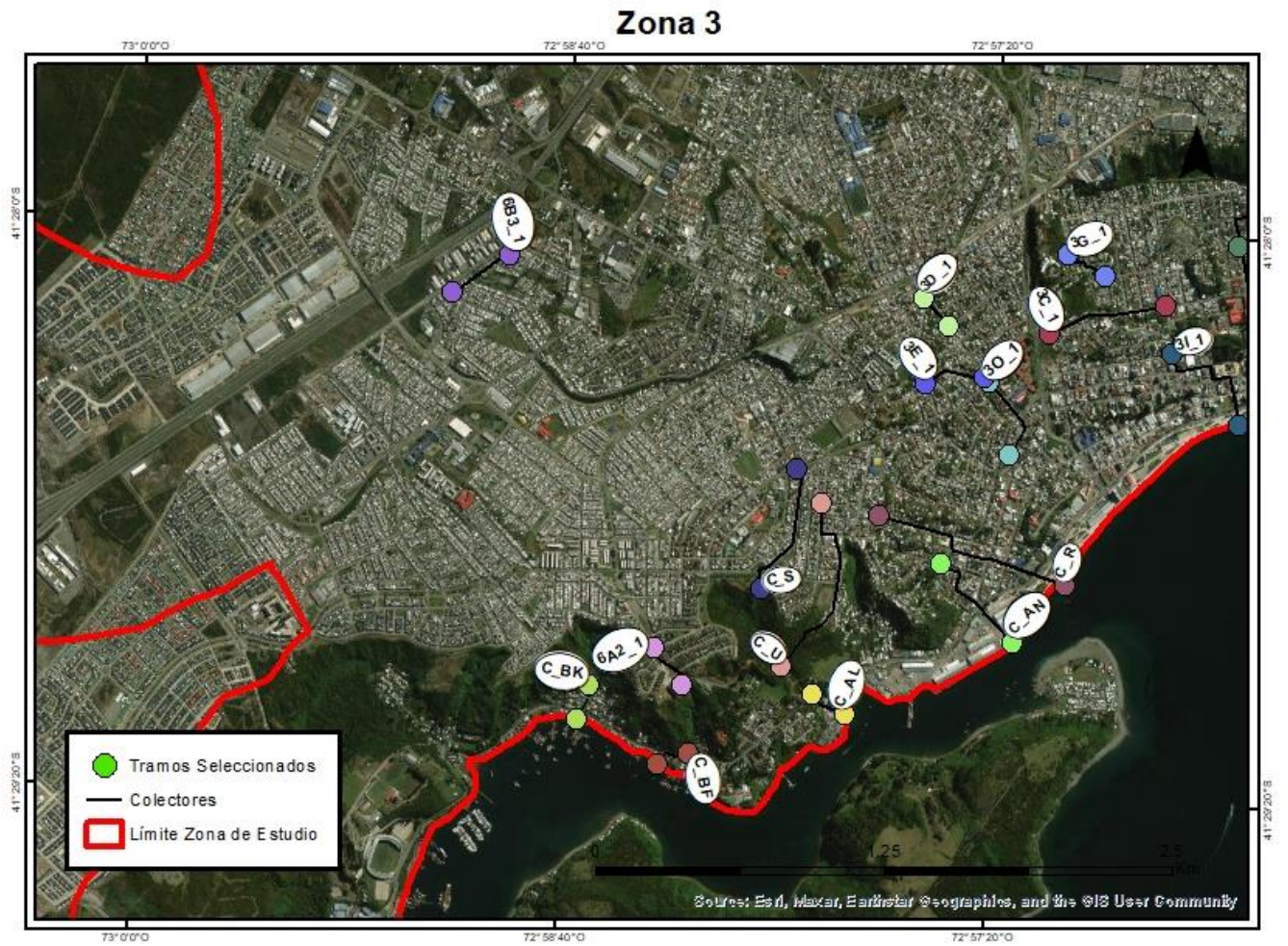


Figura 13. Tramos seleccionados en zona 3.

Tabla 3. Información de colectores seleccionados para zona 3.

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
6B 3	Red Secundaria Proyectada	53	900	145	2
6A 2	Red Secundaria Proyectada	20	350	188	2
3O	Red Primaria Proyectada	24	1000 x 1500 (Rectangular)	1370	2
3E	Red Secundaria Proyectada	29	600	281	2
3D	Red Primaria Proyectada	28	800	757	2
3C	Red Secundaria Proyectada	39	600	80	2
3G	Red Primaria Proyectada	46	400 x 600 (Canal)	31	2
BK	Red Primaria Existente	18	500	830	2
BF	Red Primaria Existente	20	500	220	2
AL	Red Primaria Existente	17	1500	1740	2
AN	Red Primaria Existente	26	800 x 800 (Cuadrada)	300	2
R	Red Secundaria Existente	88	1200 x 1200 (Cuadrada)	11	2
U	Red Secundaria Existente	76	600	56	2
S	Red Secundaria Existente	84	700	34	2
3I	Red Secundaria Proyectada	29	600	98	2

La Figura 14 muestra la zona 4, la cual abarca un tramo de colector ubicado en la zona norte del área de estudio, específicamente en las afueras de la zona urbana y junto a la autopista. Este colector recorre terrenos no urbanizados, para terminar evacuando sus aguas en una quebrada. A pesar de ser el único tramo en la zona, su ubicación presenta la ventaja de ausencia de zonas residenciales cercanas. La tabla 4 presenta el tipo de proyecto correspondiente al tramo y su diferencia de cotas.

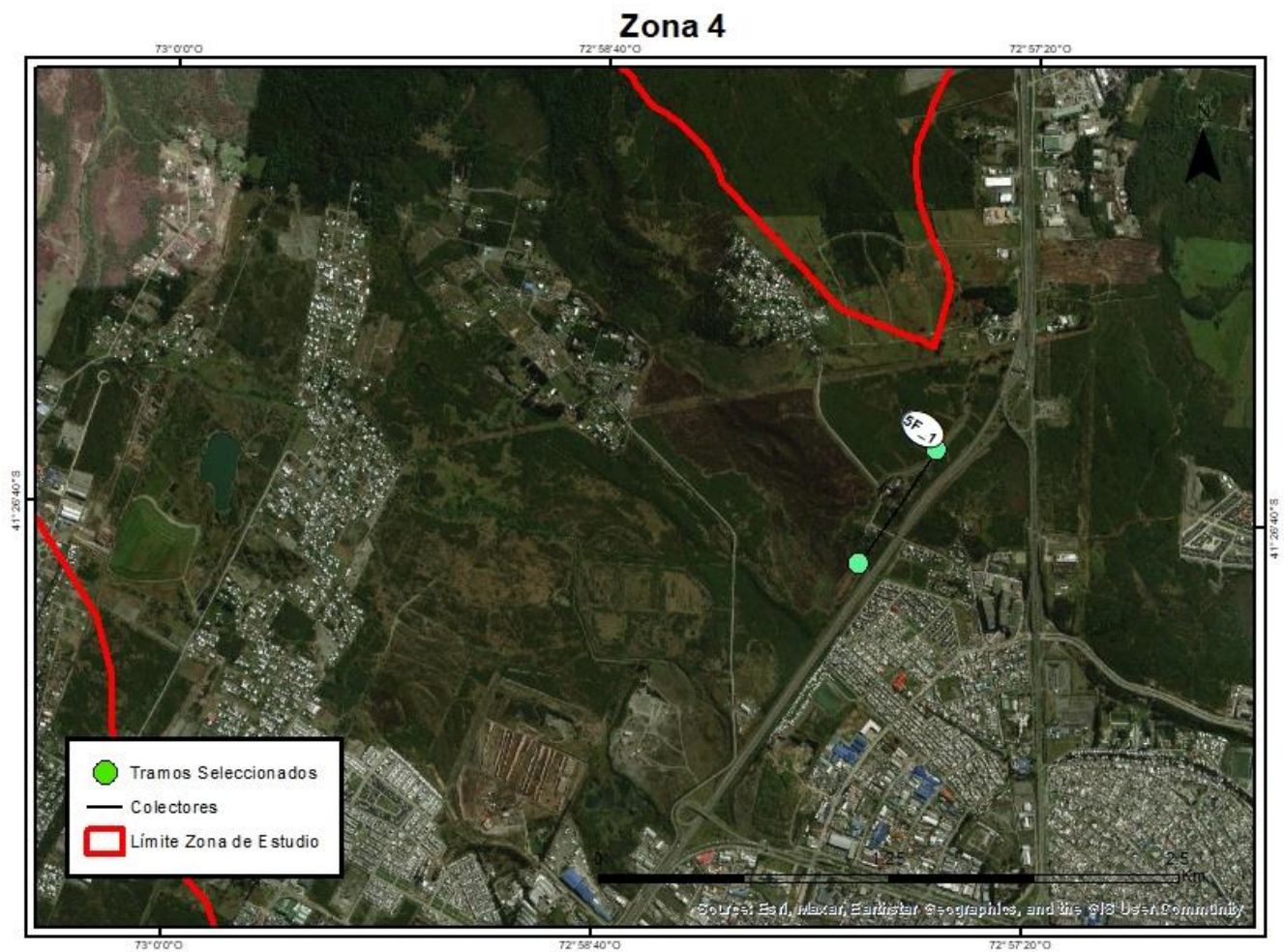


Figura 14. Tramos seleccionados en zona 4.

Tabla 4. Información de colectores seleccionados para zona 4.

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
5F	Red Secundaria Proyectada	30	800	392	2

La Figura 15 muestra la zona 5, la cual abarca dos tramos de colectores ubicados en la zona centro-norte del área de estudio, y recorren distintos puntos de la ciudad de Puerto Montt, para finalmente evacuar sus aguas en cámaras existentes y canales. La urbanización de esta zona, caracterizada por la presencia de áreas residenciales y comerciales, trae desafíos en relación con la ejecución y construcción de estos proyectos. De instalar un proyecto en este sector, se deberá prestar principal atención a, por ejemplo, las redes de distribución de agua potable, infraestructura de suministro eléctrico, sistemas de drenaje de aguas residuales, así como la infraestructura vial y peatonal preexistente.

En la Tabla 5 se observa el tipo de proyecto correspondiente a cada tramo y su diferencia de cotas en metros. Esta zona presentan variados valores de alturas, se observa que sus diferencias de cotas van desde los 15 metros hasta más de 70.

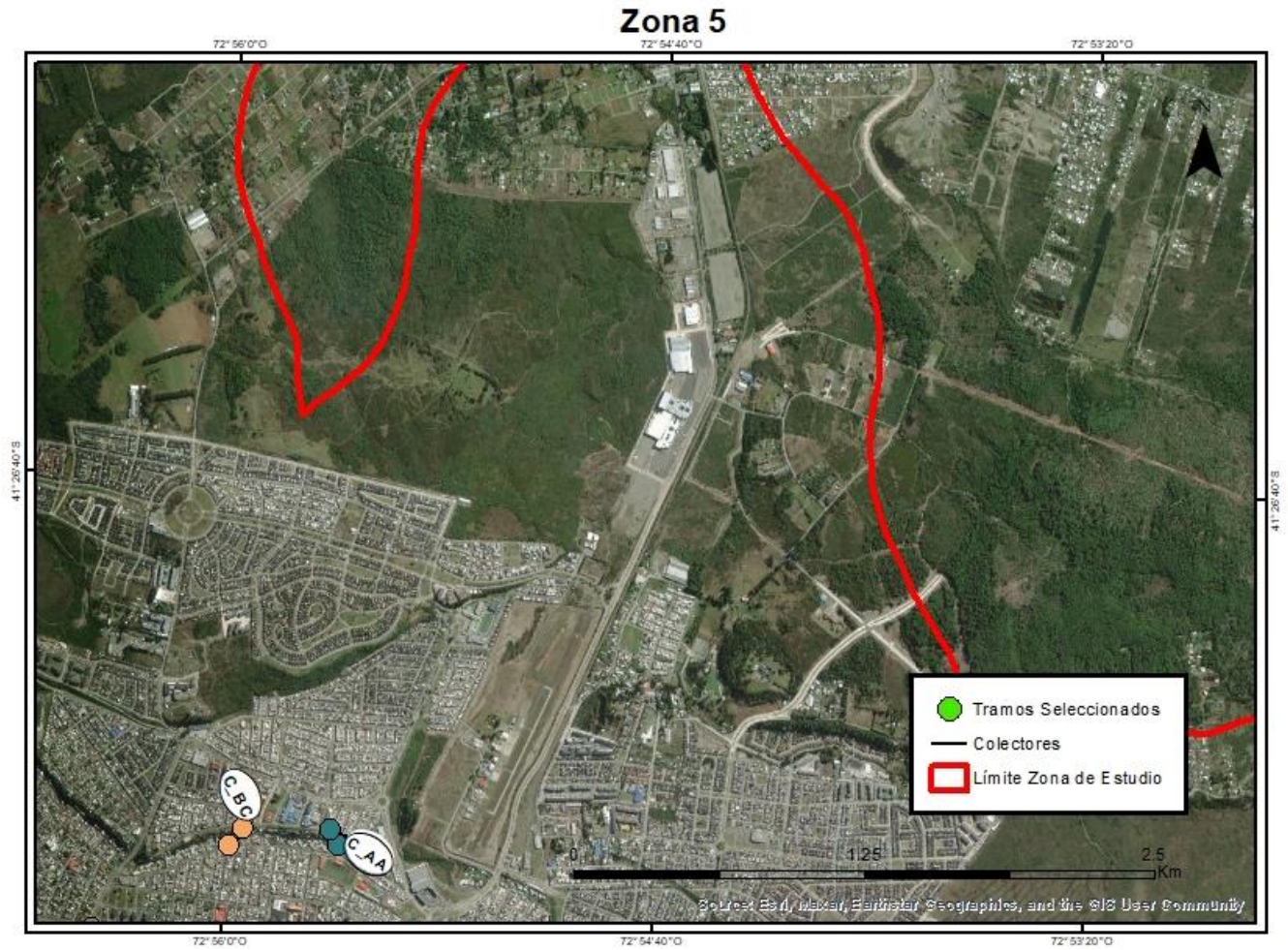


Figura 15. Tramos seleccionados en zona 5.

Tabla 5. Información de colectores seleccionados para zona 5.

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
AA	Red Secundaria Existente	53	250	519	2
BC	Red Secundaria Existente	15	400	160	2

La Figura 16 muestra la zona 6, la cual abarca veinte tramos de colectores anteriormente no mencionados, ubicados en la zona centro y principal sector comercial de la ciudad, y en la periferia este del área de estudio.

Los tramos ubicados en la parte oeste de la zona 6 (colectores AP, 3B, 3A, Z y N) evacúan sus aguas al mar, cámaras existentes y canales. Al igual que en la zona 5, este sector se caracteriza por ser un área comercial de gran importancia, con un alto flujo vehicular y peatonal, lo que podría sugerir que los potenciales obstáculos asociados a la construcción y ejecución de los proyectos en esta zona podrían presentar mayor dificultad en comparación con los tramos de zonas mencionadas anteriormente.

Los tramos ubicados en la parte este de la zona 6 evacúan sus aguas al mar y a distintos canales y quebradas ubicadas al norte del área. Se observa que la urbanización es menos densa en comparación a la parte oeste de esta zona; los principales puntos comerciales se concentran a lo largo de la franja costera al sur, mientras el centro-norte de esta zona presenta sectores residenciales, pastizales y bosques. La implementación de estos proyectos no conllevaría mayores problemas asociados a infraestructura pública o privada, sin embargo, es importante mencionar que se identifican tramos de colectores ubicados en zonas boscosas y de pradera, por lo que se esperaría prestar una especial atención a los posibles impactos en el suelo, la flora y la fauna.

En la Tabla 6 se observa el tipo de proyecto correspondiente a cada tramo y su diferencia de cotas en metros.

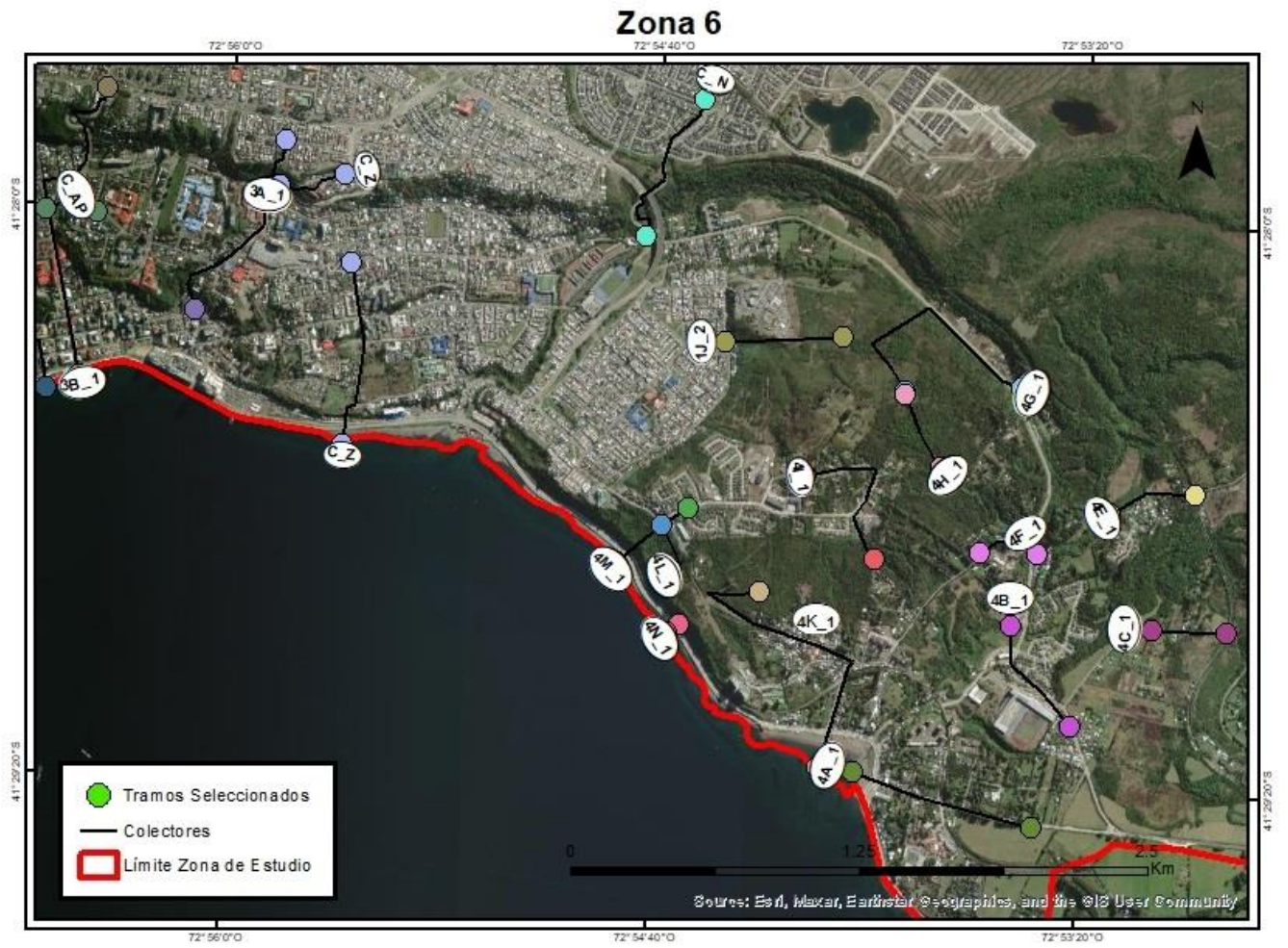


Figura 16. Tramos seleccionados en zona 6.

Tabla 6. Información de colectores seleccionados para zona 6.

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
AP	Red Secundaria Existente	28	800 x 800 (Cuadrada)	90	2
3A	Red Secundaria Proyectada	47	1200	29	2
3B	Red Secundaria Proyectada	92	1200	44	2
Z (inferior)	Red Primaria Existente	47	1000	1410	2
Z (arriba)	Red Primaria Existente	36	500	300	2
Z (arriba)	Red Primaria Existente	40	500	160	2
N	Red Primaria Existente	75	800	23	2
1J	Red Secundaria Proyectada	40	400	164	2
4A	Red Secundaria Proyectada	50	600	208	2
4B	Red Secundaria Proyectada	31	450	107	2
4C	Red Secundaria Proyectada	27	350	254	2
4E	Red Secundaria Proyectada	43	350	233	2
4F	Red Secundaria Proyectada	25	500	187	2
4G	Red Secundaria Proyectada	70	450	73	2
4H	Red Secundaria Proyectada	30	250	103	2
4I	Red Secundaria Proyectada	52	450	239	2
4K	Red Secundaria Proyectada	102	900	111	2

Colector	Tipo de proyecto	Diferencia de cotas (m)	Diámetro (mm)	Caudal de Diseño (l/s)	Periodo de retorno (años)
4L	Red Secundaria Proyectada	37	300	190	2
4M	Red Secundaria Proyectada	108	300	73	2
4N	Red Secundaria Proyectada	18	250	50	2

Tras el análisis realizado se identificó que las zonas 3 y 6 son las más aptas para implementar proyectos de generación hidroeléctrica ya que presentan los tramos con valores de altura de caída más altos, superando los 75 metros en ambas locaciones. Estas zonas, a pesar de presentar un porcentaje de urbanización mayor a otras, abarcan tramos de colectores situados cerca de quebradas, canales y terrenos sin construir, que podrían ser aprovechados sin mayor intervención a las infraestructuras públicas y privadas.

Por otro lado, las zonas 1, 4 y 5 no presentan mayores ventajas ni se presentan como opciones atractivas para la implementación de una central hidroeléctrica, pues, a pesar de ser zonas con bajo porcentaje de urbanización y zonas residenciales, abarcan pocos tramos y sus diferencias de altura no alcanzan a superar los 70 metros.

5.2. Objetivo específico 2: Estimar la potencia en los distintos sitios identificados para la posible instalación de microturbinas

5.2.1. Resultados de análisis de precipitaciones diarias

En la Tabla 7 se presentan las precipitaciones medias mensuales para la zona de estudio.

Tabla 7. Precipitaciones medias mensuales en Estación Puerto Montt para el

Mes	Precipitación media mensual (mm/mes)
Enero	80.5
Febrero	77.0
Marzo	104.4
Abril	139.5
Mayo	199.5
Junio	222.3
Julio	202.5
Agosto	185.3
Septiembre	125.9
Octubre	121.5
Noviembre	101.3
Diciembre	91.5

periodo 1980-2022.

La presencia de precipitaciones se extiende a lo largo de todo el año, inclusive en los meses más secos (diciembre a febrero) se observa la presencia de eventos de lluvia, con un mínimo medio mensual de 77 mm, en el mes de febrero. Las mayores precipitaciones se concentran desde los meses de abril a septiembre, siendo junio el mes con mayor precipitación media mensual, con 222 mm.

En la Figura 17 se presentan los porcentajes de días con y sin lluvia para la Estación Puerto Montt para cada mes.

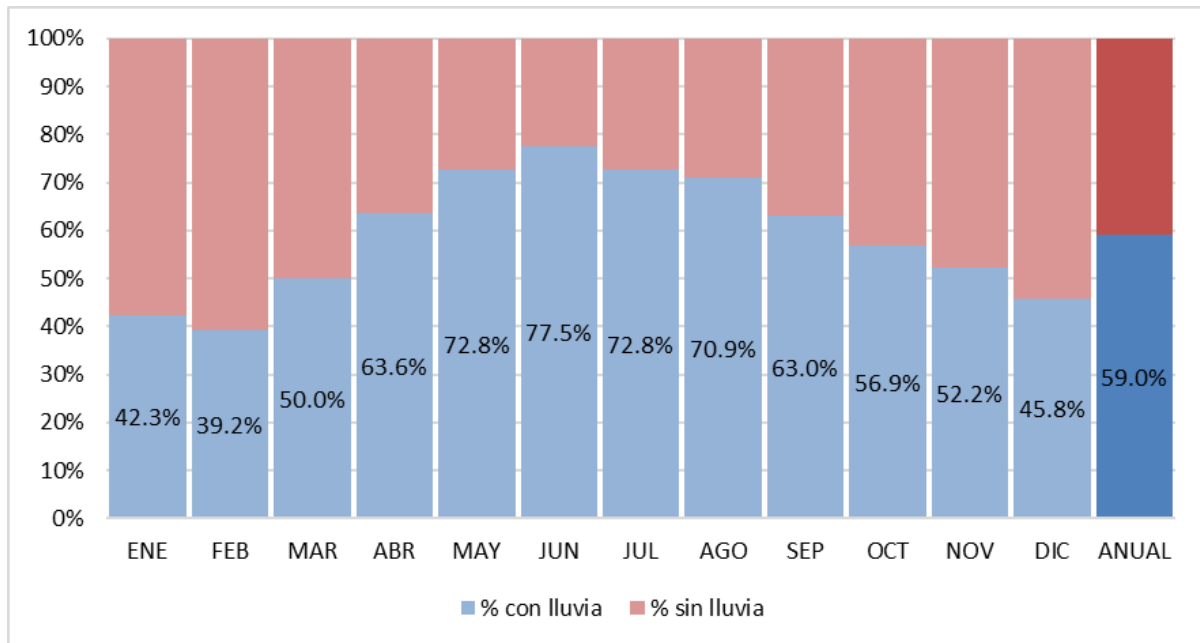


Figura 17. Porcentaje mensual y anual de días con y sin lluvia en Estación Puerto Montt para el periodo 1980-2022.

Un proyecto hidroeléctrico que utiliza aguas lluvias se verá directamente influenciado por la cantidad de estos eventos de tormenta. Con un porcentaje anual de lluvia de 59%, se estaría recibiendo el recurso hídrico necesario para su funcionamiento más de la mitad del año, pudiendo así aprovechar la disponibilidad de estas aguas lluvias para la generación de energía. Por otra parte, la variabilidad de los eventos de lluvia, como su duración e intensidad, son variables que considerar a futuro, esto por las posibles fluctuaciones que podrían generar en la disponibilidad real del recurso y su aprovechamiento para generar electricidad de forma constante: se esperaría que

durante la estación lluviosa presente periodos de producción mayores en comparación con los periodos más secos, que presentarían producciones menores.

La información de precipitación media anual aplicada a los tramos de colectores seleccionados resultó en la distribución de caudales presentada en la siguiente Figura 18.

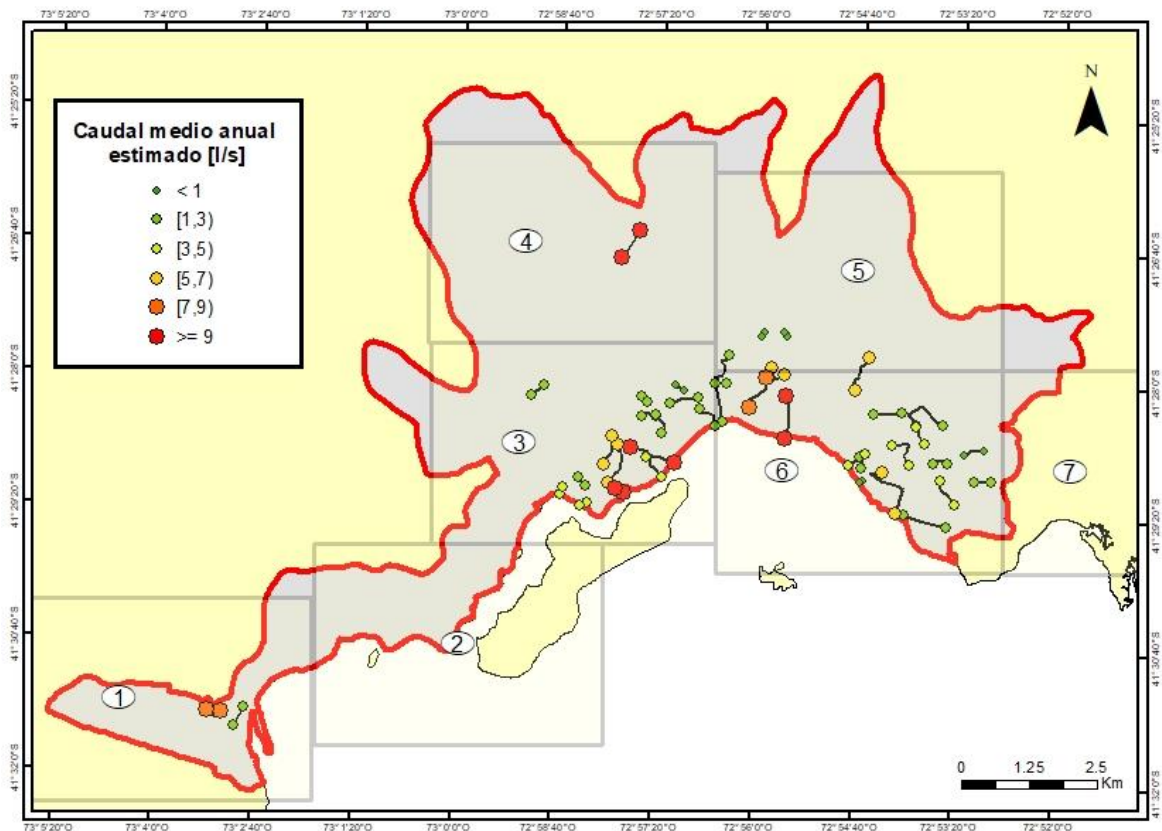


Figura 18. Caudales medios anuales obtenidos para cada tramo de colector en el área de estudio.

Los caudales dependen tanto del área de drenaje como de su coeficiente de escorrentía asociado. Se observa en la figura que los caudales más altos se encuentran

en el centro de la ciudad donde, por efecto del cambio de uso de suelo natural a uno urbano, se concentran también los coeficientes de escorrentía con valores superiores. Por el contrario, los colectores de la zona este del área de estudio, constituida por un mayor porcentaje de bosques y praderas, presentan valores de caudal más pequeños.

La Figura 1 y Tabla 1 de Anexos entregan las áreas aportantes y coeficientes de escorrentía asociados a cada colector.

Las Tablas 8 a 12 entregan los valores de caudales medios estimados mensuales, para junio y enero, y anuales, según zonas.

Tabla 8. Información de caudales para colectores seleccionados para zona 1.

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
7F 1	1.4	2.0	0.8
7F 3	7.2	10.7	4.3

Tabla 9. Información de caudales para colectores seleccionados para zona 3.

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
6B 3	1.5	2.6	0.9
6A 2	2.8	4.1	1.6
3O	1.9	2.7	1.1
3E	1.2	1.8	0.7
3D	1.7	2.4	1.0

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
3C	1.5	2.3	0.9
3G	0.5	0.7	0.3
BK	5.0	7.4	3.0
BF	5.0	7.4	2.9
AL	15.5	22.8	9.1
AN	3.8	5.6	2.2
R	19.0	28.0	11.2
U	5.3	7.8	3.1
S	7.0	10.3	4.1
3I	1.1	1.6	0.7

Tabla 10. Información de caudales para colectores seleccionados para zona 4.

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
5F	9.7	14.3	5.7

Tabla 11. Información de caudales para colectores seleccionados para zona 5.

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
AA	0.9	1.3	0.5
BC	0.5	0.8	0.3

Tabla 12. Información de caudales para colectores seleccionados para zona 6.

Colector	Caudal medio estimado anual (l/s)	Caudal medio estimado junio (l/s)	Caudal medio estimado enero (l/s)
AP	1.2	1.7	0.7
3A	8.3	12.2	4.9
3B	2.1	3.1	1.2
Z (inferior)	11.1	16.4	6.5
Z (arriba)	5.2	7.7	3.1
Z (arriba)	5.2	7.7	3.1
N	6.7	9.8	3.9
1J	2.1	3.1	1.2
4A	1.6	2.4	0.9
4B	3.3	4.9	2.0
4C	2.5	3.7	1.5
4E	0.9	1.3	0.5
4F	2.7	4.0	1.6
4G	2.4	3.6	1.4
4H	3.3	4.8	1.9
4I	4.4	6.5	2.6
4K	6.0	8.8	3.5
4L	1.3	1.9	0.7
4M	3.3	4.8	1.9
4N	0.9	1.4	0.6

La estimación de potencia media, además de depender del caudal, depende también de la altura de caída. La Figura 19, a continuación, presenta la distribución de las potencias medias estimadas para cada tramo de colector

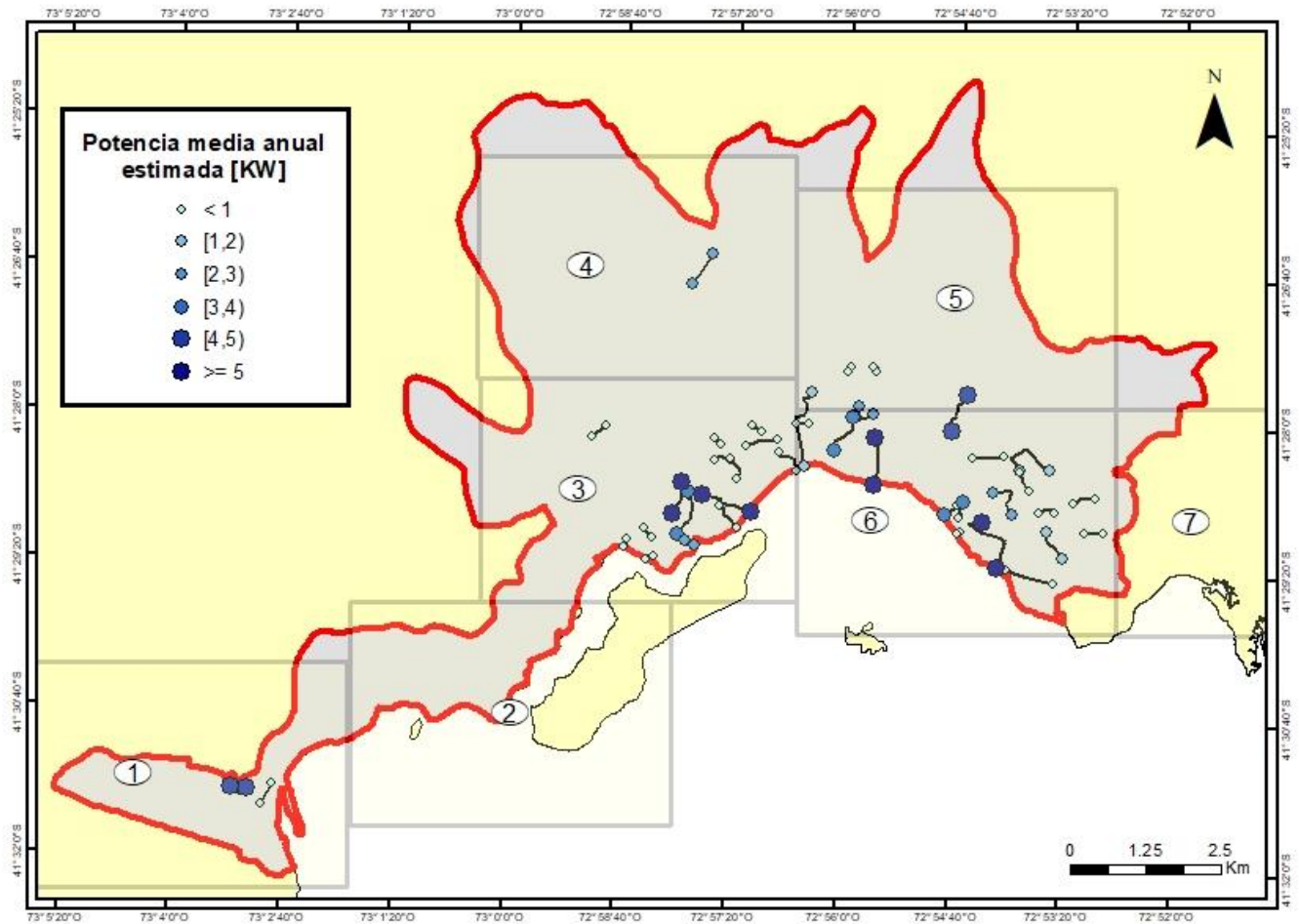


Figura 19. Potencias medias estimadas obtenidas para cada tramo de colector en el área de estudio, para valores de precipitación anual.

Se observa que la distribución de potencias estimadas no sigue el mismo orden que la información de caudales: mientras algunos tramos de colectores mantienen los caudales y potencias estimadas más altas, otros no lo hacen. La combinación de los parámetros de caudal y altura de la caída son cruciales para la determinación de la potencia y afectan directamente el valor de esta. Las mayores potencias anuales corresponden, en su mayoría, a colectores que forman parte de proyectos existentes,

con potencias medias estimadas anuales de hasta 16 kW. De forma contraria, se observan 23 tramos de colectores cuyas potencias medias estimadas no superan el 1kW para una estimación con precipitaciones anuales.

Las Tablas 13 a 17 entregan los valores de potencias medias estimadas anuales según zonas.

Tabla 13. Información de potencia para colectores seleccionados para zona 1.

Colector	Potencia media estimada anual (KW)
7F 1	0.71
7F 3	4.53

Tabla 14. Información de potencia para colectores seleccionados para zona 3.

Colector	Potencia media estimada anual (KW)
6B 3	0.26
6A 2	0.55
3O	0.43
3E	0.35
3D	0.45
3C	0.58
3G	0.23
BK	0.89
BF	0.98
AL	2.58
AN	0.97
R	16.35
U	3.92
S	5.74

Tabla 15. Información de potencia para colectores seleccionados para zona 4.

Colector	Potencia media estimada anual (KW)
5F	2.85

Tabla 16. Información de potencia para colectores seleccionados para zona 5.

Colector	Potencia media estimada anual (KW)
AA	0.13
BC	0.08

Tabla 17. Información de potencia para colectores seleccionados para zona 6.

Colector	Potencia media estimada anual (KW)
AP	0.33
3A	3.80
3B	1.90
Z (inferior)	5.23
Z (arriba)	2.04
Z (arriba)	1.83
N	4.88
1J	0.82
4A	0.78
4B	1.01
4C	0.66
4E	0.36

4F	0.66
4G	1.65
4H	0.96
Colector	Potencia media estimada anual (KW)
4I	2.24
4K	5.99
4L	0.46
4M	3.43
4N	0.17

De los tramos de colectores con mayores potencias medias anuales estimadas, finalmente se seleccionaron cuatro. Los tramos de colectores que presentan mayores potencias estimadas se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Colectores seleccionados y sus potencias medias estimadas, según caso de precipitaciones anuales y mensuales para junio y enero.

Colector	Potencia media estimada anual [KW]	Potencia media estimada junio [KW]	Potencia media estimada enero [KW]
R	16.35	27.43	9.61
4K	5.99	10.06	3.52
S	5.74	9.63	3.37
U	3.92	6.57	2.30

Tras el análisis se realizado, se identificaron cuatro colectores de interés para la posible instalación de una central hidroeléctrica en el área de estudio. En particular, estos

colectores fueron escogidos por distintas razones:

- El colector R presenta las potencias medias estimadas más altas de todos los tramos estudiados, con 16.35 KW de potencia media anual y oscilando entre 9.61 KW y 27.43 en los meses de enero y junio respectivamente. Estos valores de potencia superan por más de 10 KW al resto de los colectores estudiados, por lo que este tramo presenta una interesante y posible ventaja energética. Ahora bien, a pesar de lo anterior, este colector está ubicado en el centro de la ciudad de Puerto Montt y atraviesa numerosas calles hasta evacuar sus aguas al mar, por lo que se debe prestar especial atención a las posibles desventajas que pudiesen estar asociadas a su construcción y desarrollo.
- El colector 4K presenta las segundas potencias medias estimadas más altas, con 5.99 KW de potencia media anual, 10.06 KW en junio y 3.52 KW en enero. A diferencia del tramo anterior, éste se encuentra ubicado en la zona este de la ciudad, con un porcentaje de urbanización menor y, por tanto, menores posibles complicaciones asociadas a infraestructura pública y privada al momento de construir y operar la central. Este tramo presenta una de las mayores diferencias de alturas registradas en el análisis espacial, con 102 metros.
- Los colectores S y U presentan las terceras y séptimas potencias medias estimadas más altas, respectivamente, con 5.74 KW de potencia media anual, 9.63 KW en junio y 3.37 KW en enero para el primer colector, y 3.92 KW de potencia media anual, 6.57 KW en junio, y 2.30 KW en enero para el segundo. Además de su atractivo energético, estos tramos fueron seleccionados particularmente por su ubicación, estos se encuentran en la misma zona y descargan sus aguas a una quebrada que presenta

una caída de más de 50 metros.

6. Conclusiones y recomendaciones:

- Se logró identificar zonas de la ciudad de Puerto Montt para la posible implementación de los proyectos hidroeléctricos. Estas fueron las zonas 3 y 6, que abarcan la parte centro-este del área de estudio. En total, se seleccionaron 40 tramos de colectores para realizar estimación de potencia.
- Se logró estimar la potencia para los tramos anteriormente mencionados. Estos presentaron estimaciones de potencias medias anuales de hasta más de 16 MW, y los tramos más atractivos fueron los colectores R, 4K, U y S, no sólo por su potencial energético sino también por su emplazamiento y posibles beneficios. Estos colectores presentaron, respectivamente, una potencias estimadas anuales, de junio y de enero de: 16.35, 27.43 y 9.61 KW para el colector R; 5.99, 10.06 y 3.52 KW para el colector 4K; 5.74, 9.63 y 3.37 KW para el colector S; y 3.92, 6.57 y 2.30 KW para el colector U.

Las potencias estimadas son comparables con los estudios referenciados anteriormente. Se encontraron potencias estimadas similares, manteniéndose por debajo de los máximos comparados. En específico, casos como los de Duan & Gao, Kamal et al. y Ramos et al. presentan valores de potencia más altos por la implementación de piscinas de retención en la infraestructura de sus proyectos.

Se recomienda continuar con el estudio de estos proyectos, llevando a cabo otros análisis más detallados como pueden ser, por ejemplo, la realización de una estimación de energía en los casos seleccionados y/o el diseño de la posible infraestructura de central hidroeléctrica. Esto permitiría refinar los requerimientos normativos, determinar los posibles impactos ambientales y además, evaluar la viabilidad económica del proyecto.

7. Referencias Bibliográficas

1. Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2134–2143. doi:10.1016/j.rser.2010.11.050
2. Bailey, T., & Bass, R. (2009). Hydroelectric feasibility study: an assessment of the feasibility of generating electric power using urban stormwater in Oregon city.
3. Carta, J. A., Calero, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M.-A. (2009). *Centrales de Energías Renovables Generación Eléctrica con energías renovables*. Pearson Educación.
4. CEPAL. (2017). *El cambio climático y el sector de energía en América Latina*.
5. Comisión Nacional de Energía (2023). *Reporte Mensual Sector Energético – Abril 2023*. Disponible en https://www.cne.cl/wpcontent/uploads/2023/04/RMensual_v202304.pdf
6. CNR. (2020). *Manual de diseño de proyectos microhidroeléctricos en obras de riego*.
7. CR2. (2023). *Explorador climático*. <https://explorador.cr2.cl/>
8. Comino, E., Dominici, L., Ambrogio, F., & Rosso, M. (2019). Mini-hydro power plant for the improvement of urban water-energy nexus toward sustainability - A case study. *Journal of Cleaner Production*, 119416. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119416
9. Costa, J., Fenner, R. A., & Kapetas, L. (2018). Assessing the potential for energy recovery from the discharge of storm water run-off. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 1–11. doi:10.1680/jensu.18.00035
10. Díaz, C. A., & Hernández, J. C. (2011). *Smart Grid: Las TICs y la*

modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte.
Sistemas & Telemática, 9(18), 53-81.

11. Duan, H.-F., & Gao, X. (2019). Flooding Control and Hydro-Energy Assessment for Urban Stormwater Drainage Systems under Climate Change: Framework Development and Case Study.
12. ENDESA. (s. f.). Generación distribuida.
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/generacion-distribuida>
13. ESHA. (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica.
14. Gutiérrez, D. (2023). Transición energética y regulación eléctrica: algunas ideas sobre flexibilidad y descentralización. *Actualidad Jurídica*, 47.
15. IPCC. (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Summary for Policymakers and Technical Summary: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
16. IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability
17. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Summary for Policymakers. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. -O., Pörtner D., Roberts J., Skea P. R., Shukla A., Pirani W., Moufouma-Okia C., Péan R., Pidcock S., Connors J. B. R., Matthews Y., Chen X., Zhou M. I., Gomis E., Lonnoy T., Maycock M., Tignor and T. Waterfield (eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*
18. Kamal, N. A., Park, H., & Shin, S. (2014). Assessing the viability of

microhydropower generation from the stormwater flow of the detention outlet in an urban area.

19. Kelly, S. (2019). Megawatts mask impacts: Small hydropower and knowledge politics in the Puelwillimapu, Southern Chile. *Energy Research & Social Science*, 54, 224–235. doi:10.1016/j.erss.2019.04.014
20. Kucukali, S. (2014). Environmental risk assessment of small hydropower (SHP) plants: A case study for Tefen SHP plant on Filyos River. *Energy for Sustainable Development*, 19, 102–110. doi:10.1016/j.esd.2013.12.010
21. Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (2012). Energías renovables y cambio climático. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 37-60.
22. METEOCHILE. (2023). Servicios climáticos de la Dirección Meteorológica de Chile. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>
23. Ministerio de Energía. (2016). Estudio de cuencas. Disponible en https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_de_cuencas_2.pdf
24. Ministerio de Energía. (2024). https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=57. Consultado en marzo 2024.
25. MMA. (2022). 5to Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
26. Nómade Consultores. (2018). Modificación Plan Regulador Comunal de Puerto Montt: Informe Ambiental Complementario.
27. Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515–520. doi:10.1016/j.rser.2013.05.006
28. Punys, P., & Jurevičius, L. (2022). Assessment of Hydropower Potential in Wastewater Systems and Application in a Lowland Country, Lithuania. *Energies*, 15(14), 5173. <https://doi.org/10.3390/en15145173>

29. Ramos, H & Kenov K & Pillet B (2012) Stormwater storage pond configuration for hydropower solutions: adaptation and optimisation. *Journal of Sustainable Development* 5(8): 27–42, <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n8p27>
30. Ramos, E. (2020). La generación distribuida: El camino hacia la producción descentralizada de electricidad y pautas para su reglamentación. *Forseti*, 8(11), 7-35.
<https://doi.org/10.21678/forseti.v8i11.1255>
31. Rovira, A. (2009). La construcción de una metrópoli regional: el caso de Puerto Montt, centro urbano intermedio del sur de Chile.
32. Salam, A. & Shah, S. (2019). Urban Underground Infrastructure Monitoring IoT: The Path Loss Analysis. 10.1109/WF-IoT.2019.8767358.
33. Santana, C. (2019). Alcances y evolución del marco regulatorio para la generación distribuida en Chile. *Revista Peruana de Energía*, 7.
34. San Bruno G, Choulot A and Denis V (2010) Energy Recovery in Existing Infrastructures with Small Hydropower Plants: Multipurpose Schemes – Overview and Examples. Esha, Shapes and Mhylab,
35. SERVIU. (2020). Manual de Obras de Vialidad, Pavimentación y Aguas Lluvias.
36. Vincent Denis, A. C., & Punys, P. (2012). Integration of Small Hydro Turbines into Existing Water Infrastructures. InTech. doi: 10.5772/35251

8. Anexos

Tabla 1:

Colector	Área aportante (m ²)	Diferencia cotas (m)	Q (m ³ /s)	Coefficiente de Escorrentía	Potencia (W)
1J_2	179200.00	40.00	0.0021	0.23	824.22
3A_1	311300.00	47.00	0.0083	0.52	3803.60
3B_1	92000.00	92.00	0.0021	0.45	1904.16
3C_1	68500.00	38.62	0.0015	0.44	581.96
3D_1	63500.00	28.00	0.0017	0.51	453.33
3E_1	51100.00	29.00	0.0012	0.47	348.20
3G_1	26600.00	46.00	0.0005	0.37	226.34
3I_1	39000.00	29.00	0.0011	0.56	316.64
3O_1	56600.00	24.00	0.0019	0.64	434.63
4A_1	104460.00	50.00	0.0016	0.30	783.35
4B_1	176830.00	31.00	0.0033	0.37	1013.99
4C_1	167440.00	27.00	0.0025	0.29	655.44
4E_1	92660.00	43.00	0.0009	0.18	358.55
4F_1	150550.00	25.00	0.0027	0.35	658.57
4G_1	181510.00	70.00	0.0024	0.26	1651.53
4H_1	167610.00	30.00	0.0033	0.38	955.26
4I_1	226500.00	52.00	0.0044	0.38	2237.54
4K_1	335800.00	102.00	0.0060	0.35	5993.27
4L_1	63700.00	37.00	0.0013	0.39	459.54
4M_1	254400.00	108.00	0.0033	0.25	3433.97
4N_1	83550.00	18.00	0.0009	0.22	165.41
5F_1	373000.00	30.00	0.0097	0.51	2853.09
6A2_1	103000.00	20.00	0.0028	0.53	545.83
6B3_1	61380.00	17.00	0.0015	0.49	255.62
7F_1	81700.00	53.00	0.0014	0.33	714.38
7F_3	429000.00	64.00	0.0072	0.33	4529.67
C_AA	33558.00	15.00	0.0009	0.52	130.61
C_AL	612280.00	17.00	0.0155	0.49	2581.05
C_AN	108149.00	26.00	0.0038	0.69	969.97
C_AP	48370.00	28.00	0.0012	0.48	325.01
C_BC	26080.00	15.00	0.0005	0.41	79.79
C_BF	275050.00	20.00	0.0050	0.36	981.80
C_BK	238300.00	18.00	0.0050	0.41	887.79
C_N	247000.00	75.00	0.0067	0.53	4880.72
C_R	651869.30	88.00	0.0190	0.57	16346.81
C_S	267900.00	84.00	0.0070	0.51	5737.69
C_U	202200.00	76.00	0.0053	0.51	3918.14
C_Z	444500.00	48.00	0.0111	0.49	5226.66
C_Z2	192600.00	40.00	0.0052	0.53	2041.30
C_Z3	192600.00	36.00	0.0052	0.53	1830.89

Figura 1:

