

PROYECTO FINAL INTEGRADOR

Diagnóstico, evaluación y propuesta de mejora para sistema de tratamiento *in situ* de efluentes en San Carlos de Bariloche, Departamento de Bariloche, Río Negro, Argentina.



Alumna: Sabina Katharina Buss

Ingeniería Ambiental

Noviembre 2022

Información General

Título: Diagnóstico, evaluación y propuesta de mejora para sistema de tratamiento *in situ* de efluentes en San Carlos de Bariloche, Departamento de Bariloche, Río Negro, Argentina.

Alumna: Sabina Katharina Buss.

Carrera: Ingeniería Ambiental.

Lugar de trabajo: Las Orquídeas 1230, San Carlos de Bariloche.

Directora: Ing. Lucila Lantschner.

Co-directora: Ing. Agustina Cotelo.



Sabina Katharina Buss

Firma y aclaración
Postulante



Maria Lucila Lantschner

Firma y aclaración
Director



Maria Agustina Cotelo

Firma y aclaración
Co- director

Frase/Dedicatoria

“Words are, in my not-so-humble opinion, our most inexhaustible source of magic. Capable of both inflicting injury, and remedying it.”

– Albus Dumbledore

Agradecimientos

A mi directora y co-directora.

A mi familia de sangre y a mi familia de corazón.

A mis amigos.

A las personas que accedieron a ser jurado de este trabajo.

A la universidad, por brindarme el espacio para trabajar y haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera (Sobre todo, gracias a los bedeles).

A mis compañeros de trabajo, porque siempre me alentaron a seguir hasta el final.

A los que nunca dejaron pasar la pregunta sobre “cómo va la tesis”.

Y por último, a los que ya no están, pero acompañan en el corazón.

Resumen

Este documento tiene como objetivo principal presentar diferentes aspectos estudiados sobre el tratamiento de efluentes *in situ*, de origen domiciliario, en la ciudad de San Carlos de Bariloche, ubicada en la provincia de Río Negro, Patagonia argentina. El trabajo final integrador se divide en tres partes fundamentales. La primera consiste en un diagnóstico general y descripción de las condiciones existentes de esta técnica de tratamiento de efluentes en el contexto de la ciudad de Bariloche. En la segunda parte se aborda mediante una evaluación de riesgo ambiental de estos sistemas, definiendo las características de las fuentes, vías y receptores, e identificando algunas zonas y escenarios problemáticos en la ciudad. Finalmente se presentan propuestas de mejora para este tipo de tratamiento en la ciudad, acompañadas por un análisis económico.

Conceptos clave: Efluentes domiciliarios, tratamiento *in situ*, evaluación de riesgo ambiental.

Abstract

The main objective of this paper is to present different aspects studied about domestic wastewater on-site treatment, in the city of San Carlos de Bariloche, located in Río Negro, Patagonia, Argentina. The work is divided into three fundamental parts. The first one is a general diagnosis and description of the existing conditions of this effluent treatment technique in the city of Bariloche. In the second part, it is addressed through an environmental risk assessment of these systems, defining the characteristics of sources, pathways and receptors, and identifying some problem areas and scenarios in the city. Finally, proposals for improvement for this type of treatment in the city are presented, accompanied by an economic analysis.

Key concepts: domestic wastewater, on-site treatment, environmental risk assessment.

Índice

1. Glosario de abreviaturas	8
1. Introducción	9
2.1. Los efluentes domiciliarios	10
2.2. Antecedentes	14
2.3. Manejo de efluentes en San Carlos de Bariloche	17
2.4. Aspectos conceptuales y terminología	20
2.5. Objetivos	24
3. Metodología	25
4. Diagnóstico	27
4.1. Condiciones naturales	27
4.1.1. Meteorología	27
4.1.2. Geología y geomorfología	28
4.1.3. Edafología	29
4.1.4. Topografía	29
4.1.5. Aguas superficiales	30
4.1.6. Aguas subterráneas	32
4.2. Medio social y económico	33
4.3. Riesgos naturales	34
4.4. Condiciones de tratamiento y aspectos técnicos	34
4.5. Marco normativo	42
4.5.1. Normativa nacional	42
4.5.2. Normativa provincial	43
4.5.3. Normativa municipal	44
4.5.4. Análisis de normativa	45

4. 6. Marco institucional y social	50
4.6.1. Análisis de actores clave	50
4.6.2. Entrevistas a referentes institucionales	53
4.6.3. Encuestas a usuarios de sistemas de tratamiento de efluentes	62
5. Evaluación de riesgo de contaminación	69
5.1. Desarrollo de criterios y método de evaluación	69
5.2. Selección de escenarios y cálculos	74
5.2.1. Fuentes	75
5.2.2. Vías	78
5.2.3. Receptores	85
5.2.4. Resumen	86
5.2.5. Tabla de valorización y ecuación de riesgo	87
5.2.6. Observaciones a campo	89
5.3. Resultados de evaluación y análisis	96
6. Plan de acción y propuestas de mejora	106
6.1. Sistema de tratamiento adaptado a condiciones locales	106
6.2. Metodología para dimensionar sistemas de tratamiento	109
6.3. Propuestas de alternativas para escenarios no estándar	111
6.4. Análisis económico	112
6.5. Propuesta de cambios en normativa local y gobernanza	115
7. Conclusiones finales	118
8. Referencias	120
Anexo I: Entrevistas a referentes institucionales	130
Anexo II: Imágenes de salidas a campo	134
Anexo III: Mapas de Evaluación de Riesgo	144

1. Glosario de abreviaturas

APN	Administración de Parques Nacionales
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CoCaPRHi	Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales
CEB	Cooperativa de Electricidad Bariloche
DPA	Departamento Provincial de Aguas
EPA	Environmental Protection Agency
LNH	Lago Nahuel Huapi
MSCB	Municipalidad de San Carlos de Bariloche
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PLM	Parque Lago Moreno
PNNH	Parque Nacional Nahuel Huapi
PFI	Proyecto Final Integrador
RAE	Real Academia Española
SEGEMAR	Servicio Geológico Minero Argentino
SIG	Sistema de Información Geográfica
STEIS	Sistema de tratamiento de efluentes <i>in situ</i>
QGIS	Quantum Geographic Information System
VLG	Villa Lago Gutiérrez

1. Introducción

Las actividades que el hombre realiza son de muy diversa índole y naturaleza, y, en función de las mismas serán generados diferentes tipos de residuos que variarán en composición, estado, peligrosidad, entre otros (Gómez Delgado,1995).

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental, o por sus siglas en inglés, Environmental Protection Agency (EPA), se define como residuo a cualquier material desechado, rechazado, abandonado, indeseado o excedente, independientemente de que esté o no destinado a la venta o al reciclado, reprocesamiento, valorización o purificación mediante una operación distinta de la que produjo dicho material (EPA, 2019).

En función de las características con las que cuentan los distintos tipos de residuos generados, el tratamiento, la gestión y el almacenamiento de los mismos variarán dando lugar a toda una serie de infraestructuras y mecanismos de gestión con el fin de minimizar cualquier impacto ambiental negativo generado durante dichos procesos.

La generación y emisión de residuos, actividad que forma parte de cada una de las etapas del sistema productivo basado en un modelo lineal, podría considerarse la que mayor relevancia y análisis tiene en la actualidad.

Es entonces de gran importancia generar todo un sistema de gestión propicio y adecuado, de acuerdo con lo establecido por la normativa y la autoridad vigentes, con la finalidad de generar el menor deterioro posible, ya sea en el ambiente, como así también en los sistemas económico y social. Para este fin, es necesario el desarrollo y la actualización continuos de las tecnologías y normas relacionadas, requiriendo de una visión integrada de todo el sistema, involucrando la mayor parte de los actores posibles y considerando la mayor cantidad de factores de relevancia.

Los residuos, por su parte, son clasificados de acuerdo a su estado físico, en residuos líquidos, gaseosos y sólidos. En el caso de los residuos líquidos, por ejemplo, estos incluyen cualquier residuo que sea líquido a 20 °C, independientemente de que esté o no envasado o contenido de otro modo, e independientemente de que el envase o recipiente vaya o no a eliminarse junto con el líquido que contiene (EPA, 2019).

2.1. Los efluentes domiciliarios

Dentro de los residuos líquidos podemos encontrar la categoría de efluentes. Se puede definir el término efluente de diversas maneras, tales como:

- Líquido que procede de una planta industrial (Real Academia Española, n.d.).
- Aguas residuales (con o sin tratamiento) que fluyen desde plantas de tratamiento, cloacas o emisarios industriales. Por lo general se refiere a los residuos vertidos en aguas superficiales (EPA, 2019).
- Aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias (CONICET Mendoza, n.d).

Haciendo análisis de las definiciones anteriormente recopiladas, se puede definir de manera sintetizada que un efluente es un líquido que es emitido (ej. por industrias y domicilios) al ambiente, siendo por lo general el receptor un cuerpo de agua.

Las características y la calidad del efluente van a determinar el tipo y mecanismos de tratamiento a implementar para que el mismo ocasione el menor impacto posible sobre el ambiente. Asimismo, se debe cumplir con ciertos estándares de emisión establecidos por el organismo regulador correspondiente.

La descarga de una significativa cantidad de efluentes (y teniendo en cuenta otros factores), en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, si no cuenta con un tratamiento adecuado, causa efectos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de las poblaciones cercanas. Algunos ejemplos son, entre otros, la generación de enfermedades de vinculación hídrica, proliferación de algas tóxicas, eutrofización de cuerpos de aguas e incremento en los costos de potabilización (Simón, 2013).

Los efluentes líquidos de origen domiciliario provienen, además del uso de sanitarios, de actividades como el aseo personal, lavado de ropa y cocina. En el caso particular de los efluentes cloacales, estos tienen la característica de que su material residual la constituyen compuestos de tipo orgánico (grasas, proteínas, hidratos de carbono, fibras, etc.) que son biodegradables, y microorganismos patógenos (Groppelli, 2015).

Los constituyentes de los efluentes cloacales pueden ser sólidos y líquidos, y por lo general los efluentes domiciliarios, tienen aproximadamente el 99,9% de agua y el 0,1% de sólidos totales, correspondientes a las sales originalmente presentes en el agua más las sustancias orgánicas e inorgánicas desechadas en estos (Orellana, 2005). A continuación, en la tabla 1, se aprecian las condiciones físicas principales de los efluentes domiciliarios.

Características físicas de los efluentes domiciliarios				
Sólidos totales (800 ppm)	Sólidos suspendidos (300 ppm)	Sólidos sedimentables (2 hs), 150 ppm	Orgánico, 100 ppm	Sólidos coloidales totales 200 ppm
			Mineral, 50 ppm	
		Sólidos coloidales (suspendidos), 150 ppm	Orgánico, 100 ppm	
			Mineral, 50 ppm	
	Sólidos filtrables (500 ppm)	Sólidos coloidales (filtrables) 50 ppm	Orgánico, 40 ppm	
			Mineral, 10 ppm	
		Sólidos disueltos, 450 ppm	Orgánico, 160 ppm	
			Mineral, 290 ppm	

*Tabla 1. Condiciones físicas de los principales constituyentes de los efluentes domiciliarios.
Elaborado a partir de Orellana (2005).*

Otras características físico-químicas generales de los efluentes domiciliarios, que se suelen definir mediante análisis en laboratorio, se muestran en la tabla 2.

Parámetro	Comentario
Temperatura	Un poco más elevada que el agua suministrada. En función de la ubicación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía típicamente entre 10 y 21 °C.
Color y olor	Color gris cuando es fresco y al envejecer toma un color negro brillante. Cuando el efluente domiciliario es fresco es ligeramente pútrido, pero cuando es viejo se septiza y produce sulfuro de hidrógeno que le confiere un olor fuertemente pútrido.
pH	≈ 7-8
Alcalinidad	Ligeramente alcalinos
Cloruros	≈ 15 gr./día por habitante
Sulfuros totales	Un efluente doméstico fresco no lo contiene, apareciendo al envejecer y septizarse.
Oxígeno disuelto	En un efluente cloacal fresco existe una pequeña cantidad de oxígeno disuelto, el que desaparece rápidamente cuando comienza a septizarse.

Tabla 2. Parámetros físico-químicos de los efluentes domiciliarios (Elaborado a partir de (Orellana, 2005).

Con respecto a las características microbiológicas generales, algunas de las bacterias presentes son patógenas, como *Escherichia coli*, conocido indicador de contaminación de origen fecal. También suelen encontrarse otras especies pertenecientes a las categorías de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales (Lozano-Rivas, 2012). A su vez, el aporte de materia orgánica de las aguas residuales domésticas sirve de alimento para hongos, bacterias, protozoos presentes en el efluente.

Entonces, en los efluentes cloacales pueden encontrarse una gran cantidad de sustancias, muchas de ellas consideradas contaminantes para el medio. Estos pueden ser de naturaleza física (ej. temperatura, sólidos totales), química (ej. nutrientes, materia orgánica) o biológica (ej. bacterias coliformes). Los contaminantes químicos que tradicionalmente han sido considerados son los metales pesados, los hidrocarburos, detergentes, etc., cuyas

concentraciones máximas en el vertido suelen encontrarse reguladas por las autoridades de aplicación. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha comenzado a prestar atención a otras sustancias potencialmente perjudiciales para el ambiente y que aún no se hallan regulados, denominados contaminantes emergentes (Rojo et al., 2019).

Asimismo, para ser más específicos en la caracterización de los efluentes domiciliarios, se detallan en la tabla 3 los principales constituyentes de este tipo de efluentes, y las cargas másicas y concentraciones típicas asociadas.

Constituyente	Carga másica (g/persona/día)	Concentración (mg/L)
Sólidos totales (ST)	115-200	500-880
Sólidos volátiles	65-85	280-375
Sólidos suspendidos totales (SST)	35-75	155-330
Sólidos suspendidos volátiles	25-60	110-265
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	35-65	155-286
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	115-150	500-660
Nitrógeno total (NT)	6-17	26-75
Amonio (NH ₄)	1-3	4-13
Nitritos y nitratos (NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻)	<1	<1
Fósforo total (FT)	1-2	6-12
Aceites y grasas	12-18	70-105
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	0.02-0.07	0.1-0.3
Surfactantes	2-4	9-18
Coliformes totales (CT)	-	10 ⁸ -10 ¹⁰
Coliformes fecales	-	10 ⁶ -10 ⁸

Tabla 3. Principales constituyentes de los efluentes domiciliarios, cargas y concentraciones típicas. Fuente: Elaboración propia a partir de (EPA, 2002).

2.2. Antecedentes

En la actualidad, los países de América Latina y el Caribe enfrentan un rezago histórico en materia de servicios, en particular los relacionados con el saneamiento básico y la salud (Noyola, 2003). Asimismo, existe una división marcada entre las poblaciones de escasos recursos y las de altos ingresos, con respecto al acceso a estos servicios (Reynolds, 2002). También está el caso de grandes centros urbanos que no cuentan con infraestructura suficiente para acceder a los mismos, además de no contar con una planificación urbana adecuada. Las previsiones demográficas indican un aumento significativo de la población en esta región, por lo que la disponibilidad de servicios de agua potable y saneamiento cobran cada vez mayor relevancia (Fernández Cirelli, 2018).

Con respecto a servicios de saneamiento, la ausencia de redes de desagüe cloacal y la falta de tratamiento de los efluentes constituyen dos factores determinantes en el estado de la población urbana. Sin embargo, las mismas inciden en escalas diferentes. El primero impacta sobre la calidad de vida de la población a una escala de vivienda o barrio. Por su parte, la determinación de un sitio inadecuado de disposición final (o técnicas de tratamiento) de los efluentes tiene consecuencias sobre la población urbana a un nivel más general. En la mayoría de los casos, esta deficiencia ocasiona graves problemas de contaminación de las aguas subterráneas y los cursos de agua receptores, que constituyen la fuente de agua para consumo de la población (u otros usos) (Ricci, 2010).

La situación antes expresada se presenta en la mayor parte de los centros urbanos de la República Argentina. A continuación, se presentarán algunos casos relevados que presentan esta problemática.

Localidad de Macachín, La Pampa.

Macachín es una ciudad ubicada sobre el acuífero del Valle Argentino. A partir de un análisis de aguas subterráneas de pozos y perforaciones realizado en el área urbana y periurbana de la localidad, se demostró que hay un grado significativo de contaminación del acuífero. Esto se deduce debido a mediciones de contenido de nitratos superiores a los niveles permitidos para el consumo de agua potable. Esto se debe al aporte significativo de materia orgánica proveniente de desechos domiciliarios gestionados y tratados de forma inadecuada (Holzman et al., 2009).

Partido de Tandil, Buenos Aires.

En este caso, se realizó una evaluación integral de las características hidrogeológicas y la gestión de agua subterránea en ámbitos urbanos y rurales del partido de Tandil, localizado en la provincia de Buenos Aires.

La problemática hídrica actual se caracteriza por la ausencia de servicios sanitarios de agua potable y cloacas en diversos barrios periféricos de la ciudad de Tandil y localidades rurales del partido. Los habitantes de esas zonas sin servicios poseen condiciones particulares de explotación y uso de recursos subterráneos, entre las que se destacan la falta de protección sanitaria de las perforaciones de extracción y la disposición *in situ* de los efluentes domiciliarios (Rodríguez, 2014).

Finalmente, se identificaron cargas significativas de contaminantes que afectan a las aguas subterráneas, siendo la fuente más relevante la disposición de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes en aquellas zonas donde no existe sistema cloacal. Los resultados evidenciaron que las concentraciones de nitratos superan lo recomendado por la legislación argentina y la presencia de microorganismos patógenos vuelven el agua no apta para consumo humano.

Ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut.

La localidad se caracteriza por verter efluentes cloacales de forma continua y sin tratamiento en las costas marinas, siendo esta una fuente permanente de microorganismos patógenos que pueden afectar la salud pública, dado que se utilizan estos espacios para uso recreativo.

Se ha realizado un estudio donde se analizaron dos muestras de sedimento marino intermareal de dos playas, una de ellas sometida a la contaminación debido al vuelco de efluentes. Se caracterizó la comunidad bacteriana presente en cada una de ellas y su supervivencia a lo largo del tiempo. Los resultados arrojaron una marcada diferencia en la composición de la comunidad de bacterias entre ambas muestras. Los géneros bacterianos en la muestra contaminada fueron característicos de contaminación fecal (Acuña et al., 2011).

Ciudad de Catamarca, Catamarca.

En la ciudad capital de la provincia de Catamarca utiliza las aguas subterráneas como principal fuente de agua para consumo para la población. Sin embargo, se quiso evaluar la posible presencia de cargas contaminantes provenientes del vertido de efluentes domiciliarios y saneamiento *in situ*.

Se realizaron monitoreos de distintas perforaciones ubicadas a lo largo del área urbana y periurbana de la ciudad, midiendo contenido de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Estreptococos Fecales, concentraciones de iones nitrato, nitrito y amonio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se detectó contaminación bacteriana en el 10 % de las perforaciones, y en la totalidad de las captaciones subterráneas investigadas, los análisis no detectaron presencia de organismos indicadores. Por otro lado, se detectaron niveles de amonio y nitrato superiores a los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA) en asentamientos poblacionales más densos y antiguos de la ciudad capital, señalando el impacto del saneamiento *in situ* sobre la calidad del agua subterránea (Saracho et al., 2003).

Cabe destacar que la zona de estudio muestreada se caracteriza por tener suelos del tipo arenosos y con escasa capacidad de retención de humedad, lo cual pudo haber influido sobre los resultados obtenidos.

Localidad de Esquel, provincia de Chubut.

En este caso, las primeras evaluaciones de calidad de agua en ríos urbanos demostraron cambios profundos en la composición de especies de macroinvertebrados por el vertido de efluentes cloacales sin tratar en el sistema Esquel-Percy (Pcia. del Chubut). En estos trabajos se demostró la respuesta de métricas adaptadas a la región a variables ambientales indicadoras típicas de contaminación como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el oxígeno disuelto, la conductividad y los sólidos suspendidos (Miserendino et al., 2020).

Localidad de Las Grutas, Río Negro.

La ciudad de las Grutas posee una planta elevadora de líquidos cloacales de Aguas Rionegrinas (ARSA). Durante la temporada turística, debido a la gran presión de efluentes,

han ocurrido desbordes sucesivos, ocasionando el vertido de los mismos al mar. Dada esta problemática, vecinos de la ciudad presentaron un amparo ambiental. Asimismo, se estima que el 30 % de los hogares en esta la ciudad no poseen conexión a la red cloacal y utilizan pozos negros para la disposición de sus efluentes. Situaciones similares ocurren en San Antonio Oeste y Este, pequeñas localidades situadas a cercanías de Las Grutas (Diario Río Negro, 2018).

Localidad de Cipolletti, Alto Valle de Río Negro.

La contaminación del río Negro producto de los efluentes cloacales afecta principalmente al Alto Valle, donde algunos balnearios se vuelven inutilizables. La evaluación de la calidad ecológica del agua, con el índice de macroinvertebrados, clasificó a algunos sitios con una calidad de regular a mala. Principalmente en Cipolletti, la planta de líquidos cloacales está superada en su capacidad para el tratamiento de efluentes. Uno de los principales motivos es el aumento de la población y la falta de ampliación de la planta (Martos, 2021; DPA, 2012). Casos similares son los de las ciudades de Villa Regina y Allen (DPA, 2016).

2.3. Manejo de efluentes en San Carlos de Bariloche

La ciudad de Bariloche, ubicada al oeste de la provincia de Río Negro, ha sufrido en las últimas décadas un crecimiento poblacional desordenado, sostenido y un rápido proceso de expansión de su mancha urbana (Civitaresi & Colino, 2019; Pereyra, 2007). Esto, junto con una escasa planificación urbana, conlleva a que haya diferentes problemáticas locales que se están agravando a medida que el crecimiento poblacional es mayor (Barrios García Moar, 2018). Estas deben ser abordadas de forma integrada, considerando sus dimensiones social, económica y ambiental, con el fin de mejorar la calidad de vida de las poblaciones y fomentar un desarrollo sustentable. Una de estas problemáticas, la cual tiene gran relevancia para la comunidad, las autoridades y otras entidades relacionadas, es la gestión y el tratamiento de efluentes de origen domiciliario (Guevara et al., 2020).

La ciudad presenta la particularidad de ser extensa y de baja densidad, lo que conlleva dificultades para el financiamiento de las obras de infraestructura y esto ha dado como resultado un importante déficit en términos de saneamiento (Municipalidad de San Carlos de Bariloche, 2015). A su vez se encuentra sobre las márgenes del Lago Nahuel Huapi (LNH),

un recurso hídrico de gran valor local, regional y nacional, y uno de los principales atractivos del Parque Nacional Nahuel Huapi (Administración de Parques Nacionales Argentina, 2019). Asimismo, tanto la Gestión Ambiental Local, el Departamento Provincial de Aguas (DPA) y otros profesionales, reconocen que el sistema regulatorio actual y su implementación tiene falencias y han mostrado interés en propuestas de mejora del sistema.

En San Carlos de Bariloche, para el año 2010 52,4% de los hogares estaba cubierto con servicio de cloacas (INDEC, 2010). Por otra parte, según el Primer Esquema del Plan Estratégico e Integral de Desarrollo de San Carlos de Bariloche, la población servida con red cloacal para el año 2015 era cercana al 57%. En términos de extensión, este porcentaje baja significativamente en concordancia con la reducción de las densidades hacia la periferia (MSCB, 2015). En la figura 1 se muestra el área servida y no servida con servicio de cloacas.



Figura 1. Áreas servidas y no servidas dentro del ejido municipal de San Carlos de Bariloche. Fuente: Elaboración propia a partir de documentos proporcionados por la Cooperativa de Electricidad Bariloche (CEB), del año 2018.

Actualmente, la Dirección de Saneamiento de la CEB, es la responsable de la recolección, el transporte y el tratamiento de los desagües cloacales para aquellas zonas que cuenten con servicio de cloacas. La planta de tratamiento de efluentes, ubicada el este de la ciudad (calle Modesta Victoria y Motonave Huilqui), tiene la capacidad de tratamiento nominal de 25,000 m³/día de efluentes o expresado como carga orgánica 5,000 kg DBO₅/día. Permite brindar

servicio a 90.000 habitantes equivalentes (CEB, 2020). En la figura 2 se muestran los caudales procesados por la planta depuradora entre los años 2014-2015.

MES	CAUDALES PROCESADOS	PROM. MENSUAL	PICO DIARIO
jul-14	687538	22178	24985
ago-14	687848	22188	24504
sep-14	654371	21812	23723
oct-14	631340	20365	23233
nov-14	629670	20989	25621
dic-14	697541	22501	24834
ene-15	638619	20600	22798
feb-15	643046	22965	25537
mar-15	710648	22924	23945
abr-15	686049	22868	24432
may-15	729164	23521	26937
jun-15	754543	25151	26989

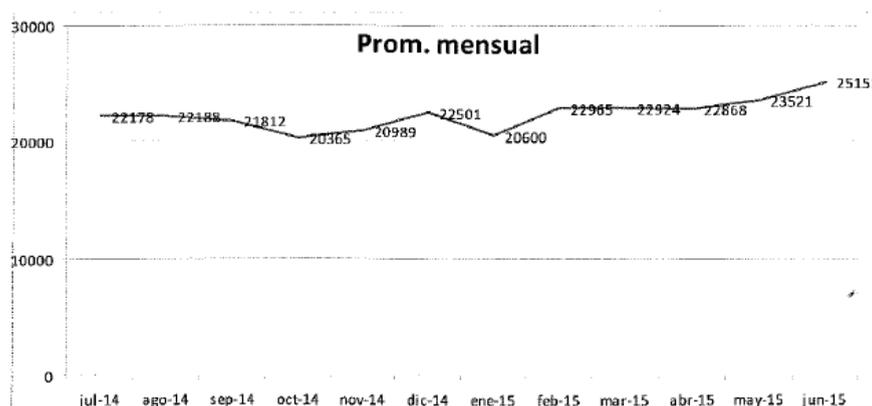


Figura 2. Caudales de efluentes tratados por la planta depuradora de San Carlos de Bariloche, período 2014-2015 (Fuente: CEB, 2015). Los caudales procesados se expresan en m^3/mes , los promedios mensuales en $m^3/día$, y los picos diarios en m^3/h . En el gráfico inferior se observan en el eje “y” los caudales promedio mensuales ($m^3/día$), y en el eje “x” la fecha.

Aquellos domicilios que actualmente no cuentan con servicio de cloacas dependen de sistemas descentralizados o *in situ* para la disposición y el tratamiento de sus efluentes, los cuales, en la actualidad, se realizan típicamente utilizando cámaras sépticas y lechos de infiltración. Sin embargo, muchos de los sistemas implementados poseen deficiencias en su funcionamiento, lo cual lleva al vuelco de efluentes crudos y sin tratar al ambiente (González & Alonso, 2009). Esta situación genera la contaminación de la napa subterránea con materia orgánica, patógenos, nutrientes y otras sustancias, los cuales son transportados por un medio poroso hasta cuerpos de agua superficiales. Estos, en algunos casos, son utilizados como fuente de provisión de agua potable, como es el caso del LNH (Abaleron, 1995).

Por lo expuesto, es necesario diseñar sistemas adecuados de tratamiento para cada escenario en particular, considerando la complejidad ambiental con respecto a topografía y tipos de suelo con los que cuenta San Carlos de Bariloche. Mediante una evaluación de este mecanismo de presión sobre el ambiente, se puede asegurar una mejora en la calidad de vida de la población que hace uso de estos sistemas de tratamiento.

2.4. Aspectos conceptuales y terminología

En la siguiente sección se desarrollarán términos, conceptos y herramientas que serán implementados en el este Proyecto Final Integrador (PFI).

Evaluación de riesgo de contaminación

En primera instancia, se define el término riesgo como una medida de la probabilidad que ocurra algún daño a la vida, salud, propiedad y/o el medio ambiente como resultado de un peligro dado (EPA, n.d.). Asimismo, el riesgo puede implicar la evaluación de las consecuencias que un proceso de contaminación puede ocasionar, conociendo los peligros asociados.

La evaluación del riesgo es un paso fundamental en la protección de la salud humana y del medio ambiente, y permite una planificación eficaz de la gestión de los recursos naturales. Asimismo, la evaluación de riesgo permite determinar los problemas medioambientales, localizar las zonas problemáticas probables, elaborar programas de vigilancia, formular y aplicar medidas adecuadas de inspección, protección y mejora eficaces, en función de los costos (EPA, 2012).

Al evaluar impactos sobre el ambiente, el concepto de riesgo de contaminación significa la consecuencia potencial o existente sobre la salud o condición de un receptor específico (por ej. Usuarios de suministro de agua o hábitat acuático, originada por una fuente de contaminación concreta, a través de una vía o ruta de exposición determinada. Este es un marco metodológico utilizado habitualmente en el contexto de la contaminación de aguas subterráneas, habiendo sido tradicionalmente aplicado para fuentes puntuales tales como por ej. rellenos sanitarios o sitios contaminados.

En la práctica, la evaluación de riesgo de contaminación de aguas subterráneas puede ser abordado de dos maneras:

- Método directo, involucrando el monitoreo químico adecuado del cuerpo de agua subterránea para determinar el grado de degradación del mismo.
- Método indirecto, involucrando estimaciones de carga contaminante en el subsuelo, así como estimaciones de la vulnerabilidad a la contaminación por parte del cuerpo

de agua subterráneo (ej. acuífero) (Common Implementation Strategy Working Group for the Water Framework Directive - Comisión Europea, 2004).

En el contexto de estas evaluaciones de riesgo de contaminación, se aplican modelos conceptuales ambientales (MC), consistiendo de una herramienta que permite explicar de forma sencilla y sintetizada el comportamiento de un contaminante en el espacio y tiempo, y permite realizar un análisis cualitativo y visual de la trayectoria de un contaminante.

Asimismo, representa esquemática o descriptivamente un sistema ambiental en donde ocurren eventos de contaminación. En este se identifican la(s) fuente(s) de contaminación; los mecanismos de liberación y de transporte de los contaminantes; las rutas y vías de exposición; y la presencia de población humana y de biota potencialmente expuestos. A través del MC se puede valorar riesgos potenciales en receptores ambientales, incluidos los humanos, y facilita también la toma de decisiones preventivas y correctivas que incluyen actividades de remediación o restauración en el sitio (Chávez et al., 2011). Este modelo se ha aplicado en una gran diversidad de estudios en las últimas décadas, como se especifica en los siguientes ejemplos:

- Estudio de la contaminación de suelo y agua subterránea por hidrocarburos en el Valle de Cauda, Colombia (Azcuntar et al., 2011).
- Análisis del riesgo ambiental por exposición por arsénico y plomo en el distrito minero de Santa María de La Paz, México (Chávez et al., 2011).
- En Argentina (La Plata), se aplicó este modelo para caracterización de fuentes de emisión de BTEX y estimar su concentración en el espacio (Mellado et al., 2017).

Los modelos fuente-vía-receptor (también conocidos como source-pathway-receptor model o S-P-R model) son considerados MC. Además de los casos anteriores, estos pueden ser aplicados también en estudios de contaminación atmosférica para determinar las zonas de origen de compuestos químicos medidos en un punto de muestreo, y así poder orientar las actuaciones de reducción de contaminantes (Alarcón et al., 2009), habiendo sido utilizado por ej. en el estudio de emisión de material particulado proveniente de la actividad minera (Cesar, Colombia) (Sánchez, 2012).

Es de particular relevancia el uso de la evaluación del riesgo de contaminación implementando modelos S-P-R, como base para todos los sistemas de protección de las aguas subterráneas de Irlanda, así como el sistema de gestión del agua de la Unión Europea (EPA, 2012; Common Implementation Strategy Working Group for the Water Framework Directive - Comisión Europea, 2004).

El modelo S-P-R, cómo vamos a definirlo a partir de este momento, en el contexto de efluentes domiciliarios se representa esquemáticamente en la figura 3, donde una fuente se

une a uno o más receptores a través de vías. En el ejemplo, la fuente (sistema de tratamiento de efluentes *in situ* o STEIN) está representada por el vertido subsuperficial de los efluentes de una vivienda a través de una zona de percolación situada donde el sustrato de roca (y acuífero albergado por la misma) se encuentra a poca profundidad. Los efluentes descargados se infiltran a través del subsuelo en las aguas subterráneas (receptor) del lecho rocoso, desde donde migran a través de fracturas y fisuras hacia un pozo de abstracción/toma de agua (receptor) y hacia un río (potencial receptor).

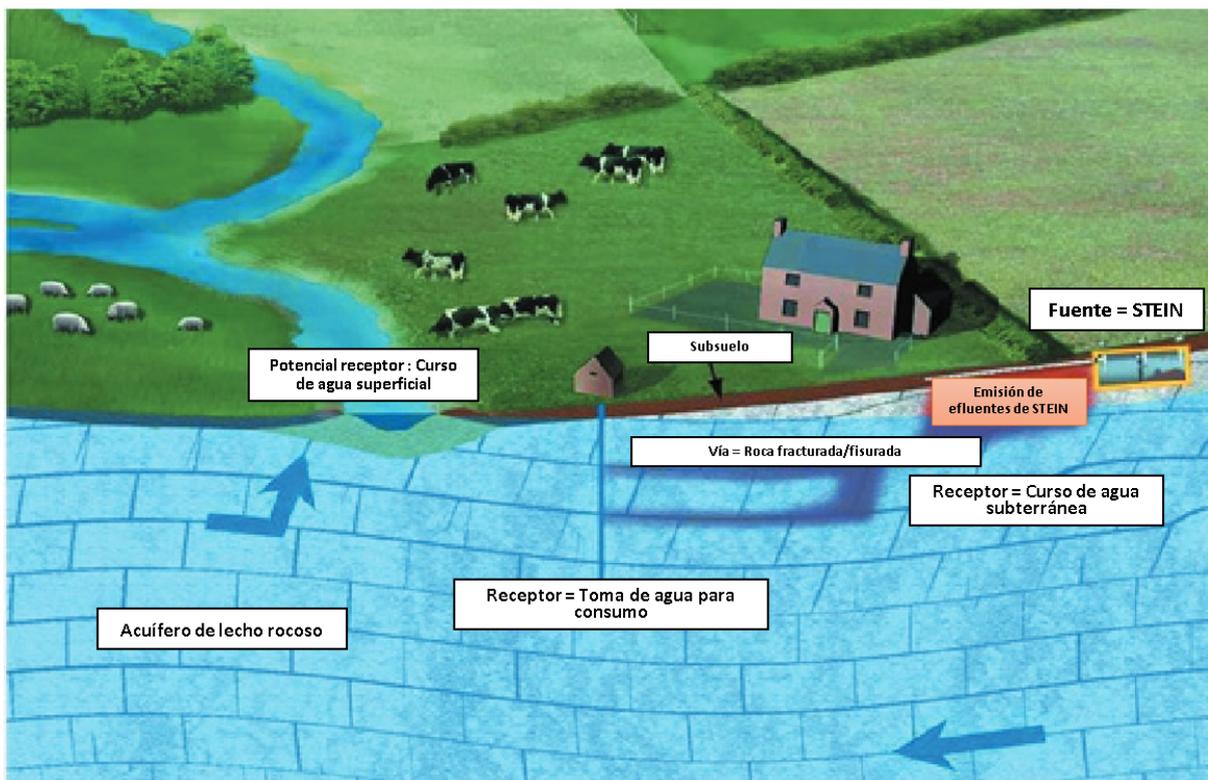


Figura 3. Modelo S-P-R para sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de vías subterráneas (subsuelo permeable). Fuente: (EPA, 2012).

El camino que toma el contaminante en el marco de un modelo tipo S-P-R está basado en un árbol de decisiones de probabilidad de impacto ambiental (figura 4). El mismo se compone por 9 etapas o ramificaciones, las cuales se definen a continuación:

- A. Zona de gestión de aguas residuales (incluyendo área servida).
- B. Sistema ambiental receptor (Aguas subterráneas o superficiales)
- C. Destino de descarga en aguas subterráneas (dependiendo de la profundidad de traslado del efluente).
- D. Densidad poblacional (Población equivalente por hectárea)
- E. Construcción de pozos (en acuífero confinado o no confinado)
- F. Tiempo de viaje hasta la descarga de flujo base.

- G. Flujo de corriente (Alto, bajo)
- H. Tiempo de viaje a acuífero o a punto de uso en aguas superficiales.
- I. Probabilidad relativa de impacto (Alta, moderada, baja).

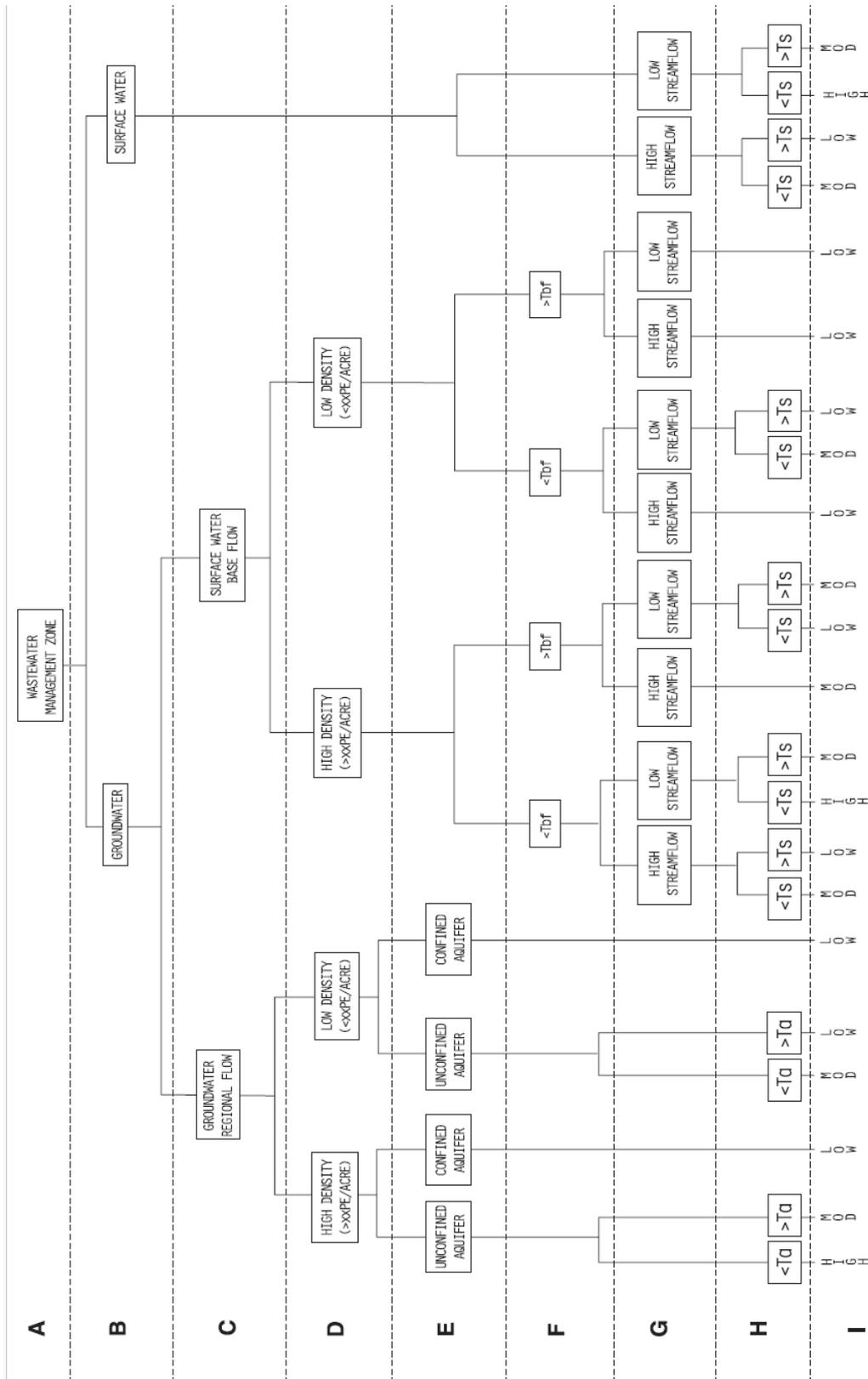


Figura 4. Modelo de árbol de decisiones de probabilidad de impacto ambiental. Fuente: (EPA, 2002).

En el marco de este PFI, siendo los escenarios de riesgo de contaminación a estudiar principalmente sobre los medios receptores aguas superficiales y aguas subterráneas, se aplicarán modelos conceptuales de contaminación del tipo S-P-R. Esta herramienta permitirá, de forma sencilla, concisa y visual, identificar el camino del contaminante, en este caso los efluentes domiciliarios, desde una fuente hasta uno o más receptores, evaluando cualitativamente el riesgo presentado en distintos escenarios.

2.5. Objetivos

El presente PFI cuenta como objetivo general:

Evaluar las condiciones actuales del tratamiento *in situ* de efluentes en San Carlos de Bariloche con la finalidad de analizar la peligrosidad ambiental y proponer un plan de acción para la mejora del mismo.

Como objetivos específicos, se destacan:

1. Realizar un diagnóstico de condiciones actuales del tratamiento *in situ* de efluentes cloacales en San Carlos de Bariloche.
2. Evaluar la peligrosidad ambiental para el tratamiento *in situ* de efluentes, definiendo las características de las fuentes, vías y receptores, e identificando situaciones problemáticas.
3. Elaborar una propuesta de plan de acción para mejorar el tratamiento de efluentes cloacales *in situ* en San Carlos de Bariloche.

3. Metodología

A continuación, se detalla la metodología general implementada para el cumplimiento de los objetivos de este PFI, cumpliendo con los términos establecidos en la Resolución CDEyVE N° 029/19 de la UNRN, Sede Andina.

Metodología general

En primera instancia se llevó a cabo un relevamiento bibliográfico sobre tratamiento de efluentes cloacales de origen domiciliario, realizando también entrevistas virtuales y presenciales a referentes institucionales de organismos tales como la Municipalidad de San Carlos de Bariloche (MSCB), la CEB y el DPA, para recabar información de línea de base sobre los distintos aspectos del proyecto (normativa, condiciones naturales, diseños típicos, problemáticas observadas). En particular, se utilizaron datos de las bases de datos con las que cuenta la MSCB, sobre todo de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Asimismo, se realizó una encuesta pública, para relevar la opinión pública y la percepción sobre las problemáticas asociadas a este tema.

En segunda instancia, se realizaron visitas a campo a los sitios/escenarios de estudio seleccionados para cumplir con los objetivos propuestos.

En tercera instancia, se comparó lo observado a campo con un análisis detallado de imágenes satelitales, utilizando software y bases de datos de tipo gratuito (Open Source).

Metodología para el Objetivo 1: Realizar un diagnóstico de condiciones actuales del tratamiento in situ de efluentes cloacales en San Carlos de Bariloche.

Para poder cumplir con lo establecido en el objetivo 1, se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica y un estudio de mapas base en QGIS (Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto), para definir las condiciones naturales del ejido de la ciudad de Bariloche relevantes a tratamiento *in situ* de efluentes.
- Se realizó una búsqueda bibliográfica y de antecedentes, para definir condiciones de tratamiento, aspectos técnicos y normativos locales, provinciales y nacionales relevantes a la temática.
- Se identificaron actores clave y realizaron entrevistas a referentes institucionales.
- Se hizo una encuesta online para usuarios de sistemas de tratamiento de efluentes *in situ*. Se obtuvo información sobre la percepción de la temática (si se considera un

problema, conocimiento disponible, entre otros), distribución geográfica y problemáticas presentadas por sistema.

Metodología para el Objetivo 2: Evaluar el riesgo de contaminación ambiental para el tratamiento *in situ* de efluentes, definiendo las características de las fuentes, vías y receptores, e identificando situaciones problemáticas.

Para cumplir con los requisitos de este objetivo, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Se realizaron evaluaciones específicas del alcance de la peligrosidad y riesgo de contaminación ambiental, considerando el contexto de la cadena de fuente-vía-receptor, definiendo las características de cada uno de los mismos. Para ello se definieron parámetros para determinar la densidad de población (fuente), las condiciones de permeabilidad del subsuelo y profundidad de la napa freática (vía/receptor) y la cercanía de cuerpos/cursos de agua superficial y su capacidad de dilución (receptor). Se utilizaron bases de datos de tipo SIG (Sistema de Información Geográfica) existentes e información bibliográfica.
- Se seleccionaron y analizaron cuatro escenarios típicos observados en la ciudad, de acuerdo a los resultados obtenidos del Objetivo 1. Dicho análisis incluyó las visitas a campo correspondientes.
- Por último, se presentaron los resultados en mapas (con su posterior análisis), utilizando el software QGIS, y las imágenes obtenidas de las salidas a campo.

Metodología para el Objetivo 3: Elaborar una propuesta de plan de acción para mejorar el tratamiento de efluentes cloacales *in situ* en San Carlos de Bariloche.

Los aspectos considerados para asegurar el cumplimiento del objetivo 3 fueron:

- Se definieron las características ideales de un sistema de tratamiento de efluentes *in situ* adaptado a las condiciones locales.
- Se elaboró una metodología optimizada para dimensionar cámaras sépticas, lecho de infiltración y otros, adaptado a condiciones locales.
- Se identificaron propuestas de alternativas para escenarios no estándar (por ej. napa freática alta, permeabilidad de suelos/ depósitos inadecuada).
- Se presentó un breve análisis económico, considerando las características ideales de un sistema de tratamiento *in situ* estándar.
- Se propusieron cambios en normativa local y gobernanza.

4. Diagnóstico

4.1. Condiciones naturales

El ejido urbano de la ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra en la provincia de Río Negro (Argentina), entre los 41°0′ - 41°10′ latitud S y los 71°30′ - 71°40′ longitud O. La ciudad de Bariloche, inmersa en el Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), se localiza en el sector este de los Andes patagónicos.

Hay numerosas características de la localidad de Bariloche que son relevantes con respecto al tratamiento de efluentes con sistemas descentralizados (o también denominados sistemas de tratamiento *in situ*). Los mismos son, desde el punto de vista de las condiciones naturales, los aspectos hidrometeorológicos de la zona, la geología y geomorfología, las características del suelo (edafología), y la presencia de cuerpos de agua superficiales y subterráneos receptores. Asimismo, se debe tener en cuenta la topografía del terreno. Los factores anteriormente mencionados son desarrollados a continuación, cumpliendo el siguiente orden:

1. Meteorología.
2. Geología y geomorfología.
3. Edafología.
4. Topografía.
5. Aguas superficiales y subterráneas.

4.1.1. Meteorología

La ciudad se caracteriza por presentar un clima templado-frío con estación seca (INTA, 2004).

El clima de la ciudad de San Carlos de Bariloche (825 m s.n.m) tiene las cuatro estaciones del año bien marcadas y por sus características térmicas e hídricas corresponde a la zona del “Bosque húmedo premontano” en la clasificación de Holdridge o al “Clima templado, con estación seca en verano” en la clasificación de Koeppen. Se localiza dentro de una estrecha franja climática que pertenece a un clima húmedo microtermal, con moderada a baja deficiencia de agua (Pereyra et al., 2005).

a. Régimen de viento y precipitaciones

En Bariloche, el 85 % de los días del año son ventosos, siendo la dirección dominante el cuadrante Oeste-Noroeste, aunque ocasionalmente en otoño provengan del Este vientos fríos y secos. Normalmente son fuertes, con ráfagas que, en ocasiones, pueden superar los 100 km/h. La velocidad promedio anual es de 10,3 km/h, siendo enero y noviembre los meses más ventosos (Pereyra et al., 2005).

Existe un gradiente de precipitación en dirección Oeste-Este que va desde los 2.000 mm a los 600 mm anuales (Dzendoletas et al., 2006; Pereyra, 2007). En los valles donde se localiza la población se registran precipitaciones entre 800 y 1000 mm. El 70 % de las precipitaciones se concentran aprox. en otoño e invierno (Pereyra et al., 2005).

b. Régimen térmico y de heladas

La temperatura media anual de la localidad es de 8,4 °C, registrándose 13 °C de máxima y 3,7 °C de temperatura mínima, siendo la amplitud térmica de aprox. 10 °C. El gradiente con relación a la variación de altura provoca una disminución de 6 °C cada 1.000 metros. En verano la temperatura puede alcanzar los 20 a 28 °C, o más. En invierno, la temperatura oscila entre 1 °C y 10 °C, mientras que por la noche alcanza los 0 °C o menos (Pereyra et al., 2005).

Respecto al régimen de heladas, para el período 1982-2004 se registró el mayor promedio de heladas (18,2 días). La cantidad media de heladas al año es de 113 días. El mes de febrero es el mes en el cual se registran los menores valores (1,2 días en promedio) (Pereyra et al., 2005).

4.1.2. Geología y geomorfología

Desde el punto de vista geológico, el ejido municipal se ubica en una faja plegada y corrida de retroarco, aflorando varios tipos de litologías: metamorfitas precámbricopaleozoicas, granitoides cretácicos y terciarios, volcanitas, piroclastitas y sedimentitas terciarias (Pereyra et al., 2005).

Asimismo, el ejido municipal se ubica sobre depósitos glaciares, glacioluviales, fluviales y piroclásticos cuaternarios. Como resultado de su localización tectónica, la región se caracteriza por presentar una serie de serranías de rumbo Norte-Sur, con alturas que oscilan entre 2400 y 700 m s.n.m. Esta configuración tectónica ha sido intensamente modificada por el accionar de los glaciares en el periodo Cuaternario, el cual está representado por valles glaciares, morenas de diferentes tipos y otras formas erosivas (MSCB, 2011).

4.1.3. Edafología

Los suelos del área de estudio muestran una gran variabilidad espacial. En la zona occidental predominan los suelos formados por cenizas volcánicas, con horizontes superficiales ricos en materia orgánica, ácidos y con alofano. En los sectores más elevados, por encima de los 1.600 metros, se encuentran suelos poco desarrollados y pedregosos (Criortentes y Haplumbreptes). En la zona oriental dominan los Entisoles y los Molisoles; los primeros en lugares de mayores pendientes, planicies aluviales y sectores de frecuentes afloramientos rocosos (Dzendoletas et al., 2006).

Por otra parte, se puede describir la edafología del área de estudio a partir de una asociación de suelos de morenas occidentales y morenas orientales.

Tanto los suelos de morenas occidentales como orientales son desarrollados sobre cenizas volcánicas redepositadas por el viento, de textura areno-franca fina, moderadamente profundos, levemente ácidos, moderadamente provistos de materia orgánica (4 a 6 %), con un déficit hídrico estival moderado y drenaje moderadamente rápido. En estos sectores los suelos son Andosoles, particularmente Udivitrands, Vitrixerands y Hapludands típicos. En algunos sectores los suelos no cumplen con los requerimientos para ser considerados Andosoles y por lo tanto pueden clasificarse como Entisoles (Udortentes ándicos) o como Inceptisoles (Haplumbreptes ándicos) (Pereyra et al., 2005).

4.1.4. Topografía

El ejido municipal contiene sectores de compleja topografía, posee una superficie de más de 22.000 hectáreas y se extiende longitudinalmente de este a oeste más de 60 kilómetros.

El espacio urbano de la ciudad presenta estas irregularidades de terreno, propias de una ciudad de montaña, habiendo curvas de nivel que van desde los 750 m s.n.m (costa el LNH) hasta los 1200 m s.n.m. (ladera del Cerro Otto). A medida que nos alejamos del centro urbano, se pueden encontrar curvas de nivel a mayor altitud (ej. Cerro Catedral con 1400 m s.n.m. o Cerro Goye a 1600 m s.n.m.).

Esta geomorfología imprime condicionamientos en el paisaje urbano desde distintos planos. Desde el funcional, porque genera superficies discontinuas en la ocupación por las fuertes pendientes, las cuales alcanzan rangos de entre el 30% y el 45%, categorizados como "poco aptos para la urbanización". De comunicación, ya que los accesos al área central y a distintos sectores suburbanos se ven dificultados por la accidentada topografía. Asimismo, las diferentes altitudes definen condiciones climáticas que varían mucho entre los distintos sectores de la ciudad (Matossian, 2015).

4.1.5. Aguas superficiales

El cuerpo de agua superficial que ocupa mayor superficie dentro del área de estudio es el LNH, que por gravedad y pendiente recibe todas las escorrentías superficiales provenientes del ejido municipal. Es el lago de cabecera de la cuenca del río Limay, con desagüe hacia el Océano Atlántico a través del Río Negro. El LNH es de origen glacial formado por el endicamiento de una enorme morena frontal. Se encuentra en el centro del Parque Nacional homónimo, a una altura de 765 m s.n.m. Su superficie posee una morfología sumamente ramificada, que se manifiesta en la presencia de siete brazos de diversos tamaños y en la longitud de su perímetro, debido a la gran irregularidad de sus costas (Pereyra et al., 2005). Mayor detalle de las características morfométricas generales de este cuerpo de agua se presentan en la tabla 4.

Parámetro	Valor
Superficie (km ²)	529
Profundidad máxima registrada (m)	438
Profundidad media (m)	157
Volumen (hm ³)	83.053
Longitud de la línea media de costa (km)	357,35
Tiempo de retención del agua (años)	11,6
Longitud de línea media del lago (km)	74,4
Ancho (km)	7,4
Ancho (km)	10,2

Tabla 4. Características morfométricas del LNH. Fuente: Elaboración propia a partir de (Pedrozo et al., 1997).

Asimismo, en la zona se encuentran otros cuerpos de agua de gran superficie, como lo son los lagos Moreno y Gutiérrez. El lago Moreno es un lago ultra - oligotrófico, de origen glacial, y está dividido en tres cuerpos de agua conectados entre sí (Moreno Oeste, Moreno Este y Morenito), los cuales presentan características diferentes (El primero y el segundo tienen superficie similar y mayor al Morenito, pero difieren en volumen y profundidad media y máxima). El Moreno Este drena hacia el Moreno Oeste con el cual está conectado por un canal corto y angosto. A su vez, el Morenito está conectado con este desde mediados de otoño a finales de primavera a través de un canal poco profundo. El lago presenta alta

transparencia, es monomítico cálido con estratificación térmica durante la primavera y el verano (desde noviembre hasta abril), y presenta una termoclina entre los 30 y los 40 metros de profundidad (Arcagni, 2013). Por otro lado, el lago Gutiérrez tiene una superficie de 16,4 km², una profundidad promedio de 79,7 m y está ubicado a 750 m s.n.m. La zona eufótica se extiende hasta los 24,7 m, la transparencia llega a los 10,5 m y la termoclina de verano se ubica a 40 m (Semenas & Brugni, 2002). Tanto el lago Moreno como el lago Gutiérrez desaguan hacia el LNH. Asimismo, ambos lagos cuentan con distintos impactos antrópicos asociados a un sector de los mismos, como la actividad turística y la creación de nuevos asentamientos/barrios. Esto puede ayudar a comprender los impactos dados en toda la cuenca en general.

Dentro de los principales afluentes del LNH podemos destacar, dentro del ejido urbano de Bariloche, el arroyo Ñireco, Sin Nombre, Ñirihuau, entre otros. Los afluentes del Lago Moreno son el arroyo Casa de Piedra, Goye y López. En el caso del lago Gutiérrez, este recibe aportes hídricos de arroyos que bajan del cerro Catedral y del cordón del Ñirihuau. Su principal emisario es el arroyo Gutiérrez, que a su vez desemboca en el LNH.

Por otra parte, a continuación, se detallan las características que definen la calidad de agua del LNH, en la tabla 5. Los datos fueron obtenidos específicamente a partir de un estudio publicado por el DPA en el año 2015, en el cual se realizó una evaluación de la calidad del agua en las zonas costeras del lago, mediante la toma de muestras en distintos balnearios ubicados a lo largo de todo el perímetro de este cuerpo de agua.

Parámetro	Valor promedio
Temperatura (°C)	5,4 - 18, 1
Oxígeno Disuelto (mg/L)	9 - 10
pH	7,1 - 7,5
Conductividad eléctrica (µS/cm)	30 - 40
Fósforo total (FT) (µgP/L)	9 - 45,3
Nitrógeno total (NT) (µgN/L)	36 - 1065
Transparencia (Profundidad Disco Secchi) (m)	11 - 12,8
Concentración Clorofila "a" (µg/L)	0,74 - 1,93
Concentración <i>Escherichia Coli</i> (NMP/100 ml)	> 10
Estado trófico (s/ transparencia)	Ultra - Oligotrófico

Tabla 5. Calidad de Agua del LNH, zonas costeras. Fuente: Elaboración propia a partir de Unidad de Gestión de Calidad del Agua (2015).

De acuerdo a los datos de la tabla 5, debe destacarse que el estado trófico del lago definido es general, habiendo en varios de sus brazos estados tróficos distintos, como sucede en el Brazo Campanario (Collet, 2009).

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 5, en el informe realizado por la Unidad de Gestión de Calidad de Agua llega a la conclusión de que la calidad de agua del LNH, indica que en las zonas costeras para los diferentes usos (consumo, recreativo, entre otros) es adecuada.

Sin embargo, al considerar otros estudios similares realizados recientemente, se han llegado a otras conclusiones. En los mismos se detalla que, en sectores de las costas del LNH con mayor urbanización, como en la costa del centro urbano, se observa una mayor concentración de nutrientes (P y N), presencia de residuos plásticos, frecuencia de especies exóticas e incremento de biomasa (clorofila "a") de los productores primarios. Este último parámetro se ve favorecido en sectores poco expuestos al viento (como bahías cerradas). Estos cambios en la calidad de agua del LNH se estima que se deben principalmente al impacto del ingreso de efluentes provenientes tanto de fuentes de contaminación puntuales (planta de tratamiento) como difusas (sistemas de tratamiento domiciliarios, descargas de pluviales), y la acumulación de residuos en las costas. Estos aumentan considerablemente debido a la actividad turística (Martyniuk et al., 2022).

4.1.6. Aguas subterráneas

El área de estudio contiene en su mayor parte acuíferos porosos discontinuos en depósitos morénicos de granulometría muy heterogénea. El acuífero es del tipo libre, con una zona no saturada permeable, con permeabilidades teóricas que van desde 1 a 102 m/día (media - media alta). En los sectores de materiales más finos (por ej. lentes de arcilla o till de matriz arcillosa) la permeabilidad de los depósitos disminuye considerablemente, lo cual puede dar origen a acuíferos colgados (Pereyra et al., 2005).

En menor medida, se pueden encontrar zonas dentro del ejido municipal que cuentan con:

- Acuíferos porosos en depósitos glaciales y fluviales compuestos por gravas y arenas. Estos presentan permeabilidades altas a muy altas. Los depósitos fluviales poseen relativamente poca extensión y espesor, y están conectados hidrogeológicamente con los acuíferos sobre los cuales se encuentran (Pereyra et al., 2005).
- Basamento hidrogeológico aflorante en los cerros. El mismo presenta en los niveles más superficiales zonas meteorizadas o fracturadas que permiten la circulación o eventual acumulación de agua. Las aguas de estas zonas pueden infiltrarse en los acuíferos porosos (Pereyra et al., 2005).

Con respecto a la calidad de agua de las aguas subterráneas presentes en el área de estudio, se ha encontrado muy poca o nula información. Asimismo, se estima que los cursos de agua superficial menores expuestos a fuentes de contaminación antropogénicas son los más afectados, dado a que los mismos presentan menor capacidad de dilución de los contaminantes. Esto puede repercutir sobre los cuerpos de agua subterráneos, siempre teniendo en cuenta distintos factores como la permeabilidad del suelo, el tipo de contaminación, entre otros.

4.2. Medio social y económico

Además de las condiciones naturales del entorno, debe considerarse las características socio económicas de la población local, las cuales serán desarrolladas en este apartado.

El municipio de San Carlos de Bariloche cuenta con una población de 112.887 habitantes (conforme los datos del Censo Nacional del año 2010), a lo largo de las 27.470 hectáreas de extensión del ejido. El área que, según criterios catastrales y dotación mínima de infraestructuras, puede considerarse urbanizada alcanza las 8.050 hectáreas, con 172,5 kilómetros de perímetro, y una densidad media de 16,14 hab./ha, concentrándose el mayor índice en el casco urbano y el menor en la zona Oeste (MSCB, 2015).

Esta mancha urbana extendida, caracterizada por la baja densidad habitacional y el crecimiento discontinuo, ofrece casi 60 km de borde sobre el Lago Nahuel Huapi en el límite norte, mientras que hacia el resto de direcciones se establece un mayor perímetro de contacto con áreas naturales en diferentes estados de conservación y en estrecha relación con el PNNH (MSCB, 2015).

A comienzos de los años sesenta, y durante treinta años, la población de la ciudad aumentó vertiginosamente, duplicando las tasas de crecimiento provincial y triplicando las tasas nacionales (Matossian, 2015). En la actualidad, Bariloche es la que presenta mayor concentración urbana de la región andino-patagónica.

Asimismo, en las últimas décadas, la región ha experimentado una nueva aceleración en la tasa de ocupación y uso intensivo de las tierras, con una creciente y poco controlada presión sobre los ecosistemas naturales.

Dado el crecimiento de la ciudad y su importancia regional, la misma ha actuado como elemento de atracción y aglomeración de población procedente de otros lugares de la provincia y de la región (Pereyra et. al, 2005).

Las principales actividades que se llevan a cabo en la ciudad son de tipo terciario (comercio, servicios, transporte, etc.). Las actividades secundarias (manufacturas, pequeña industria y artesanías) llegan casi al 10%. Este porcentaje se ha incrementado en los últimos años,

teniendo en cuenta el surgimiento del Parque Tecnológico Productivo (PTP) y otros emprendimientos afines. Las actividades primarias (producción de productos primarios), por último, representan una mínima fracción. Los tres tipos de actividades están dirigidos especialmente a la actividad turística. Sin embargo, las actividades relacionadas al desarrollo científico-tecnológico comienzan a tener más peso en la economía local (MSCB, 2011).

4.3. Riesgos naturales

Numerosos peligros naturales se hallan en la región, la cual exhibe una marcada fragilidad frente a acciones antrópicas. Las inundaciones y la inestabilidad de pendientes (incluyendo avalanchas de nieve, deslizamientos, flujos de detritos y caídas de rocas) constituyen los principales factores de peligrosidad natural. Otros factores son la erosión hídrica y eólica; vulcanismo y los terremotos. La degradación del paisaje, de la vegetación y de los suelos, junto con los incendios y contaminación de aguas y suelos aparecen como los principales peligros de tipo mixto (MSCB, 2011).

En la actualidad las zonas del faldeo del cerro Otto, cuenca inferior del arroyo Ñireco, y la pampa de Huenuleo son los sectores en los cuales se presentan los mayores problemas geoambientales. Los aspectos centrales son: 1) altas pendientes, 2) materiales superficiales heterogéneos y poco consolidados, 3) vegetación natural degradada, 4) afloramientos rocosos fuertemente meteorizados, 5) activa morfogénesis, 6) condiciones climáticas y 7) alto grado de intervención antrópica.

Con respecto a riesgos naturales asociados al tratamiento de efluentes *in situ*, el área de estudio comprende algunas zonas con moderado riesgo de ascensos freáticos tras importantes precipitaciones, sobre todo en las zonas de mallines y pequeñas lagunas ubicadas en el paisaje erosivo-depositacional glaciario. Asimismo, los sectores que se encuentran localizados en las zonas aledañas a los arroyos Ñireco, Gutiérrez, Goye y Casa de Piedra, así también como en el faldeo norte del cerro Otto, son más proclives a sufrir riesgos por anegamiento (esencialmente por desbordes).

4.4. Condiciones de tratamiento y aspectos técnicos

Como se mencionó anteriormente, en San Carlos de Bariloche, aquellos domicilios que actualmente no cuentan con servicio de cloacas dependen de sistemas descentralizados o *in situ* para la disposición y el tratamiento de sus efluentes (sección 2.3.). Los mismos pueden contar de distintos tipos o etapas de tratamiento (primario, secundario, entre otros).

En primer lugar, se define como tratamiento primario a los procesos físico- químicos por los cuales se produce la remoción de una fracción significativa de sólidos sedimentables y en suspensión. Asimismo, otro objetivo de esta etapa es la remoción de no más del 50 % de la

DBO₅. El tratamiento secundario, por otro lado, consiste en una serie de procesos biológicos de asimilación y estabilización de la materia orgánica, reduciendo al máximo la DBO₅ del efluente. Esto se logra mediante procesos de oxidación química y de biomasa. Tanto el tratamiento primario como secundario pueden ser complementados por un pretratamiento y un tratamiento terciario. En el primero se busca remover sólidos de gran tamaño que puedan ocasionar obstrucciones en el sistema. En el segundo, se obtiene un efluente con menor carga orgánica y se remueven buena parte de los nutrientes (como el P, a partir de precipitación química), con la posibilidad de aplicación para otros usos (ej. para riego) (Mariñelarena, 2006).

Los sistemas de tratamiento de efluentes *in situ* normalmente implementados constan principalmente por dos secciones o etapas, componiéndose típicamente por un tratamiento primario y luego secundario. Las secciones por las que se compone son, en primer lugar, la cámara séptica (puede ser más de una), y en segundo lugar el lecho de infiltración (uno o más).

La cámara séptica tiene como función retener y digerir parcialmente el material orgánico sólido más grueso. La misma actúa en primera instancia como un sedimentador y luego como una unidad para la biodigestión y/o para el almacenamiento de lodos. Los tanques deben ser impermeables, herméticos y tener colocadas también en forma correcta las acometidas de entrada y salida (DPA, 2016).

En el lecho de infiltración (también llamado lecho nitrificante o terreno de infiltración) se distribuyen los líquidos en un área amplia de suelo, en la que imperan las condiciones aeróbicas, filtrando y completando la depuración de las aguas residuales (tratamiento secundario) (figura 5).

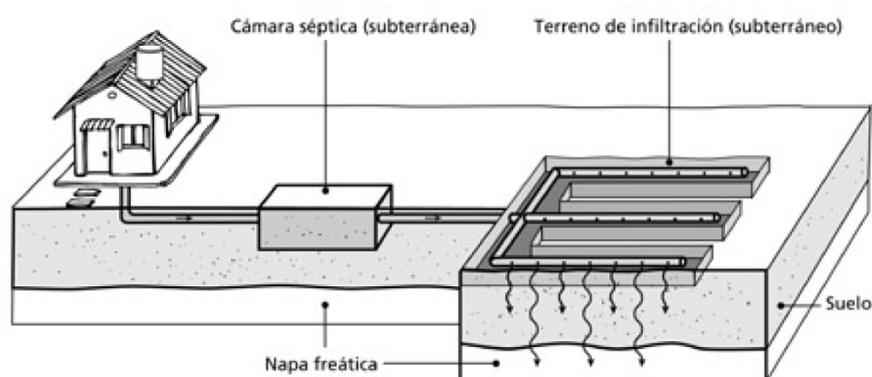


Figura 5. Sistema de tratamiento domiciliario compuesto por una cámara séptica y un terreno de infiltración. Fuente: (Mariñelarena, 2006).

A continuación, en la tabla 6 se detallan las concentraciones medias de contaminantes presentes en los efluentes cloacales provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*, diferenciando entre el sistema de tratamiento primario (cámara séptica convencional) y el secundario (lecho de infiltración).

Parámetro	Cámara séptica convencional	Sistema de tratamiento secundario
Coliformes fecales	2.1 millones/100 ml	73.000/100 ml
Fósforo total (mg P/l)	18.6	13.5
Nitrógeno total (mg N/l)	112.7	72.9
DBO ₅ (mg/l)	150 - 500	20 - 50
Formación de lodos (L/persona/año)	50 - 60	

Tabla 6. Concentraciones medias típicas de efluentes provenientes de sistemas de tratamiento in situ. Fuente: Elaboración propia a partir de (EPA, 2012); (Auckland, 2021).

Asimismo, en la tabla 7 se muestran, para distintas concentraciones aplicadas, el porcentaje de remoción estimado para algunos de los parámetros considerados en la tabla 6.

Parámetro	Concentración aplicada	Porcentaje de remoción (%)
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	-	99 - 99,99
Fósforo (mg P/l)	8 - 12	85 - 95
Nitrógeno (mg N/l)	45 - 55	10 - 40
DBO ₅ (mg/l)	130 - 150	90 - 98

Tabla 7. Porcentaje de remoción de distintos parámetros en sistemas de tratamiento in situ. Fuente: Elaboración propia a partir de (EPA, 2002).

Como se puede observar en la tabla 7, los porcentajes de remoción son mayores para componentes como los coliformes fecales y la DBO₅, no así para los nutrientes, siendo menor el porcentaje de remoción para el nitrógeno.

El monitoreo de aguas subterráneas por debajo de lechos de infiltración adecuadamente ubicados, diseñados, construidos y operados ha demostrado que la DBO₅, los sólidos en suspensión (TSS), los indicadores fecales, los metales y los tensioactivos pueden ser eliminados efectivamente en los primeros metros de profundidad de suelo en condiciones no saturadas y aeróbicas. El fósforo y los metales pueden eliminarse mediante adsorción, intercambio iónico y reacciones de precipitación, pero la capacidad del suelo para retener estos iones es finita y varía según la mineralogía del suelo, el contenido de materia orgánica, el pH, el potencial de óxido-reducción y la capacidad de intercambio catiónico (EPA, 2002).

Cada vez hay más pruebas de que algunos tipos de virus pueden lixiviar con los efluentes desde los sistemas de infiltración a las aguas subterráneas. Sin embargo, su eliminación aumenta debido a tiempos de retención largos, en suelos de textura fina y con cargas hidráulicas bajas, subsuelos aeróbicos, entre otros factores (EPA, 2002).

Los sistemas de infiltración de aguas residuales afectan a la calidad de aguas subterráneas y, por lo tanto, pueden afectar a la calidad de las aguas superficiales (en zonas con corrientes ascendentes, zonas con suelos macroporosos, o regiones costeras). Los estudios han demostrado que después de que el efluente percolado y tratado ingresa al agua subterránea, este puede permanecer en forma de penacho hasta varios metros de profundidad. En este caso, la atenuación de la concentración de soluto depende, entre otros factores, de la cantidad de recarga natural y de la distancia recorrida desde la fuente (EPA, 2002).

Los riesgos para la salud pública y el medio ambiente derivados de sistemas de tratamiento *in situ* adecuadamente situados, diseñados, construidos e implementados parecen ser bajos. Sin embargo, los suelos con una permeabilidad excesiva (suelos de textura gruesa o suelos con poros grandes y continuos), bajo contenido de materia orgánica, bajo pH, baja capacidad de intercambio catiónico, bajo potencial de reducción del oxígeno, alto contenido de humedad y bajas temperaturas pueden reducir la capacidad de dilución del contaminante, y por lo tanto, aumentar los riesgos para la salud y el medio ambiente en determinadas circunstancias (EPA, 2002).

A continuación, se explicará con mayor detalle las etapas del sistema de tratamiento domiciliario antes mencionado (figura 5).

Primera etapa: Cámara séptica

La cámara séptica es un compartimento hermético que funciona siempre lleno, por rebalse. El agua residual que entra a la cámara lleva sólidos pesados, que se depositan en el fondo formando una capa de lodo, y sólidos livianos que flotan y generan una costra en la superficie del agua. Entre una y otra capa queda una fase líquida. En la cámara se retiene hasta el 80 % de los sólidos que arrastra el agua residual, consistiendo de un tratamiento primario, donde predominan condiciones anaeróbicas. Los sólidos son parcialmente digeridos por las bacterias que allí se desarrollan (figura 6). Entonces, la velocidad de digestión depende fuertemente de las condiciones anaeróbicas y la temperatura, la cual va tender a ser cercana a la temperatura media anual en superficie. En el área de estudio esta temperatura se encuentra típicamente entre 7 - 8 °C (temperatura media anual), pudiendo ser menor en sitios a mayor altitud. Esto produce que los tiempos de digestión sean típicamente lentos. Por lo tanto, la altitud es un factor que también limita significativamente la digestión debido a que, a mayor altitud, nos alejamos de la temperatura óptima de digestión (por encima de los 20 °C) (Acosta & Obaya Abreu, 2005).

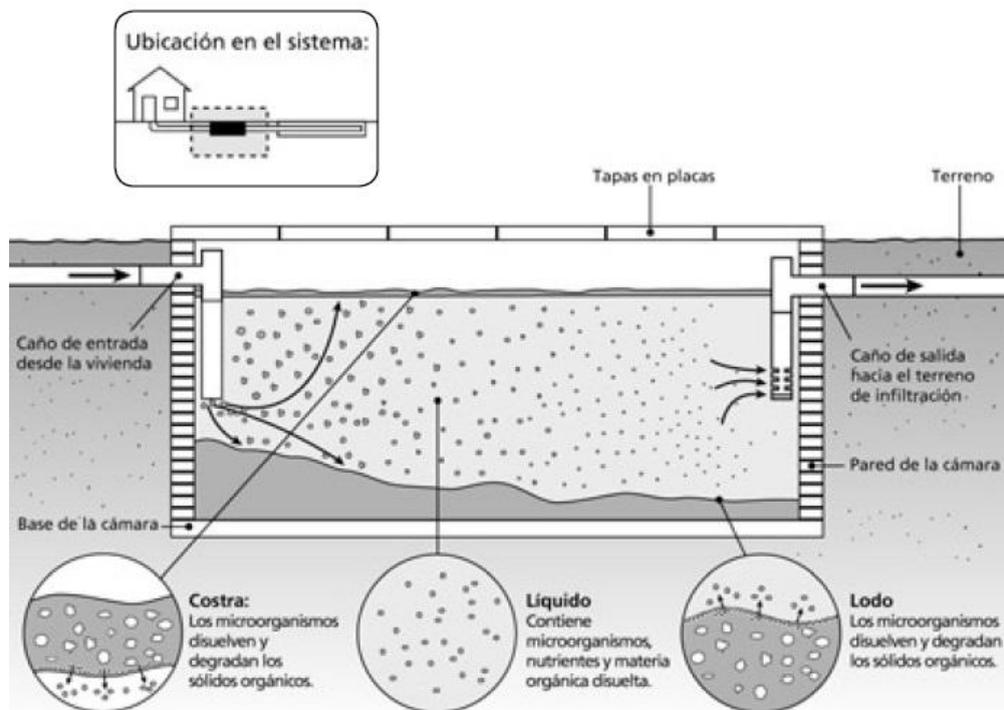


Figura 6. Funcionamiento de la cámara séptica dentro de un sistema domiciliario de efluentes. Fuente: (Mariñelarena, 2006).

Segunda etapa: Lecho de infiltración

El agua residual que sale de la cámara séptica pasa al lecho de infiltración. Este consiste típicamente en una red de caños perforados, colocados en zanjas rellenas con material poroso (que puede ser grava, escombros o piedra partida) y tapadas con tierra. El agua sale por las perforaciones de los caños y pasa a través del material de relleno donde colonias de microorganismos absorben y digieren los contaminantes, en condiciones mayormente aeróbicas. Finalmente llega al fondo de las zanjas y penetra en el suelo. El suelo funciona como un filtro que retiene y elimina partículas muy finas (Mariñelarena, 2006). La flora bacteriana que crece sobre las partículas de tierra, absorbe y se alimenta de las sustancias disueltas en el agua (figura 7).

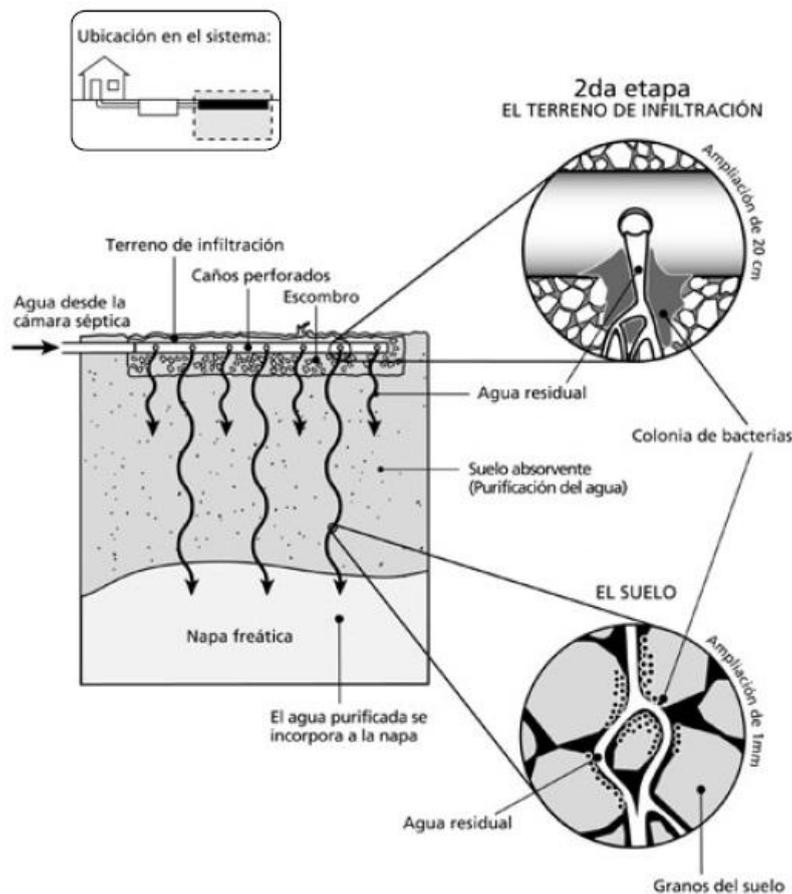


Figura 7. Funcionamiento del terreno de infiltración dentro de un sistema domiciliario de efluentes. Fuente: (Mariñelarena, 2006).

Cabe destacar la importancia de mantener las condiciones aeróbicas en esta etapa de tratamiento, porque esto permite atenuar de manera efectiva el proceso de contaminación antes de que alcance la zona saturada o napa freática.

En algunos casos, las aguas residuales de las viviendas se vuelcan en pozos absorbentes, también conocidos como pozos ciegos o negros. Éstos no siempre funcionan correctamente, debido a que tienden a impermeabilizarse con grasas y jabones y pierden su capacidad de tratamiento. Los mismos se deben vaciar frecuentemente con el servicio de un camión atmosférico y tienden a representar un riesgo alto a la salud humana por contaminación de aguas superficiales y subterráneas en las cercanías (Mariñelarena, 2006).

Además, existe una gran variedad de procesos y sistemas de tratamiento utilizados típicamente para el tratamiento *in situ* de efluentes domiciliarios, los cuales se detallan en la figura 8.

Treatment objective	Treatment process	Treatment methods
Suspended solids removal	Sedimentation	Septic tank Free water surface constructed wetland Vegetated submerged bed
	Filtration	Septic tank effluent screens Packed-bed media filters (incl. dosed systems) Granular (sand, gravel, glass, bottom ash) Peat, textile Mechanical disk filters Soil infiltration
Soluble carbonaceous BOD and ammonium removal	Aerobic, suspended-growth reactors	Extended aeration Fixed-film activated sludge Sequencing batch reactors (SBRs)
	Fixed-film aerobic bioreactor	Soil infiltration Packed-bed media filters (incl. dosed systems) Granular (sand, gravel, glass) Peat, textile, foam Trickling filter Fixed-film activated sludge Rotating biological contactors
	Lagoons	Facultative and aerobic lagoons Free water surface constructed wetlands
Nitrogen transformation	Biological Nitrification (N) Denitrification (D)	Activated sludge (N) Sequencing batch reactors (N) Fixed film bio-reactor (N) Recirculating media filter (N, D) Fixed-film activated sludge (N) Anaerobic upflow filter (N) Anaerobic submerged media reactor (D) Submerged vegetated bed (D) Free-water surface constructed wetland (N, D)
	Ion exchange	Cation exchange (ammonium removal) Anion exchange (nitrate removal)
Phosphorus removal	Physical/Chemical	Infiltration by soil and other media Chemical flocculation and settling Iron-rich packed-bed media filter
	Biological	Sequencing batch reactors
Pathogen removal (bacteria, viruses, parasites)	Filtration/Predation/Inactivation	Soil infiltration Packed-bed media filters Granular (sand, gravel, glass bottom ash) Peat, textile
	Disinfection	Hypochlorite feed Ultraviolet light
Grease removal	Flotation	Grease trap Septic tank
	Adsorption	Mechanical skimmer
	Aerobic biological treatment (incidental removal will occur; overloading is possible)	Aerobic biological systems

Figura 8. Procesos de tratamiento comúnmente utilizados para el tratamiento in situ de efluentes, con sus respectivos métodos de tratamiento. Fuente: (EPA, 2002).

4.5. Marco normativo

A continuación, se presenta el marco jurídico ambiental y social aplicable, a nivel internacional, nacional, provincial y municipal para la localidad de San Carlos de Bariloche, el cual enmarca la temática abordada en este PFI

4.5.1. Normativa nacional

Constitución Nacional

→ **Artículo 41.** Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

→ **Artículo 124.** Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio. Esto incluye a los recursos hídricos.

Leyes nacionales y decretos reglamentarios

- **Ley N° 25.675/02.** Ley General del Ambiente: Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sostenible en Argentina. Establece los instrumentos de la política y la gestión ambiental.
- **Ley N° 25.688/02.** Régimen de Gestión de Aguas. Define distintas formas de utilización de agua dentro del territorio nacional. Asimismo, en el Art. 7 establece los deberes de la autoridad de aplicación: a) Determinar los límites máximos de contaminación aceptables para las aguas de acuerdo a los distintos usos; b) Definir las directrices para la recarga y protección de los acuíferos; c) Fijar los parámetros y estándares ambientales de calidad de las aguas.

Normativa de Administración de Parques Nacionales (APN)

El "Reglamento de construcciones para los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales" tiene por objeto formular las prescripciones básicas referentes a

cualquier construcción que implique ocupar terreno natural o afectar su estructura superficial, en áreas bajo jurisdicción de la APN.

En el apartado 3.6.4 de “Eliminación de aguas servidas” dentro del apartado de “Instalaciones sanitarias”, este reglamento cita: “En las zonas sin red colectora es obligatoria la ejecución de instalación para el vertido de aguas servidas, mediante sistema estático para la disposición final de los efluentes, quedando expresamente prohibido su vertido a terreno natural sin tratamiento ni a cursos o espejos de agua en forma alguna”. Asimismo, en estos casos el sistema externo para el tratamiento de aguas servidas deberá contar con los siguientes elementos: a. Cámara de inspección, b. Cámara séptica (dimensionada según los valores de tabla), c. Lecho nitrificante o zanja drenante, d. Pozo absorbente (en caso de que no resulte posible la ejecución de lecho nitrificante o como complemento del mismo) y, e. planta depuradora (cuando se requiera efectuar instalaciones de tratamiento de mayor complejidad) (APN, 2020).

4.5.2. Normativa provincial

Constitución provincial de Río Negro

- **Artículo 70.** La Provincia tiene la propiedad originaria de los recursos naturales existentes en el territorio, su subsuelo, espacio aéreo y mar adyacente a sus costas.
- **Artículo 71.** Son de dominio del Estado las aguas públicas ubicadas en su jurisdicción, que tengan o adquieran aptitud para satisfacer usos de interés general.
- **Artículo 84.** Todos los habitantes tienen el derecho a gozar de un medio ambiente sano, libre de factores nocivos para la salud, y el deber de preservarlo y defenderlo.

Leyes provinciales y decretos reglamentarios

- **Ley N° 2.391/90.** Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales (CoCaPRHi). Gestión de desagües industriales.
- **Decreto N° 1894/91.** Reglamento sobre Control de Calidad y Protección de los Recursos Hídricos Provinciales.
- **Ley N° 2.952/95.** Código de Aguas para la Provincia de Río Negro. El tratamiento y la disposición final de desagües cloacales individuales o colectivos quedan sujetos al DPA.
- **Ley N° 3.183/97.** Prestación de los servicios de agua potable, desagües cloacales, riego y drenaje en la Provincia de Río Negro.

Los propietarios, consorcios de propietarios, poseedores y tenedores de inmuebles que no posean conexión a la red cloacal, estarán obligados a instalar a su cargo los servicios domiciliarios internos de agua potable y desagüe cloacal, la distribución interna o parcelaria de agua para riego y a mantener en buen estado de funcionamiento las instalaciones.

- **Ley N° 3.309/99.** Autorízase al Poder Ejecutivo a constituir una Sociedad Anónima bajo la denominación "Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima" (A.R.S.A.), con el objeto de la prestación y explotación de los servicios públicos de colección, transporte, tratamiento y disposición final de aguas servidas, agua potable, agua para riego, entre otros.

Normativa del DPA

- **Resolución 885/15.** Tipificación de actividades alcanzadas por la Ley N° 2.952. Límites de parámetros de vuelco de aguas residuales a cuerpos de agua receptores, en colectores e infiltración subsuperficial.
- **Resolución 1.763/07.** Condiciones máximas permitidas de vuelco de los parámetros Nitrógeno total y Fósforo total (10 mg/L NT y 0,5 mg/L FT) aplicables al cuerpo receptor LNH y sus afluentes.
- **Guía de "Consideraciones para la presentación de tratamiento y disposición de aguas residuales en áreas sin servicio de red cloacal".** Dimensionamiento de cámara séptica, metodología para ensayos de infiltración, diseño y construcción de zanjas de infiltración.

Este documento fue la principal fuente utilizada por la MSCB y el DPA para la confección de la ordenanza municipal N° 2802-CM-16 y su Resolución reglamentaria N° 200-I-18, detalladas en la sección 4.5.3.

4.5.3. Normativa municipal

Carta Orgánica Municipal

- **Artículo 175.** El ambiente es patrimonio de la sociedad; todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano. La MSCB y sus habitantes tienen el deber de preservarlo y defenderlo en resguardo de las generaciones presentes y futuras.
- **Artículo 177.** La MSCB adhiere a la Ley General del Ambiente.

- **Artículo 180.** Funciones municipales en relación con el ambiente. 1) Asegurar la calidad del aire, agua, suelo y subsuelo en su territorio; 2) Promover el uso de tecnologías no contaminantes y alentar tecnologías alternativas que prioricen el uso racional y eficiente de la energía y de los recursos naturales.
- **Artículo 181.** Políticas generales de ambiente (Ej. La prohibición del derrame directo de efluentes cloacales y cualquier otro tipo de productos contaminantes, sobre cuerpos de agua naturales o artificiales).
- **Artículo 182.** Políticas especiales de ambiente (Agua). La MSCB establece las medidas apropiadas para evitar la contaminación de nacientes y cabeceras de ríos y arroyos, y de todo cuerpo de agua.

Ordenanzas municipales y reglamentaciones

- **Ordenanza N° 4-CM-92.** Creación de Comisión Municipal para el tratamiento de líquidos cloacales.
- **Ordenanza N° 1901-CM-09.** Autorizar firma convenios para ejecución de obras de saneamiento, alumbrado público y energía eléctrica con la CEB.
- **Ordenanza N° 2108-CM-10.** Suspensión definitiva de la recepción de desechos cloacales ajenos a la ciudad de S.C de Bariloche en la planta depuradora municipal. Se trataban efluentes provenientes de Villa la Angostura y Dina Huapi, a pesar de que la capacidad de tratamiento de la planta estaba siendo comprometida.
- **Ordenanza N° 2802-CM-16.** Tratamiento previo infiltración de efluentes cloacales.

Se establece la obligación de implementar, de acuerdo a necesidades, características del lugar y tipo de instalación: planta de tratamiento, biodigestor o cámara séptica con lecho absorbente que aseguren el tratamiento previo a la infiltración de efluentes cloacales dentro del ejido urbano de San Carlos de Bariloche, en todas aquellas áreas no servidas por la red cloacal o servidas sin factibilidad.

- **Resolución N° 200-I-18.** Reglamentación de Ordenanza N° 2802-CM-16. Ensayos de infiltración, diseño y dimensionamiento de cámara séptica, lecho de infiltración y depuración.

4.5.4. Análisis de normativa

En la siguiente sección se elaboró una tabla comparativa, considerando normativa internacional y nacional, incluyendo autores de relevancia tales como la Organización

Panamericana de la Salud - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS - CEPIS) , E. Rosales de Escalante (Latinoamérica), A. Mariñelarena (La Plata, Buenos Aires), la MSCB (San Carlos de Bariloche, Río Negro), Consejo Regional de Auckland (Nueva Zelanda), Gobierno de Reino Unido y la EPA (Estados Unidos).

Debe tenerse en cuenta que, dependiendo de los sistemas normativos de los distintos países, estos instrumentos consisten en algunos casos en legislación, en otros, parte de los códigos de edificación/manejo de efluentes, o conforman manuales de buenas prácticas. Por otro lado, esta se basa en algunos casos en normas de institutos de estandarización (por ej. BS6297-2007, AS/NZS 1546).

Las primeras tres normativas fueron consideradas en este análisis debido a que la ordenanza municipal N° 2802-CM-16 y su resolución reglamentaria (N° 200-I-18) están basadas en las mismas. Las normas internacionales (Norteamérica, Oceanía y Europa) fueron seleccionadas por su relevancia a nivel internacional, además de que dichas regiones poseen climas más comparables con el clima de San Carlos de Bariloche.

Los resultados se presentan de forma sintetizada a continuación, en la tabla 8.

Parámetros		Rango de valores
	Dimensionamiento cámara séptica	1000 - 4500 L (4 hab)
Ubicación del sitio de infiltración (distancias)	Cuerpos de agua	10 - 20 m
	Perforaciones de extracción de agua	15 - 50 m
	Límites del terreno	1,5 - 5 m
	Profundidad de napa freática	0,6 - 2 m
	Pendiente máxima de terreno	< 25 %
	Textura de suelo	Evitar arcillas pesadas o expansivas, o arenas finas.
Dimensionamiento del pozo de prueba	Trinchera	No se construye o de 30 - 60 cm de profundidad
	Pozo de prueba	D = 10 - 30 cm y P = 30 - 200 cm

Características del sistema de tratamiento	Preparación del pozo de prueba		Agregado de 5 cm de arena gruesa, grava fina o piedra partida. En varios casos excavar para corroborar ausencia de napa freática.
	Saturación y expansión del suelo		Columna de agua de 0,2 - 0,3 m, por 12 - 24 hs
	Medición de la tasa de infiltración	Columna de agua sobre el material filtrante	15 - 30 cm
		Intervalo de tiempo entre mediciones	5 - 30 min
		N° de pozos	1 - 6
		N° de mediciones por pozo	3 - 8
		Finalización del ensayo	30 - 240 min
	Cálculo de la tasa de infiltración		Promedio de tasas o alturas de infiltración, o la última diferencia de altura registrada
	Dotación diaria		145 L/hab - 250 L/hab (definido por el usuario en casos de uso no estándar)
	Dimensionamiento del lecho	Área	Utilización de un caudal o velocidad de infiltración, dividiendo por una tasa de infiltración, carga basal o carga hidráulica
		Ancho	40 - 450 cm
		Profundidad	50 - 120 cm
		Longitud máxima	30 - 35 m
Longitud mínima		20 m	
	Distancia mínima	1 - 2,1 m	

		entre zanjas.	
Construcción del lecho		Pendiente de las tuberías del lecho	0,5 - 5 %
		Material filtrante debajo de la cañería	15 - 30 cm
		Material filtrante encima de la cañería	15 - 30 cm (Se agrega primero un material filtrante o geotextil, y luego se agrega grava fina o suelo)
		Líneas de distribución/ramales	Mínimo 2
	Máximo de población equivalente (PE) para el tratamiento		No se menciona, salvo en GD06 (Auckland, 2021).
	Permeabilidad de construcción		< 0,06 m/d

Tabla 8. Comparación de normativas internacionales y nacionales de la temática de tratamiento in situ de efluentes. Fuente: Elaboración a partir de (Zárata, 2019), (OPS - CEPIS, 2003), (Rosales Escalante, 2003), (Rosales Escalante, 2005), (Mariñelarena, 2006), (MSCB, 2018), (Auckland Regional Council, 2004), (Auckland Regional Council, 2021), (UK Government, 2002) y (EPA, 2002).

La tabla 8 busca señalar las diferencias que presentan las normativas, teniendo en cuenta parámetros relacionados al diseño y construcción de un sistema de tratamiento *in situ* de efluentes. Las similitudes entre algunas normativas nos muestran a algunas como fuentes de información de otras. Asimismo, se observan dos tipos de normativas muy claras, siendo el primer grupo los autores que consideran al ensayo de infiltración como prueba preliminar para obtener una tasa o coeficiente de infiltración, a partir del cual se dimensiona y diseña el sistema de infiltración. El segundo grupo, por otro lado, utiliza la metodología de análisis de perfiles de suelo, para determinar el tipo de suelo a infiltrar y así diseñar el sistema de tratamiento. Este segundo grupo de normativas no consideran adecuado la implementación de ensayos de infiltración. Por ejemplo, en la norma TP 58 (Auckland, 2004) se menciona el uso de ensayos de infiltración como un procedimiento que puede complementar a la evaluación de tipo de suelo, pero no puede ser el único criterio utilizado para el diseño de sistemas de tratamiento *in situ*. De acuerdo a la EPA (2002), se ha encontrado que la textura y la estructura del suelo se correlaciona mejor con la tasa de infiltración del efluente de las fosas sépticas domésticas, que en el caso de aplicar ensayos de infiltración.

Asimismo, se pueden observar diferencias significativas entre las normativas, con respecto a algunos parámetros. Por ejemplo, en el caso del dimensionamiento de las cámaras sépticas, estas pueden variar entre 1.000 L y 4.500 L para cuatro personas, dependiendo del cálculo de capacidad realizado (teniendo en cuenta tiempo de residencia y acumulación de sólidos) dependiendo la tasa de consumo de agua de cada región o país. También se destacan rangos de valores de gran amplitud en parámetros como la distancia del sistema con respecto a perforaciones de extracción de agua, profundidad del pozo de prueba, intervalo de tiempo entre mediciones, N° de pozos para ensayo de infiltración y cantidad de mediciones por cada uno de los mismos; tiempo transcurrido para finalizar el ensayo, entre otros factores.

Con respecto a la población equivalente (PE) máxima a tener en cuenta para los sistemas de tratamiento domiciliarios e *in situ*, este parámetro actualmente no es considerado como relevante en la mayoría de las normativas analizadas. Únicamente se menciona en el documento GD06 (Auckland, 2021), donde se considera como PE a una cantidad de 15 personas para sistemas de tratamiento con caudales de hasta 3.000 L/día (3 m³/día).

Por último, cabe destacar que algunas normativas como la de Nueva Zelanda y la EPA consideran el reuso/reutilización de efluentes, particularmente aguas grises (ej. para riego, o sistemas de refrigeración) y el uso de baños secos, algo que destaca por sobre la normativa nacional. Además, en estos casos se norman sistemas de tratamiento alternativos, que pueden implementarse en caso de que el escenario estándar (cámara séptica y lecho de infiltración) no satisfaga los criterios establecidos, como por ejemplo tratamientos aeróbicos, lechos en superficie, entre otros.

Con respecto a la ordenanza municipal N° 2802-CM-16, cuya resolución reglamentaria (N° 200-I-18) fue contemplada en este análisis comparativo, la misma está basada en la guía de “Consideraciones para la presentación de tratamiento y disposición de aguas residuales en áreas sin servicio de red cloacal” del DPA. A su vez, esta guía se basa en bibliografía considerada en la matriz comparativa, como lo son los documentos “¿Cómo hacer ensayos de infiltración?” (Rosales Escalante, 2003) y el “Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias” (Mariñelarena, 2006) y “Especificaciones Técnicas para el Diseño de Zanjas y Pozas de Infiltración” (OPS - CEPIS, 2003). Se debe destacar que las condiciones climáticas de las regiones en las que se basan estas normativas (clima templado) no poseen grandes similitudes con el clima de San Carlos de Bariloche (clima frío). Con respecto al dimensionamiento de cámaras sépticas, la normativa contempla una dotación (asociado a un tiempo de residencia), pero no tiene en cuenta como factor la acumulación de sólidos (formación de lodos que ocupan un volumen). Asimismo, es necesario resaltar que no se ha podido encontrar la fuente de ciertos aspectos incluidos en esta norma. Por ejemplo, el número de ensayos de infiltración a realizar, la utilización de un caño de 25 cm de diámetro para estos ensayos, la utilización de cañerías de infiltración con

ranuras en el tercio superior, el uso de material de infiltración con un diámetro o superficie específica determinados, entre otros aspectos. Estos aspectos son distintos a lo planteado por las normativas evaluadas.

Haciendo referencia a la normativa sobre sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes implementadas en otras provincias argentinas, se puede destacar el caso de la Provincia de Buenos Aires, la cual posee el Decreto N° 2.923/49. El mismo reglamenta la Ley N° 5.376/49, la cual establece que, en casos donde un domicilio no cuente con conexión a la red cloacal, debe implementar determinados dispositivos de tratamiento primario y secundario del efluente. El decreto, por su parte, está basado en información de la Universidad de Cornell, de Nueva York y los Public Health Reports (PHR) de Estados Unidos. En el mismo se establecen características generales y dimensionamiento de los distintos dispositivos de tratamiento (ej. cámara séptica), como así también medidas de limpieza de los mismos. No se ha podido encontrar normativa relevante de otras provincias, con respecto a la temática de sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes.

4. 6. Marco institucional y social

4.6.1. Análisis de actores clave

Se pueden identificar varios actores o grupos clave relacionados con la temática de tratamiento de efluentes cloacales de origen domiciliario. Cada uno de ellos tiene una funcionalidad o cumple un rol específico para la temática. A continuación, en la tabla 9, se desarrollan las funciones/rol de cada uno de los actores involucrados, aportando comentarios de relevancia.

Actor	Funciones	Comentarios
Aguas Rionegrinas S.E.	Empresa estatal que presta servicio de agua potable y cloacas a la provincia de Río Negro.	Autoridad provincial
APN - Intendencia PNNH -	APN diseña, conduce y controla la ejecución de las políticas necesarias para conservar y manejar los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales existentes actualmente y las que se incorporen, con el objeto de asegurar el mantenimiento de su integridad en todo lo	Jurisdicción sobre área que ocupa el PPNH (adyacente al ejido de S.C. de Bariloche).

	<p>relacionado con sus características fisiográficas, asociaciones bióticas, recursos naturales y calidad ambiental de los asentamientos humanos.</p> <p>La intendencia del PNNH tiene como principal objetivo la conservación y administración de este Parque Nacional y sus recursos.</p>	
<p>CEB - Dirección de Saneamiento -</p>	<p>Cooperativa proveedora de servicios de energía eléctrica, saneamiento, salud primaria, sepelios, entre otros en la ciudad de San Carlos de Bariloche. La Dirección de Saneamiento de la CEB tiene como misión la recolección, el transporte y el tratamiento de los desagües cloacales.</p>	<p>Tratamiento de efluentes domiciliarios (con conexión a cloacas).</p>
<p>DPA</p>	<p>Responsable del manejo integral del agua en la Provincia de Río Negro. Realiza tareas de control de concesiones, autorizaciones y servicios por servicios de riego, abastecimiento de agua potable y saneamiento, planificación y ejecución de obras hidráulicas y sanitarias, control de la calidad y protección de los recursos hídricos, y procesamiento de información relacionada a variables climáticas e hídricas, entre otras actividades.</p>	<p>Autoridad sobre cuerpos de agua de la ciudad de San Carlos de Bariloche (ej. LNH)</p> <p>Responsabilidad sobre efluentes de origen comercial e industrial.</p>
<p>Juntas vecinales</p>	<p>Asociaciones civiles y autoridades que son representativas de las personas que residen en un mismo barrio. Las juntas vecinales aseguran el cumplimiento de los derechos de los vecinos y promueven el desarrollo del territorio que representan.</p>	<p>A cargo del suministro de agua potable en algunas juntas. A la fecha no tienen un rol específico con respecto al tratamiento de efluentes cloacales.</p>
<p>MSCB - Subsecretaría de Ambiente -</p>	<p>Autoridad máxima de San Carlos de Bariloche, con la finalidad de cumplir lo establecido en la Carta Orgánica Municipal. Posee distintos ejes de trabajo, de los cuales podemos destacar la</p>	<p>Autoridad ambiental a nivel local</p> <p>Fiscaliza el tratamiento de</p>

	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Urbano (SADU), encargada de promover las políticas públicas adoptadas para la correcta conservación del medio ambiente. También se destaca la Subsecretaría de Planeamiento y Sustentabilidad Urbana, dependiente de la anterior.	efluentes cloacales de origen residencial
Prov. de Río Negro - Secretaria de Ambiente y Cambio Climático	Máxima autoridad ambiental de Río Negro. Encargada de la protección de recursos naturales de la provincia y control de actividades causantes de impactos ambientales.	

Tabla 9. Actores clave relacionados a la temática de tratamiento de efluentes en San Carlos de Bariloche.

Como se observa en la tabla 9, existe una gran diversidad de actores involucrados, ya sea de forma directa como indirectamente, en el tratamiento de efluentes domiciliarios en la ciudad de San Carlos de Bariloche. En el caso de la CEB, la institución es responsable del tratamiento de efluentes por medio de la recolección de efluentes y tratamiento en la planta depuradora, siendo encargada del manejo y tratamiento de efluentes provenientes de la red cloacal existente.

A nivel provincial, el responsable de la provisión de los mismos servicios es la empresa Aguas Rionegrinas S.E. Además, el Departamento Provincial de Aguas es el ente regulador sobre los cuerpos hídricos que se encuentran dentro de la provincia, teniendo también responsabilidad sobre el control de generadores de efluentes de gran caudal o con características especiales (ej. industrias y comercios) en la ciudad. Las juntas vecinales, por otro lado, cumplen un rol significativo en la aceptación social de las decisiones tomadas por las autoridades locales.

Cabe destacar que cada jurisdicción (ejido municipal, provincia, APN) posee su propia normativa que debe tenerse en cuenta a la hora de realizar el diagnóstico. Las normativas de mayor relevancia fueron detalladas en el apartado anterior. Asimismo, cada actor tiene mayor o menor autoridad por sobre los otros, por lo que estarán más o menos involucrados en la toma de decisiones o acciones a implementar para la mejora del sistema de tratamiento de efluentes local. Este aspecto también se tuvo en cuenta a la hora de realizar entrevistas a referentes institucionales.

4.6.2. Entrevistas a referentes institucionales

En función de los actores e instituciones claves relacionados a la temática descritos en la sección anterior, se ha seleccionado a profesionales de aquellas instituciones cuya responsabilidad se encuentra englobada dentro del alcance de este PFI. Dichos profesionales fueron seleccionados en función del grado de conocimiento que tienen sobre la temática abordada, entre otros factores (tabla 10).

Institución	Profesional/es entrevistados
Departamento Provincial de Aguas	Florencia Fasani y Paula Fortunato
MSCB - Secretaría de Ambiente y Desarrollo Urbano -	Maria Agustina Cotelo
APN - Intendencia Parque Nacional Nahuel Huapi -	Axel Lehr
CEB - Dirección de Saneamiento -	Fernando Martin

Tabla 10. Referentes institucionales entrevistados.

A continuación, se hace un breve escrito sobre las respuestas y conclusiones obtenidas a partir de cada una de las entrevistas. Las preguntas realizadas a cada profesional entrevistado se encuentran detalladas en el Anexo I del presente documento.

Entrevista a Florencia Fasani y Paula Fortunato (DPA)

El encuentro se realizó de forma virtual el día martes 5 de abril de 2022 a las 9 hs, llegando a las conclusiones que se desarrollan a continuación.

Durante el desarrollo de la entrevista, las referentes definieron con claridad los casos en los cuales el DPA tiene responsabilidad sobre el tratamiento de efluentes *in situ*. Se destacan tres casos generales donde la institución interviene:

- Industrias y comercios ubicados dentro del ejido municipal de San Carlos de Bariloche.
- Industrias y comercios incipientes en el municipio de Dina Huapi (acompañamiento e intervención, además de la generación de una base de datos para la elaboración de una futura normativa sobre el tratamiento de efluentes *in situ*).
- Viviendas colectivas donde la carga habitacional es grande y se requiere la implementación de sistemas de tratamiento de efluentes más complejos (ej. plantas de tratamiento).

En el último caso, se llegó a un consenso con la MSCB sobre en qué casos tiene cada uno responsabilidad, quedando esto plasmado en la ordenanza municipal 2802-CM-16. A lo largo de la entrevista se hizo hincapié en el último caso mencionado, debido a que hace referencia a efluentes de origen domiciliarios, quedando enmarcada la entrevista dentro del alcance de este PFI.

Sobre la nueva ordenanza municipal, se realizaron preguntas con respecto a su elaboración, escenarios hipotéticos de tratamiento y propuestas de mejora de la misma, comparándola con normativa del DPA relacionada. De estas preguntas surgen las siguientes reflexiones:

- a) Existe una gran similitud entre la nueva ordenanza municipal y la reglamentación provincial de esta institución, salvo por aspectos específicos.
- b) Se considera que la nueva ordenanza es completa y con presentación didáctica. Se considera que se estandarizó la metodología para realizar ensayos de infiltración y facilitar evaluaciones. Asimismo, se estableció bien la diferencia entre uso residencial vs. industrial/comercial, vivienda individual vs. colectivas, y en cada caso a qué jurisdicción pertenece.
- c) Se propone como mejoras de esta ordenanza y su resolución reglamentaria los siguientes puntos:
 - 1) Se propone una zonificación de las tasas de infiltración, para ya saber un valor a priori. Teniendo en cuenta que dicha zonificación sea general, ya que en un mismo terreno la tasa puede variar mucho (dada la heterogeneidad que presentan los suelos y sustratos geológicos en Bariloche).
 - 2) Establecer una distancia mínima con respecto a cuerpos de agua para la ubicación de sistemas de tratamiento *in situ*, considerando aspectos como la pendiente del terreno.

- 3) Que la normativa esté abierta a nuevas propuestas tecnológicas para tratamiento (considerando su evaluación previa).

Con respecto a escenarios que pueden presentar problemáticas con respecto a los sistemas de tratamiento *in situ*, se mencionaron los siguientes:

a) Terrenos que presentan mucha pendiente

Para estos casos se recomienda construir el sistema de tratamiento perpendicular a la pendiente, aumentando al máximo la longitud de la superficie de infiltración y buscando compensar esa pendiente.

En estos casos también se sugiere el reuso de aguas residuales (con tratamiento previo), por ejemplo, para riego. La finalidad de esta acción sería reducir el volumen de disposición y, por lo tanto, la superficie de infiltración (nota: esto es únicamente aplicable en climas más áridos de la provincia, donde se puede realizar riego todo el año, lo cual no es el caso en San Carlos de Bariloche).

b) Terrenos con napa freática alta o con tasa de infiltración muy baja (< 2 min/cm).

Se establece una distancia mínima de 2 m entre superficie de infiltración y el nivel freático. Sin embargo, muchas veces esto no se constata porque implica muchos costos y el uso de maquinaria.

Para los casos donde la napa freática esté muy elevada o el coeficiente de infiltración supera el máximo reglamentado, se recomienda no infiltrar. Asimismo, se sugiere no intervenir sobre las condiciones naturales del terreno (ej. drenando).

Para casos específicos, se sugiere la implementación de un tanque de contención y su vaciado frecuente por un camión atmosférico. Es posible el uso de bateas fitosanitarias/humedales o lechos de infiltración elevados, aunque presentan ciertas desventajas.

En la entrevista también se realizaron preguntas sobre zonas problemáticas y los impactos negativos del inadecuado tratamiento *in situ* de efluentes. Sobre estos aspectos se destaca:

- Los sistemas de tratamiento *in situ* implementados de forma ineficiente son considerados fuentes de contaminación difusa, lo cual los hace más difícil de identificar, evaluar y remediar.
- Por parte del DPA se realizan monitoreos anuales de playas del LNH, para asegurar su uso para fines recreativos en la época estival. Los resultados de los mismos fueron en general positivos, exceptuando casos específicos. En los mismos se observó la presencia de proliferación de algas, sobre todo en días calurosos y sin viento. Un impacto negativo mencionado de este fenómeno es sobre la actividad turística.
- Se destacan distintas zonas problemáticas por la implementación inadecuada de sistemas de tratamiento de efluentes, destacándose:
 - a) Barrios o complejos habitacionales grandes (ej. Barrios Parque Lago Moreno o Jockey Club)
 - b) Zonas que no cubre el nuevo Plan Director de Agua y Saneamiento de la ciudad, como por ejemplo Villa Catedral y barrios del kilómetro 10 en adelante.
 - c) Barrios ubicados en cercanías y con descarga en cuerpos de agua (sobre todo donde hay baja circulación/atenuación), como en el barrio Los Coihues y algunos ubicados sobre las costas del LNH.
- Se resalta sobre la falta de conocimiento general de la población sobre las características y diseño de sus sistemas de tratamiento de efluentes.

Para finalizar, durante la entrevista se pudo recabar información sobre diferentes sistemas de tratamiento *in situ* implementados (aunque ya se considere la cámara séptica y el lecho de infiltración como estándar), como así también funciones y responsabilidades de la institución con respecto a la temática trabajada. También las entrevistadas aportaron información relevante sobre la normativa provincial y municipal asociada.

Entrevista a Axel Lehr (APN)

La misma fue realizada el 24 de abril de 2022 a las 10 hs, de forma presencial. Luego de plasmar por escrito las respuestas y revisar la grabación obtenida, se llegó a las siguientes conclusiones.

La principal problemática del tratamiento *in situ* en Bariloche, de acuerdo a lo expresado por el entrevistado, es la falta de fiscalización o control municipal en todo lo que hace referencia a estos sistemas de tratamiento en viviendas de particulares (hay un solo inspector para todo el ejido). Se destaca que muchos de estos sistemas de tratamiento no funcionan correctamente, ya sea porque se saturan, no están bien contruidos, o el suelo/ sustrato no es apto para la disposición. Esto lleva a consecuencias sobre el ambiente y la población circundante, tales como la contaminación de napas subterráneas, el suelo y cuerpos de aguas superficiales. También se destacan problemas de salud pública asociados al posible contacto de la población con el efluente.

Por parte de la APN, se interviene en gran parte con el control y fiscalización dentro del PNNH, habiendo personal técnico que colabora en el armado de la documentación para la construcción adecuada de cada sistema de tratamiento.

Se destaca diferentes tipos de poblaciones dentro de PNNH, siendo las mismas:

- 1) Propietarios de terrenos privados, los cuales tienen que presentar documentación e informes ambientales correspondientes y después se hace un seguimiento por parte de APN.
- 2) Los denominados pobladores criollos (viven y desarrollan alguna actividad productiva dentro del PNNH).
- 3) Comunidades de pueblos originarios.

Un tema que todavía debe resolverse es el tratamiento de efluentes *in situ* en refugios de alta montaña, dado las bajas temperaturas y la falta de suelo para infiltrar. Se mencionan casos particulares como el Refugio San Martín (Jakob) y Agustino Rocca.

Las zonas o barrios considerados como problemáticos con respecto al tratamiento descentralizado de efluentes, dentro del área que ocupa el PNNH, son grandes urbanizaciones cercanas a espejos de agua y mallines (ej. Villa Arelauquen o Villa Lago Gutiérrez), siendo entonces estos los principales cuerpos receptores. Se hace mención del mallín ubicado cerca del Refugio San Martín y de los LNH, Gutiérrez y Mascardi.

Se destacan diferentes monitoreos y estudios científicos realizados por la institución en el LNH:

- Monitoreo de calidad de agua realizados periódicamente y en conjunto con el DPA y la AIC (Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas).

- Cuando se autorizó hace unos años la construcción del segundo módulo de la planta de tratamiento de efluentes también se hicieron una serie de estudios de agua y sedimentos.
- Se mencionan evidencias de contaminación por efluentes cloacales en las costas del LNH, como malos olores y bloom de algas en los días calurosos de la época estival.

Con respecto a normativa relacionada a tratamiento de efluentes, se considera que la normativa contiene la información adecuada, a pesar de que el paso siguiente, el de la fiscalización o control, sea deficiente por falta de recursos. También se destaca la necesidad de hacer un estudio pormenorizado de cada sector de la ciudad (considerando diversidad de suelos, jurisdicciones, entre otros).

Por otra parte, la normativa de la APN relacionada a esta temática tiene dos documentos principales. El primero es "Reglamento de construcciones para los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales", cuya última versión publicada es del 2007 y está siendo actualizada. Esta se considera que tiene información incompleta e inadecuada (ej: aprueba la construcción de pozos ciegos). El segundo documento utilizado es el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental (Resolución N° 203/16), el cual contempla un análisis ambiental preliminar a la instalación de un sistema de tratamiento descentralizado y los técnicos tienen la potestad de solicitarle al proponente que pueda llevar adelante la instalación de un sistema determinado, acorde a las características de la zona (pero no se establecen ningún tipo de parámetros específicos).

Entrevista a Agustina Coteló (SADU)

En este caso, la entrevista fue realizada en forma de cuestionario, para mayor comodidad de la entrevistada. A partir de las respuestas obtenidas, se pueden detallar los siguientes puntos.

- 1) Se considera que la normativa provincial y municipal relacionada a sistemas de tratamiento *in situ* debe ser abarcativa y aplicable. Considerando la heterogeneidad de condiciones ambientales de San Carlos de Bariloche, se recomienda la especificación de casos puntuales. Asimismo, la fiscalización de los sistemas, a pesar de no realizarse por falta de recursos, debe realizarse de manera integral con la participación de varios organismos que estén implicados en la gestión de este tipo de efluentes. Esto también aplica a la elaboración de normativa.
- 2) Se intentó por parte del municipio la realización de un mapa de zonificaciones para ser agregado a la nueva ordenanza, teniendo en cuenta tasas de infiltración obtenidas a partir de ensayos ya realizados por distintos profesionales. Sin embargo,

la variabilidad de datos y metodologías implementadas hizo que la tarea fuera imposible de finalizar.

- 3) Se destaca, al igual que en la entrevista al DPA, la falta de conocimiento por parte de las personas en relación al mantenimiento y dimensionamiento del sistema.
- 4) La inadecuada implementación de sistemas de tratamiento *in situ* lleva a tener impactos negativos sobre el ambiente (contaminación de napas y suelos) y la población (aumento de carga orgánica en agua para consumo). Indicadores de estos impactos observados son la presencia de material biológico (algas y olores).
- 5) Existe normativa que asegura el control y la fiscalización de los sistemas de tratamiento *in situ*, pero por falta de recursos no puede ser implementada.
- 6) Se destacan las mismas zonas problemáticas mencionadas por Axel Lehr (APN), haciendo hincapié en barrios como Pinar del Lago, Villa Lago Gutiérrez y los Coihues.
- 7) Tanto para casos donde la napa freática está a baja profundidad o con índices elevados de infiltración, se da por sentado que no se debe realizar la disposición final de efluentes. En casos de elevada pendiente, la infiltración debe ser perpendicular a la pendiente.

Entrevista a Fernando Martin (CEB)

Las respuestas fueron respondidas a modo de cuestionario, para mayor comodidad del entrevistado. Las preguntas realizadas estuvieron relacionadas al tratamiento centralizado de efluentes cloacales en Bariloche, haciendo hincapié en el estado actual de la planta de tratamiento y proyecciones futuras del sistema. A partir de las respuestas obtenidas, se pueden detallar los siguientes puntos.

- 1) En la actualidad se estima una cobertura de población servida a la red cloacal del 64%, estimándose un incremento del 5% para el año 2028 y teniendo como objetivo una cobertura del 92% a 20 años.
- 2) Las zonas o barrios prioritarios que requieren de factibilidades de conexión y ejecutar obras de extensión de red a futuro corresponden al Sur y Este del ejido urbano, y en menor medida el sector Oeste entre el km 1 y 8.
- 3) De acuerdo al nuevo Plan Director de Agua y Saneamiento, se estima la construcción de nuevas plantas de tratamiento de efluentes, considerando una en la zona Oeste

(cuenca del Arroyo Gutierrez) y otra en el Este (Sector del Aeropuerto). Desde el km 15 a Llao Llao y parcialmente la zona Este se prevé la continuación de los sistemas descentralizados de tratamiento.

- 4) Durante la alta temporada en la época estival se registran los mayores ingresos de materia orgánica y temperaturas de proceso en la planta depuradora. Existe entonces una mayor dificultad para sostener el nivel de oxígeno en el líquido durante el proceso de tratamiento. La ejecución del segundo módulo de la planta, con las obras anexas de pretratamiento, planta de atmosféricos y gestión de lodos ha optimizado la capacidad de la misma, para atender la demanda de 210.000 personas. Asimismo, se puede tratar actualmente un caudal de 51.000 m³/día con una carga de 200 mg DBO/L.
- 5) Existe una tendencia mundial en los modelos de prestación de servicios y prácticas de saneamiento, para que los mismos sean más seguros a través del adecuado manejo de lodos fecales, con sistemas que no requieran alcantarillado, y con una gestión de desechos humanos asequible, a gran escala y con poca o ninguna necesidad de agua y electricidad.
- 6) La inadecuada gestión de los desagües cloacales es un problema sanitario, que afecta a la calidad de vida y economía de la población.
- 7) De acuerdo a la cantidad de población servida, el grado de tratamiento requerido para el efluente y las características de la zona, el entrevistado propone distintos sistemas de tratamiento, siendo los mismos:
 - Para localidades de más de 5.000 habitantes
 - i) Lagunas de tratamiento biológicas (bajos costos de mantenimiento e instalación, considerando disponibilidad de grandes áreas alejadas de sectores urbanos)
 - ii) Lodos activados (buen rendimiento en poco espacio, buena calidad del efluente tratado y alto costo operativo)
 - Para localidades de menos de 5000 habitantes
 - i) Tanque Imhoff + Humedales artificiales (requerimiento de grandes superficies)
 - ii) Lodos activados (buen rendimiento en poco espacio, buena calidad del efluente tratado y alto costo operativo)

- Tratamiento domiciliario *in situ* (facilidad operativa y buen rendimiento, considerar superficies requeridas)
 - i) Cámara séptica + lecho de infiltración
 - ii) Filtro anaeróbico
 - iii) Humedales artificiales

En todos los casos debe considerarse el adecuado manejo y tratamiento de lodos, compuestos potencialmente tóxicos, entre otros aspectos.

Observaciones generales de las entrevistas

En principio se concluye que, a pesar de que las preguntas para la SADU y el DPA fueron las mismas, las respuestas variaron, observándose distintas posturas sobre la misma temática. Por ejemplo, con respecto a la implementación de la normativa y la calidad de agua del LNH. Asimismo, se observaron algunas similitudes en las respuestas. Un ejemplo es la falta de estudios bacteriológicos formales que verifiquen la posible contaminación de cuerpos de agua (ya sean lagos, lagunas, humedales, aguas subterráneas) debido a la disposición de efluentes cloacales sin tratar, dado la falta de recursos. Las recomendaciones realizadas para distintos escenarios de disposición fueron también similares.

Por otra parte, tanto la APN y la SADU destacan problemas de calidad de agua en el LNH (malos olores y bloom de algas). En el caso del DPA se menciona igualmente, pero se destaca que en general la calidad de agua es buena, dados los resultados de los monitoreos realizados.

Asimismo, cabe notar que la CEB discrepa con las otras instituciones, sobre todo al mencionar que las zonas o barrios prioritarios que requieren de factibilidades de conexión a la red a futuro corresponden al Sur y Este del ejido urbano, mientras que para el DPA y la APN las zonas problemáticas son aquellas ubicadas en cercanía de cuerpos de agua receptores, como el LNH y cuerpos de agua ubicados al Oeste. Algo similar ocurre con respecto a las tecnologías de tratamiento recomendadas (ej. Uso de humedales o filtros anaeróbicos). Sin embargo, en todos los casos se recalca como sistema estándar a implementar a la cámara séptica y el lecho nitrificante.

4.6.3. Encuestas a usuarios de sistemas de tratamiento de efluentes

En esta instancia se elaboró una encuesta online pública con Google Forms. A partir de la misma se buscó obtener información sobre la percepción de la temática de tratamiento de efluentes domiciliarios (si se considera un problema, conocimiento disponible, entre otros), distribución geográfica y problemáticas presentadas por cada tipo de sistema.

La encuesta fue diseñada de tal forma, que el usuario responda primero preguntas específicas sobre su sistema de tratamiento de efluentes, pasando después a preguntas generales sobre su percepción sobre la temática. Asimismo, se permitió un espacio para comentarios al final de la encuesta, donde el encuestado pueda expresar alguna duda pendiente. La encuesta era breve, con un total de 8 preguntas concisas, con la finalidad de facilitar la completación del formulario y llegar a más personas. Cabe destacar que muchas de las preguntas eran opcionales, por lo que algunas de las preguntas no fueron respondidas por la totalidad de usuarios.

La encuesta fue distribuida a través de redes sociales, buscando llegar a una diversidad de grupos vecinales y asociaciones locales. Entonces, fue respondida por un total de 308 personas, con una gran variabilidad de barrios de procedencia (70 en total de aprox. 130 opciones), tanto del Oeste, Centro, Sur y Este de la ciudad. La mayor cantidad de respuestas fueron obtenidas de los barrios Belgrano (10,4%), Centro (7,8 %), Melipal (7,5%) y Las Victorias (6,2%). Sin embargo, al no haber diseñado la demográfica de los encuestados, no es posible establecer la representatividad de los resultados en cuanto a distribución geográfica, social y ambiental, tipo de sistema de manejo de efluentes cloacales, etc.

En segundo lugar, los encuestados respondieron el tipo de sistema implementado en su domicilio. En esta instancia, cerca del 43 % (132 personas) seleccionó la opción de cloacas, mientras que 120 personas (39,1 %) optaron por la opción de cámara séptica con lecho de infiltración. Un 10,1 % de los entrevistados utiliza pozo ciego/absorbente. Asimismo, 23 personas (un 7,5 % adicional) manifestaron tener biodigestor y lecho de infiltración (Gráfico 1).

¿Qué tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales utilizan en tu domicilio?

308 respuestas

No sé la respuesta

2,9%

Biodigestor y lecho de infiltración

4,6%

Pozo ciego/absorbente

10,1%

Cloaca

43,3%

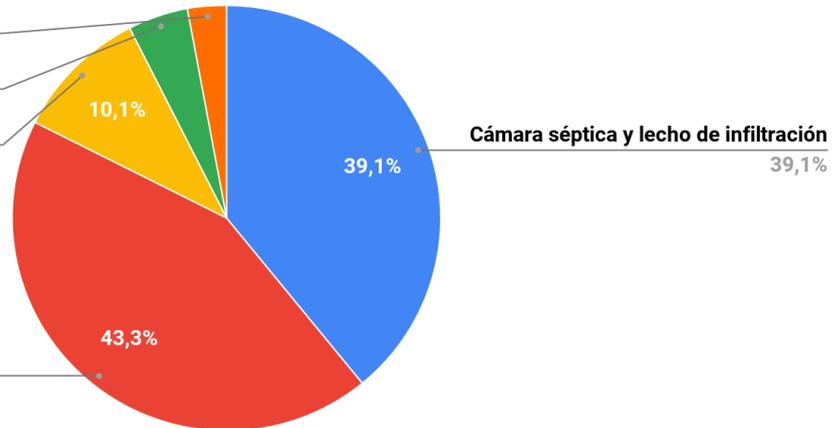


Gráfico 1. Tipos de sistemas de tratamiento de efluentes utilizados por los usuarios. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Forms.

Quando se les preguntó a los usuarios si consideraban eficiente su sistema de tratamiento y si este protege al medio ambiente y a la salud humana, la mayoría de los encuestados respondió “No” y “Tal Vez”, dominando estas opciones por encima del “Si”, como se observa en el gráfico 2.

¿Consideras que es eficiente el sistema de tratamiento que utilizas y que protege al medio ambiente y salud humana?

308 respuestas

No

37,7%

Tal vez

34,4%

Si

27,9%

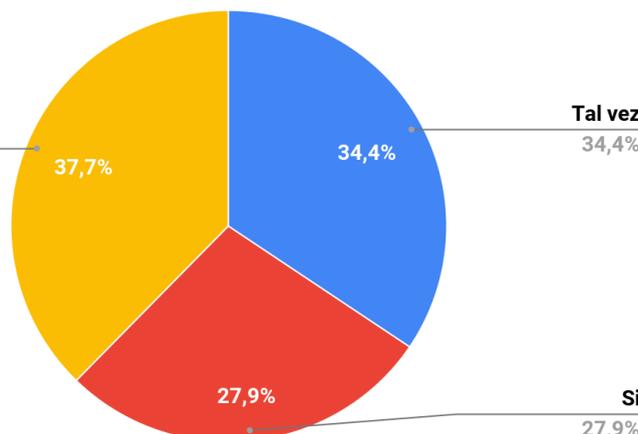


Gráfico 2: Perspectiva del usuario con respecto a la eficiencia y el impacto de su sistema de tratamiento. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Forms.

Analizando con mayor profundidad la información de los gráficos 1 y 2, al combinar las respuestas de ambas preguntas (qué sistemas de tratamiento tienen y si lo consideran eficiente) con tablas pivot, se llegó a las siguientes conclusiones.

- La mayoría de los encuestados que tiene cloaca no está seguro que sea una alternativa eficiente, habiendo contestado igualmente más personas por “sí” que por “no”.
- La mayor parte de las personas que tienen como sistema de tratamiento cámara séptica y lecho de infiltración, consideran que no es una opción eficiente, habiendo también una cantidad significativa que no sabe. Entre las personas que tiene biodigestor junto a un lecho de infiltración hay un porcentaje mayor que piensa que es eficiente.
- La mayoría de los encuestados tiene conocimiento que los pozos ciegos no son eficientes, pero alrededor del 25 % que los implementa piensa que lo son.

Por otra parte, cuando se preguntó a los encuestados si alguna vez presentaron problemas asociados a la conexión o al funcionamiento del sistema de tratamiento de efluentes, las respuestas destacadas fueron:

1. No, no tengo problemas (168 respuestas - 54,5 %).
2. Si, malos olores (73 respuestas - 23,7 %).
3. Si, desbordes y encharcamiento (48 respuestas - 15,6 %).
4. Si, inundación/anegamiento en el hogar (29 respuestas - 9,4 %)
5. Si, aparición de “zonas húmedas” en el patio (19 respuestas - 6,2 %).

Se destacan otros problemas mencionados, tales como obstrucciones e impermeabilización del lecho. Como puede observarse en los porcentajes obtenidos, la mayor parte de los encuestados no tiene problemas asociados al funcionamiento/ conexión de su sistema de tratamiento. En caso de que hubiera un problema percibido, la opción de malos olores fue la más seleccionada. Cabe destacar que varios encuestados respondieron más de una respuesta cuando consideraron que si tenían problemas asociados a su sistema de tratamiento de efluentes (respuestas de 2 - 5).

Al comparar problemas reportados en función del tipo de tratamiento de efluentes en el domicilio, la mayoría de quienes tienen conexión a la cloaca (65%) manifiestan no tener problemas, mientras que este porcentaje desciende a 43% para cámara séptica con lecho de infiltración, e igual valor para pozo absorbente. El problema más frecuente tanto para

personas encuestadas con conexión a la cloaca como para quienes tienen cámara séptica y lecho son los malos olores, seguido por diversos problemas de encharcamiento, anegamiento y desbordes. Esto último se invierte en el caso de personas encuestadas con pozos absorbentes.

Cuando se realizó la pregunta “¿Cuán importante te parece realizar un buen tratamiento de tus efluentes cloacales?”, donde los encuestados tenían que seleccionar de una escala del 1 al 5, el 94,2 % (290 personas) de los encuestados seleccionó un grado de importancia de 5, mientras que el 3,9 % de las respuestas seleccionó un nivel de 4 (Gráfico 3).

De una escala del 1 al 5, ¿Cuán importante te parece realizar un buen tratamiento de tus efluentes cloacales?

308 respuestas

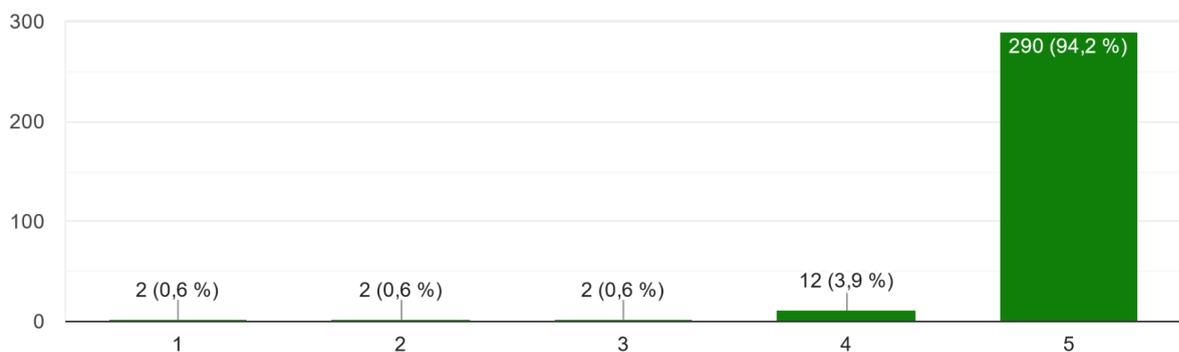


Gráfico 3: Grado de importancia seleccionado por los encuestados, con respecto a realizar un buen tratamiento de efluentes cloacales. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Forms.

En la siguiente pregunta se interrogó a los usuarios en qué impacta un inadecuado funcionamiento de un sistema de tratamiento de efluentes. Las respuestas “Calidad de vida de la población/salud pública” y “Calidad de agua” fueron consideradas las más significativas, en comparación a opciones como “Economía y Turismo”, “Calidad de aire” y “Biodiversidad de Flora y Fauna” (Gráfico 4).

¿Sobre qué considerás que impacta la implementación inadecuada del tratamiento de efluentes cloacales domiciliarios?

308 respuestas

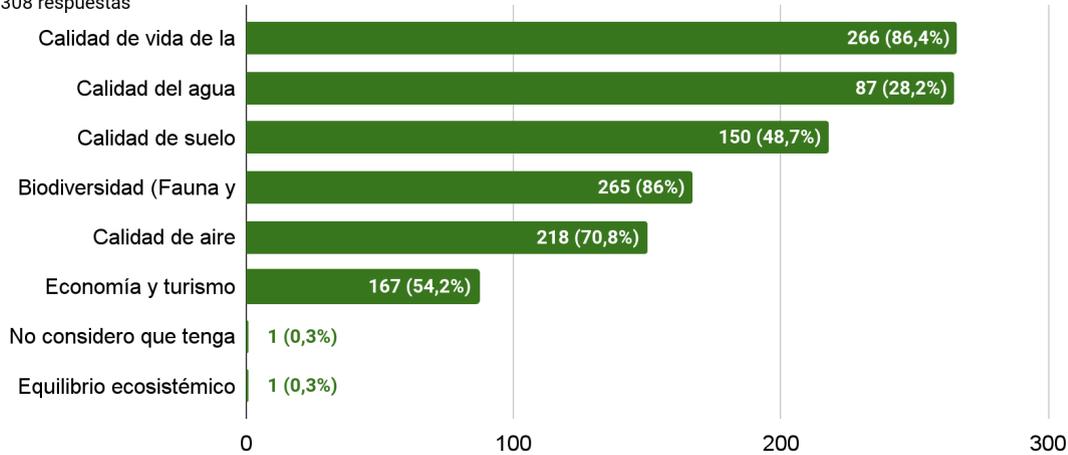


Gráfico 4: Sistemas impactados por sistemas inadecuados de tratamiento de efluentes cloacales, de acuerdo a las personas encuestadas. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Forms.

Por último, cuando se interrogó acerca de qué sistema de tratamiento de efluentes era considerado más eficiente, con respecto a su posible impacto a la salud pública y el ambiente, cerca del 48 % de las personas encuestadas optó por el sistema cloacal a planta de tratamiento de efluentes, con un porcentaje adicional de aproximadamente un 15 % inclinándose hacia el uso de plantas de tratamiento de pequeña escala. Solamente 3 % considera que la cámara séptica con lecho de infiltración es la opción más eficiente. Cerca del 12 % sostiene que los biorreactores con lecho de infiltración son la alternativa más eficiente, un valor casi 4 veces mayor que quienes optaron por la opción anterior, lo cual llama la atención considerando que son opciones técnicamente similares. Por otro lado, cerca del 20 % de las personas entrevistadas no supo qué responder (Gráfico 5). Varias personas mencionaron que depende de factores como la ubicación, tipo de suelo, características de la población a servir, etc. También se propuso reuso para riego de efluentes (efluentes cero) en varios casos, así como se mencionó a los baños secos como opción más eficiente de tratamiento (1 %).

En términos generales ¿Qué sistema de tratamiento de efluentes cloacales considerás más eficiente para el medio ambiente y la salud humana?

308 respuestas

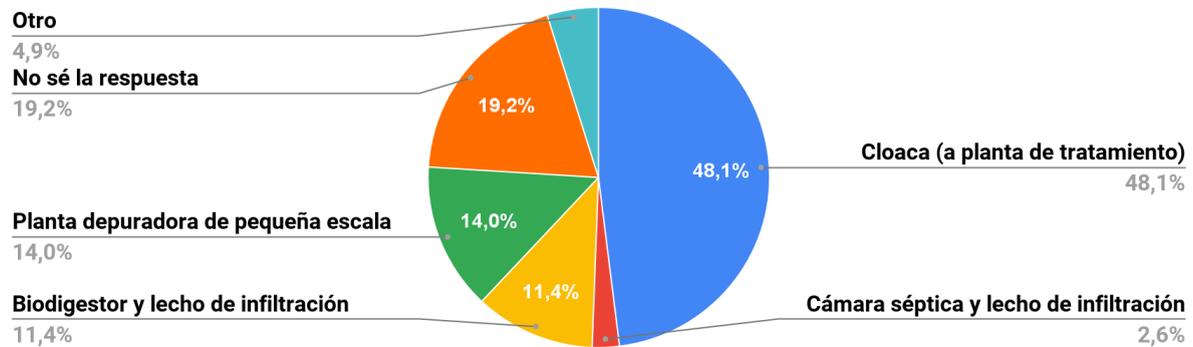


Gráfico 5: Sistemas de tratamiento de efluentes considerados más eficientes para el medio ambiente y la salud humana, según los encuestados. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Forms.

Observaciones generales de la encuesta

Algunas observaciones/conclusiones generales sobre la encuesta son:

1. Una gran variabilidad de personas de diferentes barrios respondieron la encuesta, abarcando gran parte del ejido urbano y la mayoría de los barrios.
2. Cerca de la mitad de los entrevistados tiene como sistema de tratamiento de efluentes la conexión cloacal a planta de tratamiento, siendo algo menor pero relativamente cercano al valor informado por personal de la CEB. Un porcentaje similar utiliza cámara séptica (incluido biodigestor) y lecho de infiltración, y un porcentaje de aproximadamente 10% manifiesta utilizar pozo ciego/ absorbente, una modalidad que ya no se considera apropiada, pero ha quedado en uso como legado de prácticas históricas.
3. La mayoría de los encuestados dice no presentar problemas en sus domicilios, asociados a sus sistemas de tratamiento de efluentes, pero hay una fracción de casos donde sí hubo problemas, predominando la opción de malos olores.
4. La mayoría de los encuestados no sabe o no cree que su sistema de tratamiento de efluentes es eficiente para con el ambiente y la salud humana. Sin embargo, la

mayoría elige, en términos generales, al sistema de tratamiento cloacal como más eficiente, siguiendo de plantas de tratamiento de pequeña escala.

5. Se expresa gran preocupación sobre el impacto ambiental producido por el inadecuado tratamiento de efluentes en la ciudad, sobre todo por la planta depuradora de efluentes y su capacidad de tratamiento.
6. Se destacan de los comentarios finales de los usuarios los términos: “fiscalización de las autoridades”, “concientización”, “degradación de salud pública y del ambiente”, “divulgación de tecnología aplicada”, “reaprovechamiento/reutilización de agua”, “desconocimiento por parte de profesionales involucrados en construcción”, entre otros.

5. Evaluación de riesgo de contaminación

5.1. Desarrollo de criterios y método de evaluación

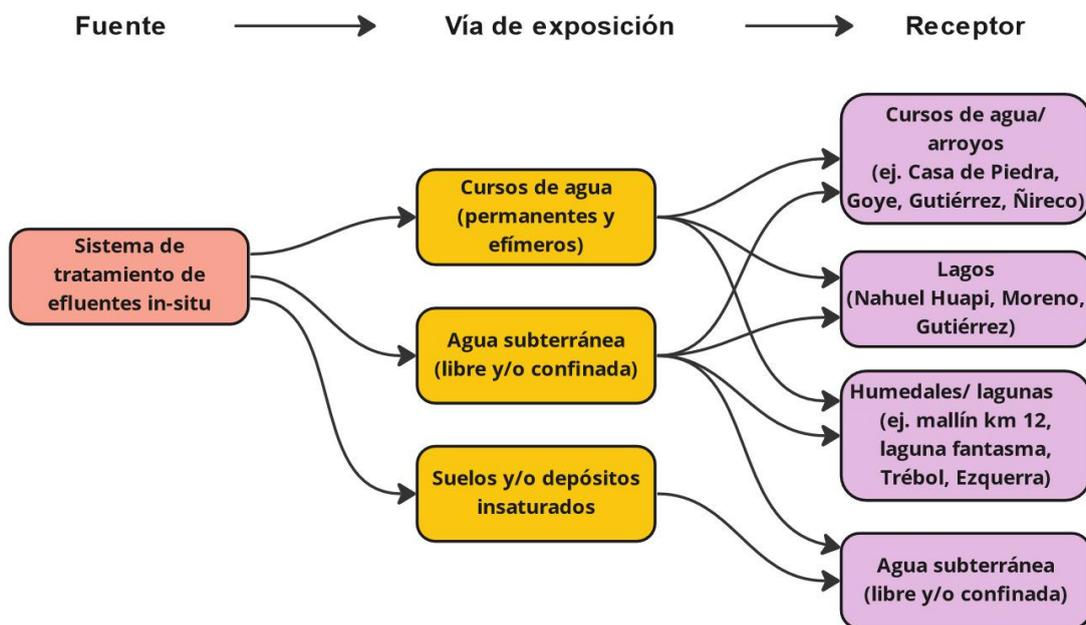
El objetivo de esta sección es evaluar el riesgo de contaminación ambiental para el tratamiento *in situ* de efluentes, definiendo las características de las fuentes, vías y receptores, e identificando situaciones problemáticas.

Para cumplir con los requisitos de este objetivo, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Realización de evaluaciones específicas del alcance del riesgo ambiental, considerando el contexto de la cadena de fuente-vía-receptor, definiendo las características de cada uno de los mismos. Para ello se definieron algunos parámetros, considerando la densidad de población (fuente), características de suelos, pendientes, permeabilidad del sustrato, cercanía con respecto a escurrimientos superficiales (vía), y la capacidad de dilución de cuerpos de agua receptores. Se utilizaron bases de datos de tipo SIG existentes e información bibliográfica.
- 2) Selección y análisis de cuatro escenarios típicos observados en la ciudad, de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación y de las entrevistas anteriormente realizadas. Dicho análisis incluyó las visitas a campo correspondientes, con el objetivo de validar la metodología.
- 3) Presentación de los resultados en mapas, utilizando el software QGIS.

En primer lugar, se elaboró a partir de toda la información recabada anteriormente sobre evaluaciones de riesgo tipo S-V-R como metodología, un mapa conceptual donde se reflejan las principales cadenas de riesgo de contaminación, detallando la fuente (sistemas de tratamiento de efluentes *in situ*), las vías de contaminación y los posibles receptores, adaptado al contexto local de Bariloche.

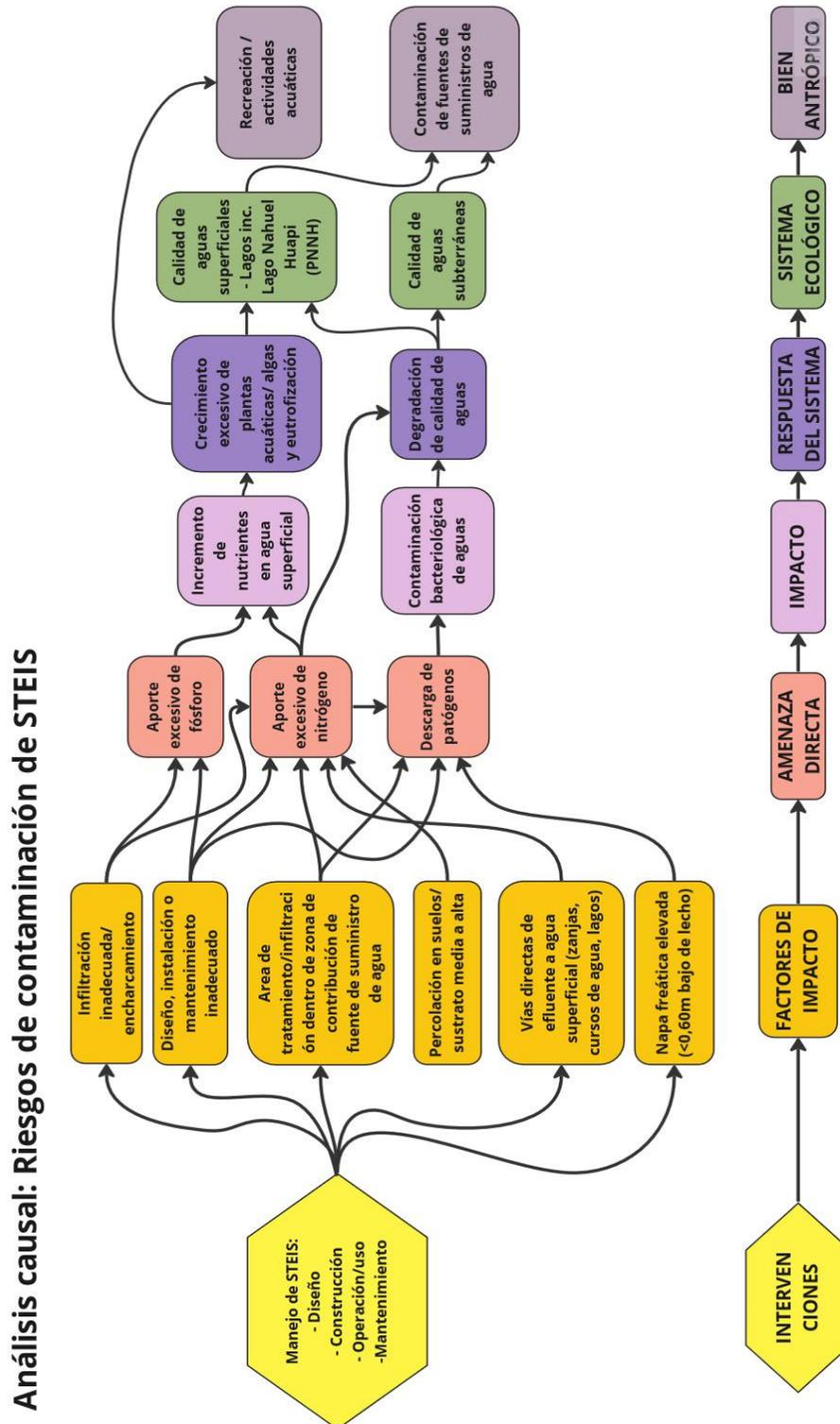
Principales cadenas de riesgo de contaminación



Esquema 1: Principales cadenas de riesgo de contaminación, adaptado a contexto local. Fuente: Elaboración propia con Miro.

En el esquema 1 se puede observar como fuente a un sistema de tratamiento de efluentes *in situ*, que va a estar condicionado directamente por la cantidad de personas que lo implementen. Una vez emitido el efluente, este se transporta mediante distintas vías (suelo o cursos de agua) hasta un receptor determinado, siendo en este caso de estudio cuerpos de agua superficiales y subterráneos con distintos grados de capacidad de atenuación o dilución (en el esquema mencionado se muestran ejemplos locales).

Una vez aplicado la metodología de evaluación de riesgo S-V-R, se prosiguió a hacer un análisis más detallado de los posibles caminos que puede tomar el contaminante y las razones por las cuales este es emitido al ambiente acuático y produce un impacto en el mismo, llevando a consecuencias indirectas sobre el medio antrópico. Esta descripción se detalla en el esquema 2, mediante la aplicación de un análisis causal.



Esquema 2. Modelo de análisis causal. Riesgos de contaminación de sistemas de tratamiento de efluentes in situ (STEIS). Fuente: Elaboración propia con programa Miro.

Como se detalla en el esquema anterior, existen distintos factores de impacto por los cuales el efluente puede representar una amenaza directa sobre el sistema, ya sea por contaminación bacteriológica o por el incremento de los nutrientes. Dichos factores, representados por cuadros naranja, pueden surgir por un inadecuado diseño, llevando posteriormente a falencias durante la construcción, operación o mantenimiento del sistema de tratamiento. Otros de los factores más relevantes pueden ser una napa freática elevada (determinada por el tipo de suelo donde se sitúa el sistema) o la ubicación con influencia directa sobre cuerpos de agua, los cuales pueden o no ser fuentes de suministro.

Una vez identificados los distintos factores de impacto condicionantes para esta evaluación de riesgo, los cuales determinan el movimiento del efluente en el sistema y la forma/orientación del penacho de contaminación (EPA, 2002). Se entiende entonces los distintos comportamientos del efluente dependiendo de los cambios de cada factor, como se expresa a continuación:

- 1) Una mayor densidad de población conlleva típicamente mayor descarga de contaminantes desde los STEIS y, consecuentemente, mayor concentración de contaminantes en los cuerpos de agua receptores (EPA, 2012).
- 2) Una baja permeabilidad, mal drenaje o presencia de roca cercana a la superficie (afloramientos rocosos) tiende a conllevar encharcamiento y permanencia del efluente cloacal próximo o en superficie, pudiendo alcanzar cursos de agua superficial (Armendáriz Hernández, 2020);
- 3) El nivel freático cercano a superficie (zonas inundables) no permite el adecuado tratamiento anaeróbico de los efluentes, pudiendo contaminar el agua subterránea, así como cursos de agua, lagos o humedales alimentados por la misma (Pereyra et. al., 2005).
- 4) Un suelo con poca profundidad puede ocasionar un menor área de transporte para el efluente, y por lo tanto, menor distancia para que pueda ser atenuado (EPA, 2012).
- 5) Las pendientes pronunciadas del terreno pueden ocasionar que el efluente brote en la superficie, pudiendo alcanzar cuerpos de agua cercanos (EPA, 2002).

Entonces, se procedió a elaborar la tabla 11, la cual busca reflejar los criterios a tener en cuenta a la hora de determinar si en una zona determinada existe un nivel de riesgo de contaminación por efluentes provenientes de STEIS. Se utilizó como clasificación un nivel de riesgo bajo, medio o alto.

Análisis de riesgo por vuelco de efluentes	
Nivel de Riesgo	Características de la zona
Bajo	Áreas de baja pendiente; suelos profundos (> 50 cm), consolidados, estables y heterogéneos, buen drenaje y una capacidad de infiltración media (9 - 16 cm/min); baja densidad poblacional (45 - 90 hab/ha); lejanía con respecto a cuerpos de agua (> 10 m), unidades geomórficas con nulo o muy bajo grado de peligrosidad de inundación, con escasos afloramientos rocosos (3 - 5 %).
Medio	Áreas de pendiente media; suelos moderadamente profundos (40 - 50 cm), consolidados y estables, drenaje moderado, con una capacidad de infiltración media; densidad poblacional media (90 - 135 hab/ha); lejanía con respecto a cuerpos de agua (10 a 20 m); unidades geomorfológicas con grado medio de peligrosidad de inundación, con media proporción de afloramientos rocosos.
Alto	Áreas de pendiente alta; suelos poco profundos (< 40 cm), poco consolidados, homogéneos e inestables, con una tasa de infiltración que hace al drenaje imperfecto a pobre; densidad poblacional alta (> 135 hab/ha); gran cercanía con respecto a cuerpos de agua (< 10 m), unidades geomórficas con muy alto grado de peligrosidad de inundación, con gran frecuencia de afloramientos rocosos.

Tabla 11. Características de las zonas evaluadas de acuerdo a su nivel de riesgo de contaminación por vuelco de efluentes. Fuente: Elaboración propia a partir de (Pereyra et al., 2005); (Cotelo, 2019); (MSCB, 2018); (MSCB, 2016) y (EPA, 2002).

Cabe destacar que la mayor parte de los criterios establecidos en la tabla 11 (ej. características del suelo, grado de peligrosidad de inundación, frecuencia de afloramientos rocosos, entre otros) se establecieron en base a las revisiones bibliográficas realizadas. No se trata de límites fijos ni absolutos (los cuales no serían válidos dada la amplia variabilidad de condiciones) sino que deben ser considerados como valores guía desarrollados en base a los rangos de parámetros relevantes, observados en estudios locales y normativa de orden local a internacional (por ej. EPA, ordenanza N° 2802-CM-16 y resolución N° 200-I-18).

Por otro lado, se debió ajustar los criterios a la disponibilidad de información y formato en la que ésta se encontraba. En este sentido, fue de particular utilidad el estudio geocientífico aplicado al ejido de Bariloche, del Servicio Geológico Minero Argentino, o también conocido como SEGEMAR (Pereyra et al., 2005). El mismo tuvo como finalidad la realización de una cartografía geoambiental del ejido municipal y constituye una herramienta de ordenamiento territorial completa y es muy utilizada para establecer una línea base de distintos trabajos locales.

5.2. Selección de escenarios y cálculos

Luego de definir detalladamente los criterios de evaluación y los niveles de riesgo ambiental asociados, se identificaron las zonas/barrios a evaluar mediante el uso de mapas en QGIS.

Las zonas identificadas son:

- Barrio Villa Lago Gutiérrez (VLG);
- Barrio Parque Lago Moreno (PLM);
- Urbanización Procrear (Ubicado en el Barrio El Cóndor);
- Zona del Km 5, ubicado entre las calles Sara Maria Furman y Nilpi, Av. de los Pioneros y Av. Exequiel Bustillo (Entre el Barrio Melipal y Pinar del Lago).

Las mismas fueron seleccionadas a partir de los datos recabados en las entrevistas a los referentes institucionales (sección 4.6.2), a partir de observaciones realizadas en el campo, e identificando primero las zonas con la ausencia de red cloacal (figura 1, sección 2.3). Además, dichas áreas de estudio fueron seleccionadas en base a conocimiento local (áreas donde se identificaron problemáticas asociadas a tratamiento de efluentes previamente), teniendo en cuenta las características naturales y sociales de cada sitio, buscando al mismo tiempo la mayor diversidad y abarcando la mayor distribución geográfica posible.

Asimismo, se seleccionaron las zonas de forma tal que se abarque la mayor superficie del ejido urbano, como así también la cercanía a cuerpos receptores relevantes, como lo son los Lagos Moreno, Gutiérrez y Nahuel Huapi, y los Arroyos Gutiérrez y Casa de Piedra.

El número de zonas de estudio seleccionadas fue elegido teniendo en cuenta las limitaciones temporales para la elaboración de este PFI.

En las siguientes secciones, a continuación, se detallan aspectos tenidos en cuenta para hacer más completa la aplicación de la metodología (evaluación de riesgo S-V-R).

5.2.1. Fuentes

En primer lugar, debe mencionarse que la descarga de contaminantes en una determinada superficie/área es directamente proporcional a la población (equivalente) que ocupa la misma. Por lo tanto, a la hora de definir las características de la fuente, se consideró la densidad poblacional potencial de cada sector, definida de esta forma debido a que se obtiene por zonificación. Para ello se utilizaron datos y ecuaciones del Código de Planeamiento (Ordenanza N° 169-I-79, MSCB), el Plan de Desarrollo Urbano Ambiental Oeste (MSCB, n.d) y normativa específica de la zona Este (Ordenanza N° 2489-CM-13 y Disposición 016-SDU-16). En el último caso, se utilizó el valor máximo de FOT (Factor de Ocupación Total) y la superficie promedio de los lotes para obtener la densidad en hab/ha. En las figuras 9, 10 y 11 se observan las zonificaciones consideradas para los sectores de Villa Lago Moreno, VLG y zona del Km 5, a modo de ejemplo.



Figura 9. Zonificación del Código de Planeamiento para Villa Lago Gutiérrez (MSCB, 1980).

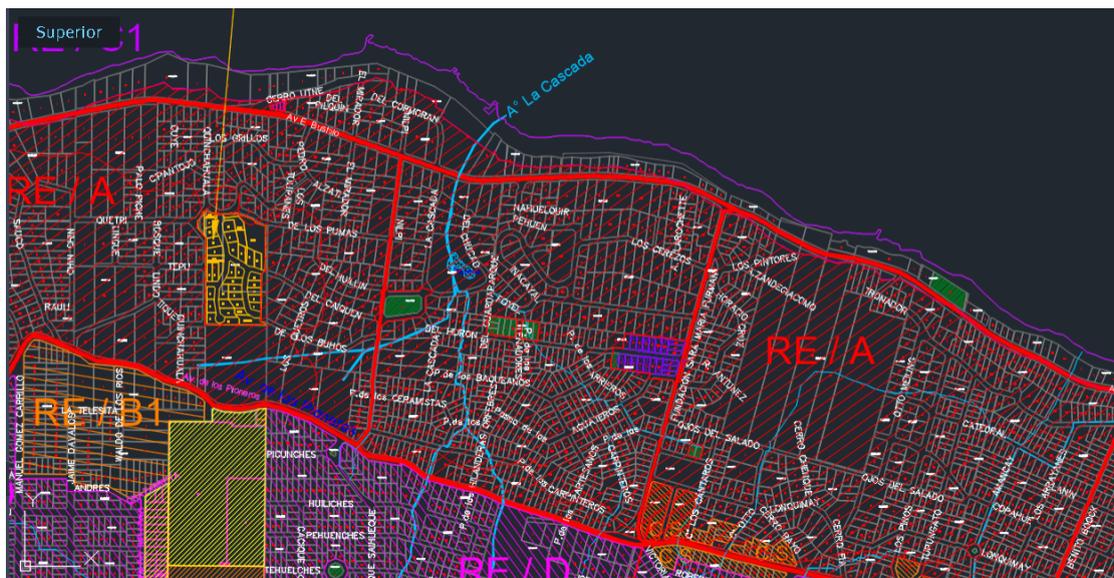


Figura 10. Zonificación del Código de Planeamiento para zona Km 5 (Entre calles Nilpi y Sara Maria Furman) (MSCB, 1980).

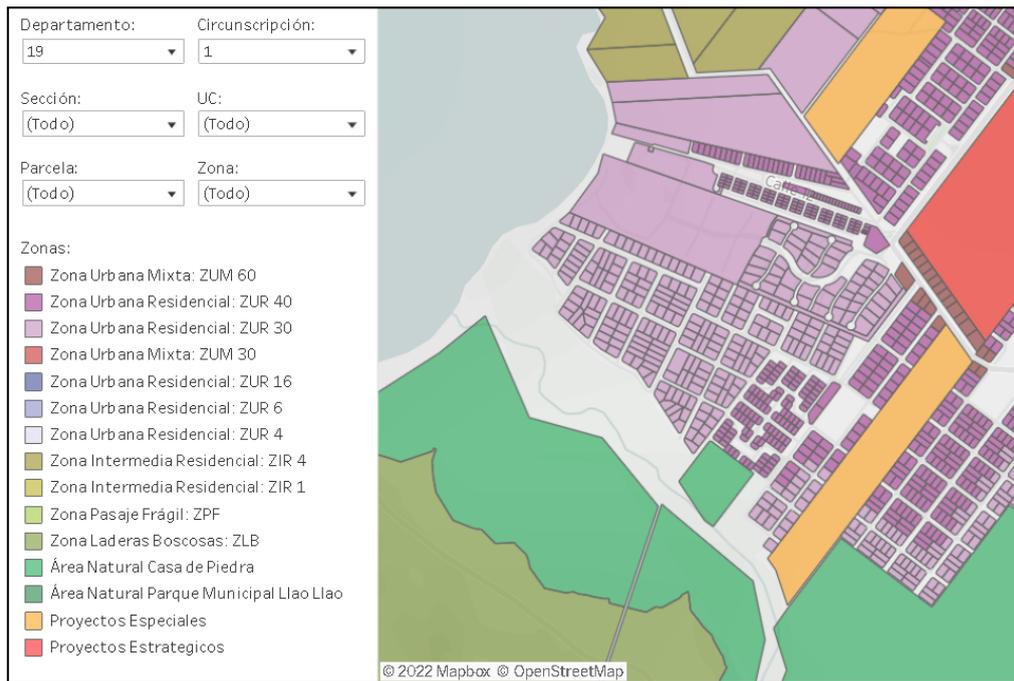


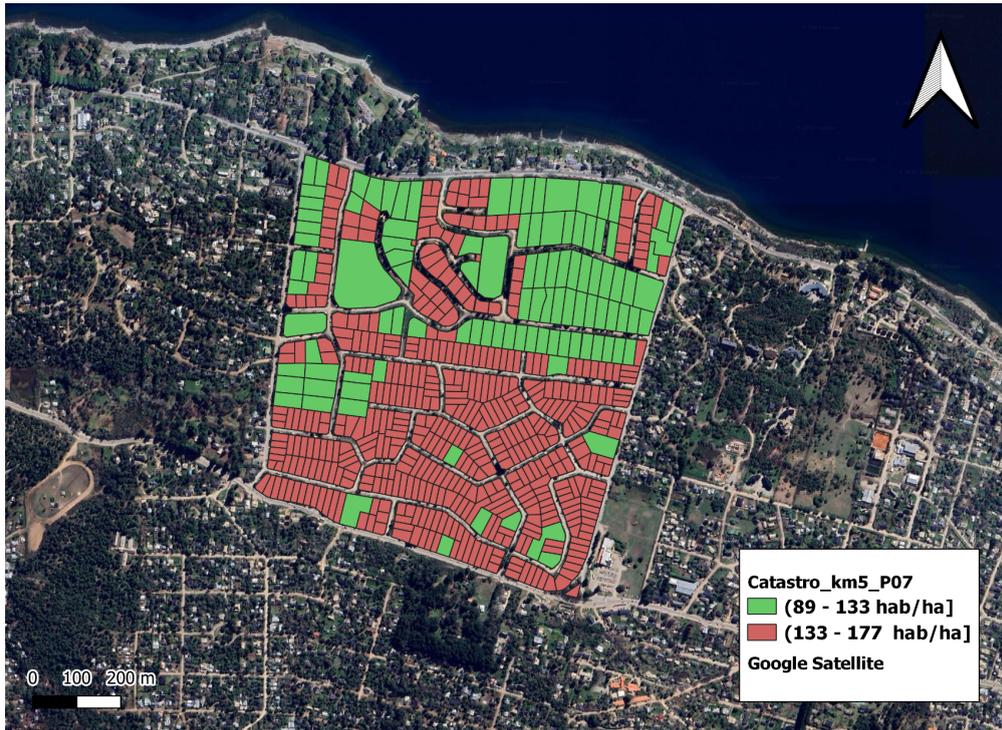
Figura 11. Zonificación considerada para Villa Lago Moreno, utilizando el Plan de Desarrollo Urbano Ambiental Oeste (MSCB, n.d).

Una vez ya obtenida la densidad poblacional potencial de cada lote de acuerdo a su zonificación, se procedió a subdividir en tres rangos de densidades, nombrandolos de acuerdo a categorías establecidas por el SEGEMAR (Pereyra et al., 2005). La categorización se muestra en la tabla 12. Cabe destacar que se eliminaron valores extremos de densidades, para ser más conservadores.

Variable	Clases	Rango (hab/ha)
Densidad poblacional potencial	Baja	[45 - 89)
	Media	(89 - 133]
	Alta	(133 - 177]

Tabla 12. Rangos de densidades poblacionales potenciales consideradas.

En la figura 12 se muestra la clasificación de densidad poblacional potencial en habitantes por hectárea, aplicada a la zona del Km 5 (a modo de ejemplo).



*Figura 12. Clasificación de densidad poblacional potencial, zona del km 5. Fuente:
Elaboración propia a partir de QGIS.*

5.2.2. Vías

Existen dos vías de exposición principales, la subsuperficial/subterránea y la superficial. Entonces, para definir las vías de exposición a la contaminación, se establecieron vías principales el suelo (como vía de exposición subsuperficial hacia la napa freática) y los escurrimientos superficiales (como vía hacia cuerpos de agua superficiales). Con este objetivo, se consideraron cuatro parámetros, siendo los mismos:

1. Características del suelo;
2. Pendiente del terreno;
3. Probabilidad de anegamiento;
4. Distancia con respecto a escurrimientos superficiales.

Características del suelo

Para esta sección se utilizaron capas del SEGEMAR (Pereyra et al., 2005), donde se distinguen distintas unidades cartográficas de acuerdo a los tipos de suelos que presentan.

Se obtuvo la información de las unidades cartográficas mapeadas y dichas distinciones se presentan en la tabla 13. Asimismo, dicha tabla presenta observaciones que son relevantes para la clasificación de riesgo presentada más adelante en la tabla 17 (sección 5.2.5).

Variable	Clases	Características Generales	Observaciones
Suelo	Suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental	Esta unidad ocupa los sectores aledaños a los principales cursos fluviales del área estudiada, ya sean terrazas fluviales, abanicos aluviales o planicies aluviales. Se localiza en los abanicos de los arroyos Goye, Casa de Piedra y Gutiérrez y en las fajas aluviales de los arroyos Bernal y Challhuaco entre otros. En las terrazas más jóvenes y en las planicies aluviales, a una altitud inferior a los 900 m s.n.m., dominan los suelos desarrollados sobre sedimentos aluviales y coluviales, de textura arenosa fina y pedregosa. El drenaje es imperfecto a pobre, presentando un evidente riesgo a las inundaciones anualmente. En las planicies aluviales de los arroyos Goye y Casa de Piedra, entre los 800 a 900 m s.n.m., los suelos son francos a franco-arenosos finos, moderadamente profundos a profundos, moderadamente ácidos, de drenaje moderado a imperfecto.	Suelos con riesgo de inundaciones, moderadamente profundos a profundos, con drenaje moderado a imperfecto. Se encuentran en los barrios VLG, PLM y Procrear
	Suelos de terrazas glaciafluviales y glacialacustres oriental	Las terrazas y planicies glacialacustres se ubican en el sector de la margen sudeste del lago, a una altitud de 770 a 820 m sobre el nivel del mar. Las pendientes son muy leves (menores al 3%). La vegetación dominante es de matorrales bajos y estepas. Predomina una asociación de suelos de textura franca, moderadamente profundos a profundos (60 a 100 cm), moderadamente ácidos (pH 5,5 a 6,0), con drenaje moderado, marcada reacción del fluoruro de sodio (FNa) y un leve déficit hídrico estival.	Suelos moderadamente profundos a profundos, con drenaje moderado. Se encuentra en el barrio Procrear.

	<p>Suelos de ambiente erosivo-deposicional glaciario</p>	<p>Se ubica en un plano suavemente ondulado, de pendientes moderadas (6 a 12%). Se distribuye al oeste del área de trabajo, a una altitud de 800 a 900 m s.n.m. Predomina una asociación de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, de textura franco-arenosa muy fina, bien drenados, moderadamente ácidos, fuerte reacción al fluoruro de sodio (FNa) y déficit hídrico estival de nulo a leve. Dada las características geomorfológicas de la unidad, los afloramientos rocosos son frecuentes o se encuentran a muy poca profundidad. Consecuentemente, los suelos poco profundos son frecuentes.</p>	<p>Suelos bien drenados, pero con afloramientos rocosos frecuentes y poco profundos. Barrio PLM.</p>
	<p>Suelos de las morenas occidentales</p>	<p>Se ubica en los terrenos relativamente bajos en las márgenes de los lagos Nahuel Huapi y Gutiérrez, a una altitud de 800 a 1000 m s.n.m. Es un relieve ondulado, de pendientes leves a moderadas (3 a 12%) que corresponden a depósitos glaciares (morenas). La vegetación dominante es de estepa graminosa y matorrales y en algunos sectores domina la vegetación arbórea (hacia el oeste). Presenta una asociación de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas redepositadas por el viento, de textura areno-franca fina, de moderadamente profundos (60 a 80 cm), levemente ácidos, con un déficit hídrico estival moderado y drenaje moderadamente rápido.</p>	<p>Suelos con drenaje moderadamente rápido y moderadamente profundos. Zona Km 5, PLM y VLG.</p>

	Suelos de laterales de valles glaciarios	<p>Un primer estrato corresponde a las laderas altas del sector sudoeste del área, a una altitud entre los 1200 a 1500 m sobre el nivel del mar (la vegetación preponderante es de bosque denso de lengas). Un segundo estrato se ubica en las laderas bajas del sector sudoeste del área, a una altitud de 900 a 1200 m sobre el nivel del mar (la vegetación dominante es de bosque y matorrales de Nothofagus sp. y el bosque mixto de nothofagus y ciprés). Ambos estratos presentan las características a continuación.</p> <p>Es un relieve montañoso, con pendientes dominantes de muy pronunciadas a escarpadas. Predominan los suelos de textura franco-arenosa muy fina, de moderadamente profundos (de 50 a 80 cm) a profundos (más de 80 cm), bien drenados, moderadamente ácidos (pH 5,5 a 6,0), de fuerte reacción al fluoruro de sodio (FNa), con un déficit hídrico estival de nulo. Se observan escasos afloramientos rocosos (entre 3 a 5 %).</p>	<p>Suelos moderadamente profundos a profundos, bien drenados y con escasos afloramientos rocosos.</p> <p>Zona Km 5 y VLG.</p>
--	--	---	---

Tabla 13. Características del suelo de acuerdo a unidad cartográfica. Fuente: (Pereyra et al., 2005).

Una vez identificados cada tipo de suelo (unidad cartográfica) en las imágenes satelitales, se procedió a hacer una clasificación de los mismos de acuerdo a la profundidad, porcentaje de afloramientos rocosos y tipo de drenaje, identificando tres clases de riesgo de contaminación asociados. De esta forma, se le otorgó a cada categoría un valor del 1 al 3 (esta información será presentada en la tabla 17, sección 5.2.5).

En la figura 13 se muestra la clasificación de tipo de suelo según unidad cartográfica, aplicada a la zona de PLM (a modo de ejemplo).

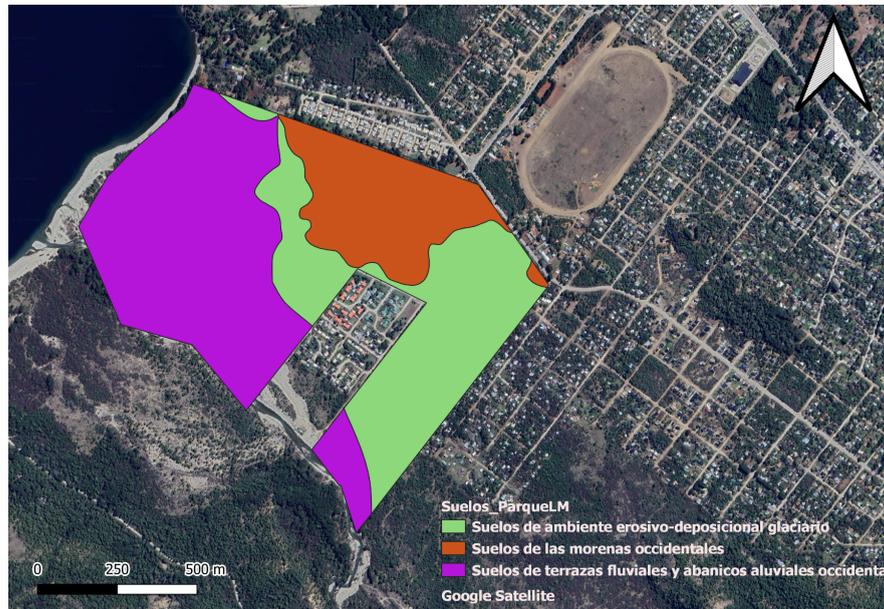


Figura 13. Clasificación de suelos, zona de PLM. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

Pendiente

Para definir la pendiente del terreno se utilizó la herramienta “slope”, aplicada a una capa ráster de modelo digital del terreno, a través de la cual se puede generar la pendiente del terreno en porcentaje. Una vez obtenidos los valores de pendiente, se procedió a adoptar la clasificación de la tabla 14.

Variable	Clases	Características Generales
Pendiente	Leves	Pendientes < 20 %
	Moderadas	Pendientes de 20 a 30 %
	Pronunciadas	Pendientes > 30 %

Tabla 14. Clasificación de pendientes. Fuente: (Department of Environmental Conservation, 2019); (EPA, 2002); (Auckland Regional Council, 2004).

En la figura 14 se muestra la clasificación de pendientes, aplicada a la zona de VLG (a modo de ejemplo).

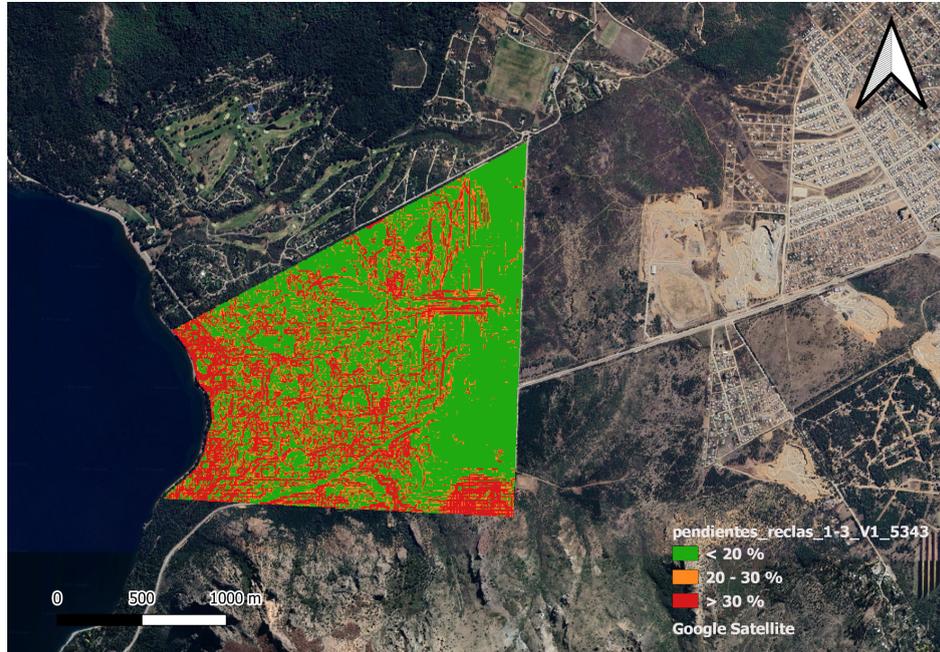


Figura 14. Clasificación de pendientes, zona Villa Lago Gutiérrez. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

Una vez obtenida la capa de pendientes para cada zona de estudio, se prosiguió a rasterizar dichas capas, asignándole un valor del 1 al 3 a cada píxel de la capa. Esta clasificación fue realizada teniendo en cuenta si el nivel de riesgo de contaminación del píxel es considerado como bajo, medio o alto para cada rango de pendiente.

Cabe destacar que para el caso particular de la zona del km 5, el modelo digital obtenido corta una parte del terreno de análisis, por lo que parte de los resultados no han podido ser observados en la última parte de la evaluación de riesgo. Esto se ve reflejado en el mapa final (sección 5.6).

Probabilidad de anegamiento

La probabilidad de anegamiento del terreno fue definida a partir de una capa obtenida del SEGEMAR (Pereyra et al., 2005), establecida de acuerdo al tipo de suelo (cartografía) presente en cada zona. Los principales aspectos tenidos en cuenta en la cartografía han sido la diferencia de altura respecto al nivel del curso fluvial, la mayor o menor proximidad a los cursos fluviales, la densidad de drenaje de cada Unidad Geomórfica, la génesis de las geoformas, el tipo de vegetación y el grado de cobertura (teniendo en cuenta la presencia de comunidades especializadas), los tipos de suelos (existencia de rasgos hidromórficos,

textura del suelo y asignación taxonómica), presencia de drenaje endorreico, pendientes (en general más bajas, más peligrosidad, si bien existen excepciones), la permeabilidad de los materiales superficiales y afloramientos rocosos y la información histórica recogida a partir de diversas fuentes (Pereyra et al., 2005). Las zonas que corresponden a una probabilidad de anegamiento alta son, de acuerdo al informe de SEGEMAR, a fajas fluviales y/o mallines (en este caso no se detectaron zonas mallinosas). Las zonas con riesgo de anegamiento moderado son otro tipo de depósitos aluviales, como lo son las pendientes aluvio-coluviales y abanicos aluviales y bajadas (Pereyra et al., 2005).

La clasificación considerada fue la observada en la tabla 15.

Variable	Clases
Probabilidad de anegamiento	Alta
	Media
	Baja

Tabla 15. Probabilidad de anegamiento del terreno. Fuente: (Pereyra et al., 2005).

En la figura 15 se muestra a modo de ejemplo la clasificación según probabilidad de anegamiento del suelo, aplicada a la zona de Procrear.

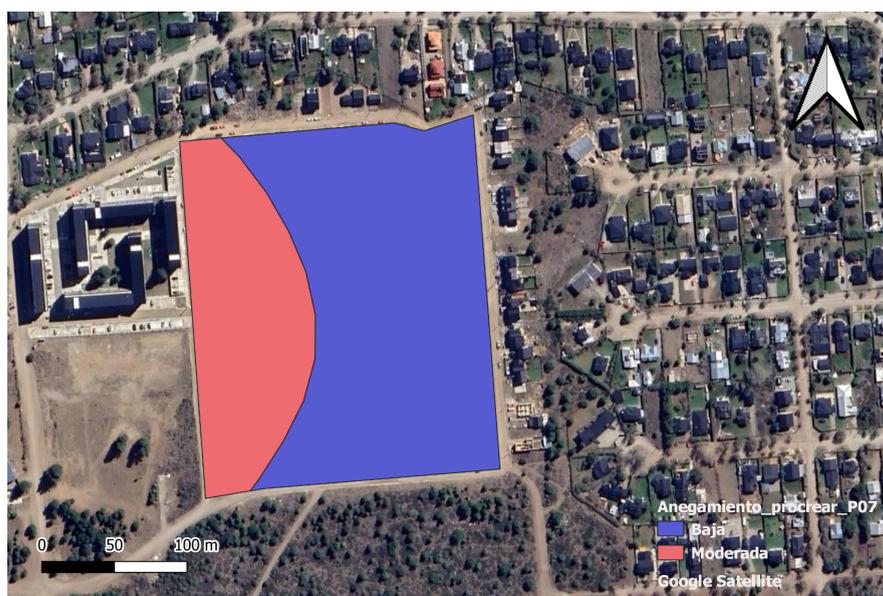


Figura 15. Clasificación de probabilidad de anegamiento, zona barrio Procrear. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

Distancia con respecto a escurrimientos superficiales

Para definir distancia a cursos de agua superficial se utilizó la herramienta basic terrain analysis de QGIS, la cual genera, a partir del modelo digital utilizado, una capa de escurrimientos superficiales (denominada “channel network”). Dicha capa fue modificada mediante un filtrado de los cursos con órdenes de Strahler menores (1 y 2) para ser más conservadores, y mediante observaciones de la topografía del terreno.

Una vez modificada la capa de escurrimientos superficiales, se prosiguió a trazar una capa tipo buffer multi-anillos, con una equidistancia de 10 metros entre los mismos. Dicho valor fue elegido de acuerdo a los parámetros establecidos por la ordenanza municipal N° 2802-CM-16 y Resolución 200-I-2018, como así también la normativa nacional e internacional analizada en el apartado de Normativa de este PFI. La clasificación establecida se muestra en la tabla 16.

Variable	Características Generales	Valor por anillo
Escurremientos	Distancia < 10 m	3
	Distancia 10 m - 20 m	2
	Distancia > 20 m	1

Tabla 16. Distancia con respecto a escurrimientos superficiales.

Luego, se prosiguió a rasterizar dicha capa, asignándole un valor del 1 al 3 a cada píxel de la capa, de acuerdo al nivel de riesgo asociado a cada anillo trazado.

5.2.3. Receptores

El componente receptor fue considerado a partir de la variable denominada capacidad de dilución del cuerpo receptor (cuerpo de agua superficial).

Para este parámetro se consideraron los cuerpos de agua cercanos a los escenarios analizados y se dividieron en tres categorías relativas, diferenciándolos de acuerdo a su capacidad de dilución, según el volumen de dilución en:

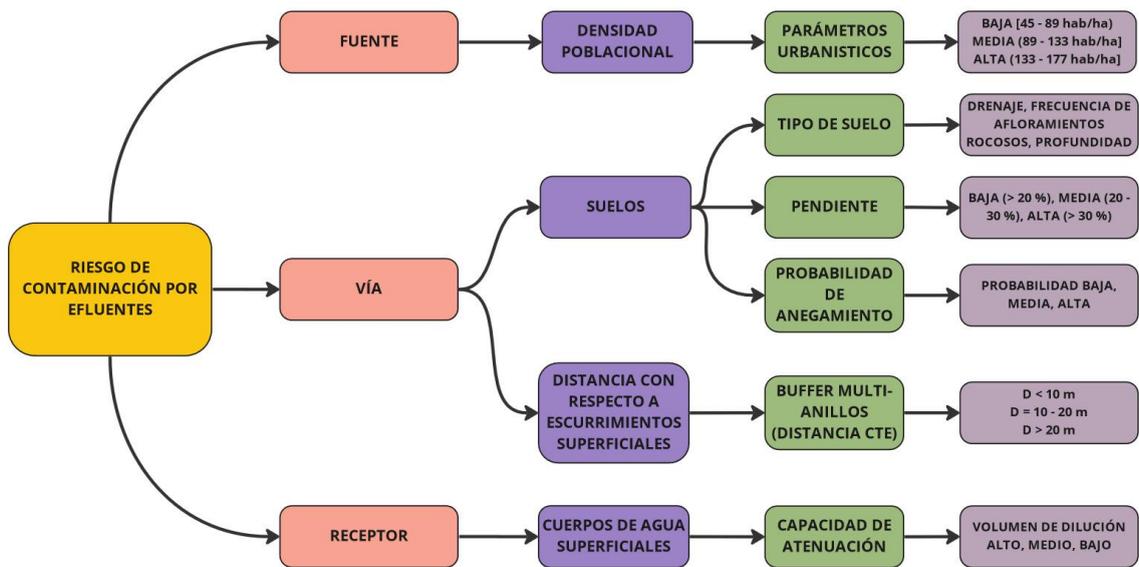
1. Cuerpos de agua superficiales con capacidad de dilución alta: LNH.
2. Cuerpos de agua superficiales con capacidad de dilución medio: Lago Moreno y Lago Gutiérrez.

3. Cursos de agua con capacidad de dilución baja: Arroyo Casa de Piedra.

Cabe mencionar que el LNH tiene áreas de circulación/dilución restringida, como ocurre por ejemplo en el fondo del Brazo Campanario (Collet, 2009), con menor capacidad de dilución, pero no se encontraban cercanas a las zonas analizadas y por lo tanto no se tuvieron en cuenta.

5.2.4. Resumen

A continuación, en el esquema 3, se muestra un resumen de las variables consideradas en la evaluación de riesgo por contaminación de efluentes, provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*. Se detallan las variables y valores por cada sección, separando en fuente, vía y receptor.



miro

Esquema 3. Resumen de variables consideradas en la evaluación de riesgo por contaminación de efluentes, considerando el modelo fuente - vía - receptor. Fuente: Elaboración propia con Miro.

5.2.5. Tabla de valorización y ecuación de riesgo

A continuación, en la tabla 17, se muestra la valorización realizada por cada variable y considerando el resumen del esquema 3, para definir el nivel de riesgo por contaminación de efluentes de cada sector de análisis.

Componente	Variable	Clases	Valoración
Fuente	Densidad poblacional potencial	Baja	1
		Media	2
		Alta	3
Vía	Suelo	Suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental	3
		Suelos de terrazas glaciafluviales y glacialacustres oriental	2
		Suelos de ambiente erosivo-deposicional glaciario	2
		Suelos de las morenas occidentales	2
		Suelos de laterales de valles glaciarios	1
	Pendiente	Leves	1
		Moderadas	2
		Pronunciadas	3
	Probabilidad de anegamiento	Baja	1
		Media	2
		Alta	3

	Distancia con respecto a escurrimientos superficiales	Distancia < 10 m	3
		Distancia 10 m - 20 m	2
		Distancia > 20 m	1
Receptor	Capacidad de dilución de cuerpos receptores	Lago Nahuel Huapi	1
		Lago Gutierrez	2
		Lago Moreno	2
		Arroyo Casa de Piedra	3

Tabla 17. Valores de riesgo establecidos por variables evaluadas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez valoradas todas las capas contempladas en el análisis, se procedió a definir el riesgo de contaminación por efluentes aplicando el modelo fuente - vía - receptor, mediante la multiplicación de los términos mencionados, como se expresa en la siguiente ecuación.

$$RC = F * V * R$$

Donde

RC = Riesgo de contaminación por efluentes provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*,

F = Fuentes de contaminación,

V = Vías de contaminación,

R = Receptores de contaminación.

Nótese la dependencia entre factores, por lo que, si no es considerada la fuente, vía o receptor (si alguno de estos términos es nulo), el riesgo a su vez vale "0" o es nulo.

En este caso, la ecuación completa fue definida de la siguiente manera:

$$RC = \underbrace{DP}_{Fuente} * \underbrace{(S + P + A + DE)}_{Vía} * \underbrace{CD}_{Receptor}$$

Donde:

DP = Densidad poblacional potencial

S = Características del suelo

P = Pendiente

A = Probabilidad de anegamiento

DE = Distancia con respecto a escurrimientos superficiales

CA = Capacidad de dilución de cuerpo de agua superficial

Los mapas registrados en cada una de las etapas previamente detalladas se encuentran en el Anexo III del presente documento.

5.2.6. Observaciones a campo

En la siguiente sección se hace una breve descripción de las observaciones realizadas a campo, con la finalidad de complementar con la evaluación de peligrosidad realizada con el QGIS. Las salidas a los sitios de estudio seleccionados tuvieron como función observar las zonas con mayor susceptibilidad a recibir efluentes y con menor capacidad de transformar o degradar los mismos. Con este objetivo planteado, se recorrieron distintas zonas de cada barrio, siempre que se pudiera tener acceso. Todas las salidas se realizaron entre los meses de agosto y septiembre del 2022, época posterior al otoño e invierno, los cuales presentaron precipitaciones de alta frecuencia e intensidad. Asimismo, las salidas a campo fueron realizadas durante periodos secos posteriores a precipitaciones (más de 72 hs después). De esta manera, los cursos de agua o casos de anegamiento observados en cada salida no fueron directamente asociados a las precipitaciones puntuales de días anteriores. En el caso

particular de zanjas o drenajes pluviales, se evaluó si la presencia de agua/humedad se trataba de una escorrentía inmediata dado a precipitaciones intensas recientes (previo a las 72 hs), o proveniente de reservorios de agua cercanos (napa freática, cuerpo de agua superficial).

Las imágenes obtenidas en las salidas a campo se encuentran en el Anexo II.

Zona Kilómetro 5

Esta urbanización, delimitada entre las calles Sara Maria Furman y Nilpi, fue recorrida en el mes de septiembre de este a oeste, en época de escasas precipitaciones. A pesar de que no había llovido por lo menos una semana, se observaron a lo largo de todo el barrio numerosos escurrimientos superficiales, tal como se observa en los mapas de QGIS relevados. Tanto en la zona este como al oeste del barrio, la napa freática se encontraba en la superficie, habiendo pequeños canales en todas las calles (imagen 1).



Imagen 1. Napa freática superficial, calle De los Carpinteros, zona Kilómetro 5.

Se destacan las siguientes observaciones:

- 1) Se trata de una urbanización ya consolidada, con la mayor parte de los terrenos construidos, en muchos casos con más de una vivienda. Esto puede indicar que se utilizan sistemas de tratamiento *in situ* viejos o dimensionados de forma inadecuada.
- 2) Se detectó la presencia de pequeños comercios, fábricas, escuelas y alojamientos turísticos, lo cual denota la presencia de población turística en el barrio, con hospedajes transitorios. Esto sugiere que la carga y erogación de los sistemas de tratamientos de efluentes fluctúa de acuerdo a esta población. Sin embargo, no se sabe con exactitud el porcentaje de población estable frente a la carga turística.
- 3) Se percibieron malos olores, presuntamente de origen cloacal, en varias de las calles transitadas, lo cual puede ser un indicador del mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento *in situ*. Hay que recordar que en esta zona, entre las calles A.M. Furman y Av. E. Bustillo, se encuentra una estación de bombeo de la red cloacal que no funciona de forma adecuada.
- 4) La pendiente del barrio disminuye hacia la calle Del Hurón, donde el agua se concentra en una zona de mallín, con presencia de pequeños arroyos que atraviesan el barrio de este a oeste, pasando por debajo de calles y entre distintos terrenos. Este aspecto se valida con lo observado en el modelo digital. Se realizó el avistamiento de un pequeño arroyo denominado A. Cascada, similar al resto de los escurrimientos superficiales relevados en la zona.

Urbanización Procrear

En el caso de la urbanización Procrear, se ha observado a campo que la misma posee muy poca variabilidad de pendiente, a excepción de la zona oeste, donde se observa un leve aumento de la misma. Esto se observa a su vez en los mapas satelitales trabajados con QGIS. Asimismo, se observó que la mayor parte de los lotes ya han sido construidos y están habitados, por lo general por familias de más de dos individuos.

Lo que más llamó la atención fue que los lotes eran muy pequeños para el tamaño de las casas construidas, tal es así que la mayor parte de las mismas presentaban dos pisos (imagen 2). Este aspecto no fue tan obvio a la hora de observar los mapas elaborados en QGIS, dado que el barrio presenta densidades bajas a medias. Sin embargo, sí se ve reflejado esto al verificar digitalmente el tamaño de los terrenos.

Asimismo, la superficie destinada a ocupar jardines y frentes de los hogares, y por lo tanto donde se ubica el sistema de tratamiento de efluentes, era muy pequeña. En un caso en

particular, se observó encharcamiento de efluentes provenientes de la casa, y se percibieron malos olores asociados. Se estima igualmente que dichos efluentes no eran de origen cloacal. Este área presentaba un riesgo de anegamiento bajo en los mapas de QGIS, lo cual no era esperado.



Imagen 2. Presencia de lotes pequeños, comparado al tamaño de las casas construidas, barrio Procrear.

Barrio Villa Lago Gutiérrez (VLG)

Las observaciones destacadas de las salidas al barrio VLG, y que fueron corroboradas con los resultados obtenidos de la evaluación de riesgo subsiguiente, fueron las siguientes:

- 1) El barrio cuenta con una gran cantidad de escurrimientos superficiales, que se pudieron observar a simple vista, a pesar de que se recorrió el barrio durante época con escasas precipitaciones (imagen 3). Por lo tanto, se asume que se trataban en su mayoría afloramientos naturales o escurrimientos provenientes del derretimiento de nieve en la montaña (Cerro Ventana y alrededores). Esta observación era esperable de acuerdo con lo relevado con el modelo digital, donde se pudo observar que los escurrimientos superficiales provienen de zonas con mucha pendiente y cercanas a cumbres rocosas.



Imagen 3. Esguerrimiento superficial, zona sur del barrio.

- 2) En la zona norte del barrio, en cercanías de la escuela primaria QMark y la Av. Cerro Catedral, se advirtió la presencia de suelos de textura arcillosa, típicos de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas, con un drenaje pobre. Vecinos entrevistados hicieron hincapié sobre este aspecto y la recurrencia de situaciones de encharcamientos o anegamiento de agua en la zona. Este aspecto se pudo anticipar mediante el análisis de mapas de QGIS. Asimismo, vecinos entrevistados mencionaron que utilizaron hasta hace pocos años un arroyo que atraviesa su terreno como suministro de agua potable. Sin embargo, esta situación cambió cuando tomaron la decisión de mandar a analizar una muestra de la misma, siendo la calidad bacteriológica/química del agua no apta para consumo.
- 3) En la zona sur del barrio, por otro lado, se atisbaron cambios en las características del suelo, siendo estos de una textura franco - arenosa y más secos, con presencia de otro tipo de vegetación y una leve presencia de afloramientos rocosos. Asimismo, se observó un cambio en la altura de la napa freática, siendo esta más alta en la zona norte y menos perceptible en la zona sur, a medida que nos acercamos a la formación Ventana.
- 4) El barrio VLG cuenta con lotes de gran tamaño, muchos de ellos a medio construir, dado que se trata de un barrio con poca antigüedad (se estima 10 años aproximadamente). El gran tamaño de los lotes denota una baja densidad poblacional, algo que se refleja en los mapas de QGIS analizados.

Barrio Parque Lago Moreno

Este barrio se caracteriza, de acuerdo a lo observado en el campo, por poseer una gran extensión y lotes de mayor tamaño, esto se ve reflejado en los datos de densidad potencial obtenidos por QGIS. Hacia la costa de la Playa con Viento del Lago Moreno, se pudo avistar un escurrimiento de agua aflorando en la costa, cercano al estimado en el modelado de escurrimiento realizado en QGIS, estimando que el mismo tiene un recorrido en su mayoría por vía subterránea (no se observa agua en superficie), lo que probablemente se asocie con un sustrato altamente permeable. Asimismo, se observó en dicho escurrimiento superficial sobre la costa, la presencia de algas verdes (en invierno), lo cual podría estar relacionado al aporte de nutrientes de efluentes de viviendas ubicadas en esta cuenca hidrográfica, así como también porque pueden desarrollarse naturalmente en este ambiente (imagen 4). En esta zona y dentro de la cuenca del Arroyo Casa de Piedra, se observaron suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidentales, con textura arenosa y pedregosa, lo cual permite la infiltración rápida de agua. Es por ello que, al preguntar a vecinos de la zona, estos expresaron tener pocos problemas de anegamiento o malos olores asociados a su sistema de tratamiento *in situ* (a pesar de ser un barrio con antigüedad de por lo menos 10 años).

Dirigiéndonos hacia el este del barrio, se observó un cambio de vegetación y de las características del sustrato, pasando a suelos más húmedos y con textura franco-arenosa, características de suelos de ambiente erosivo-deposicional glaciario. Además, se pudieron observar pequeños arroyos, sin embargo, estos fueron eliminados del mapa satelital en QGIS por pertenecer a órdenes de Strahler menores (1 y 2, para ser conservadores). Asimismo, se observó zonas con la napa freática alta, a diferencia de la zona oeste del barrio, donde no se vio afloramiento de la napa.

Otras observaciones realizadas a campo son:

- La presencia de lotes relativamente grandes, con pocas casas en construcción, dado que se trata de un barrio más antiguo. Es por ello que no se pudo observar a simple vista la ubicación de los sistemas de tratamiento, salvo por la presencia de tubos de ventilación, los cuales evidenciaron la presencia de los mismos.
- Se constató la construcción de casas a pocos metros de la orilla del Arroyo Casa de Piedra, lo cual denota el riesgo elevado por contaminación de efluentes, como se observa en el mapa de riesgo obtenido por QGIS.



Imagen 4. Afloramiento de escurrimiento de agua, observación de presencia de algas verdes.

5.3. Resultados de evaluación y análisis

Zona Kilómetro 5

A continuación, en la figura 16, se muestra el mapa de riesgo por contaminación de efluentes provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*, correspondiente a la zona del km 5, entre las calles Nilpi y Sara Maria Furman.

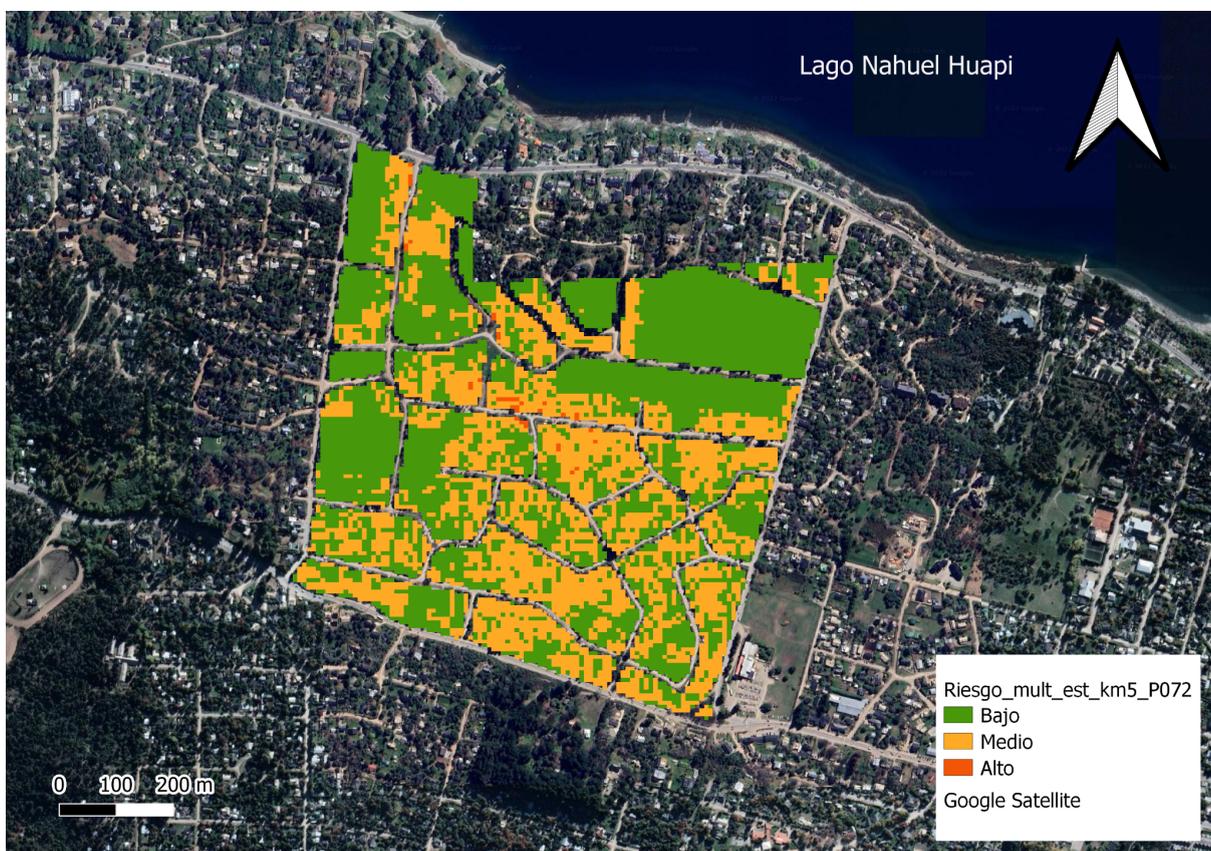


Figura 16. Mapa de riesgo por contaminación de efluentes, correspondiente a la zona de km 5. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

En este caso particular, se observa una pequeña zona en el centro del barrio con un riesgo alto (referencias en figura 16), en la cual fueron condicionantes los siguientes aspectos:

- Se trata de una zona con probabilidad de anegamiento moderada, dado que en esa zona hay mallín;

- Posee pendientes medias a altas (20% o más);
- Densidad poblacional potencial media (133 - 177 hab/ha);
- Es una zona que atraviesa escurrimientos superficiales (ej. A. La Cascada).

Las zonas con un riesgo bajo, con una coloración verdosa, se caracterizan por poseer:

- Suelos con una probabilidad de anegamiento baja;
- Suelos de morenas occidentales (desarrollados sobre cenizas volcánicas, con textura areno - franca fina, moderadamente profundos);
- Pendientes bajas a medias (0 a 20 %);
- Densidad poblacional potencial baja (89 - 133 hab/ha);
- Distancia mayor a 20 m con respecto a escurrimientos superficiales.

De acuerdo a estas observaciones, se puede determinar que los factores condicionantes para determinar el riesgo por contaminación por efluentes en la zona del km 5 son la probabilidad de anegamiento del suelo, la densidad poblacional y la cercanía con respecto a escurrimientos superficiales. Los valores de riesgo resultantes fueron entre 10 y 30 puntos.

Urbanización Procrear (Zona este)

En la figura 17 se muestra el mapa de riesgo por contaminación de efluentes provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*, correspondiente a la urbanización Procrear, ubicada al este de la ciudad, en el barrio El Cóndor.



Figura 17. Mapa de riesgo por contaminación de efluentes, correspondiente a la zona de la urbanización Procrear. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

El aspecto más significativo a tener en cuenta para la urbanización Procrear es que la densidad poblacional potencial es alta para todos los lotes de la misma, teniendo en cuenta la superficie de los lotes. Asimismo, se puede considerar que la zona seleccionada no posee influencia significativa por parte de escurrimientos superficiales, y posee poca variabilidad de superficie en la mayor parte del terreno.

Sin embargo, se observa que casi la totalidad del predio analizado posee un riesgo por contaminación de efluentes bajo, dado principalmente por los siguientes aspectos:

- Lejanía con respecto a cuerpo de agua (en este caso, el LNH)
- Predominan suelos de terrazas glacifluviales y glacialacustres oriental, muy bien provistos de materia orgánica (4 a 6 %), moderadamente profundos a profundos, entre otros aspectos.
- Probabilidad de anegamiento baja.

Por otro lado, la zona oeste del barrio presenta zonas de riesgo medio-alto, dado principalmente a que allí:

- Se observa un aumento de pendiente en el terreno.
- El tipo de suelo se caracteriza por poseer probabilidad de anegamiento moderado.
- Son suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental (textura arenosa fina y pedregosa, escaso contenido de materia orgánica, drenaje imperfecto a pobre).
- Aumenta la densidad poblacional potencial debido a que los lotes son un poco más grandes en esta franja del barrio.

De acuerdo a estas observaciones, se puede determinar que los factores condicionantes para determinar el riesgo por contaminación por efluentes en la zona mencionada son la probabilidad de anegamiento del suelo, la densidad poblacional y el tipo de suelo. Esto dio como resultado valores de riesgo de entre 8 y 27 puntos.

Barrio Villa Lago Gutiérrez

En la figura 18 se muestra el mapa de riesgo por contaminación de efluentes provenientes de sistemas de tratamiento *in situ*, correspondiente al barrio VLG, ubicado al sudoeste del ejido urbano.

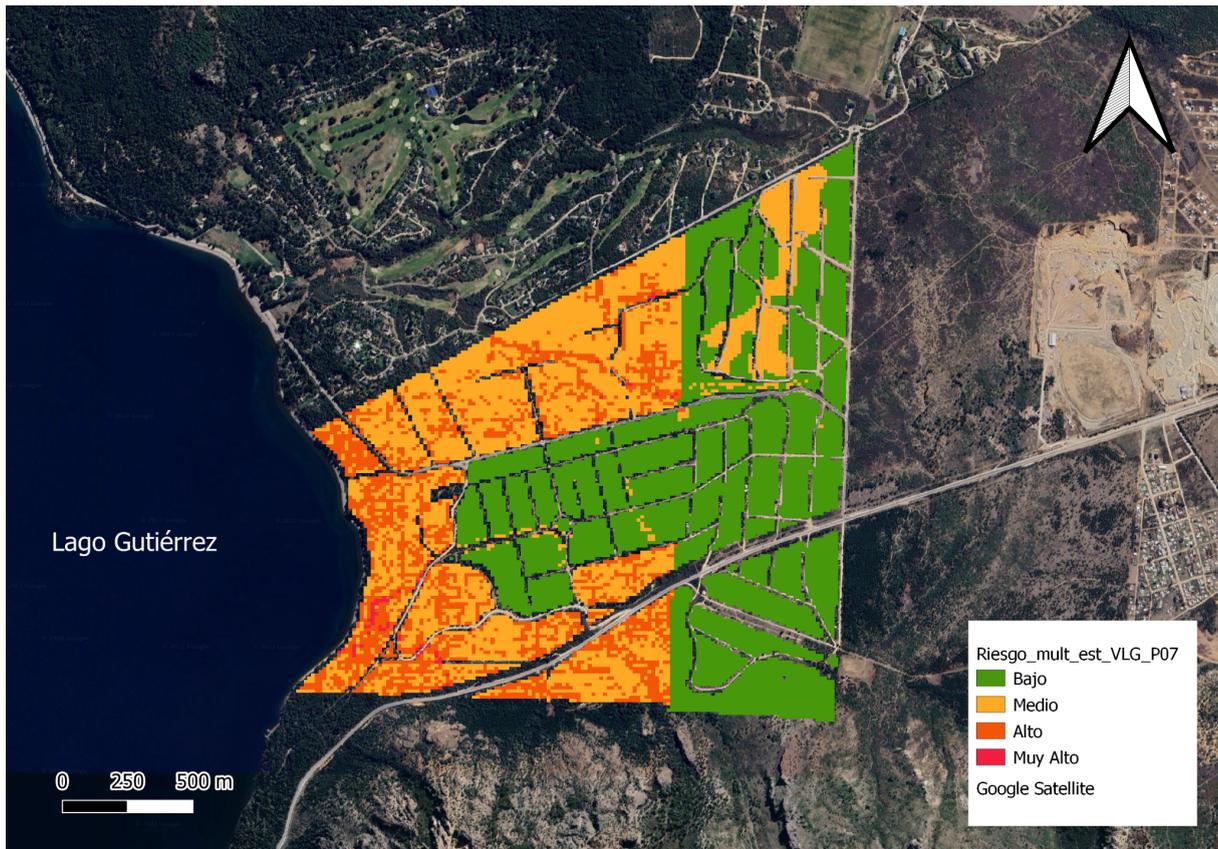


Figura 18. Mapa de riesgo por contaminación de efluentes, correspondiente a la zona de VLG. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

En el caso de VLG, dicho barrio posee una gran variabilidad de pendiente, habiendo aumentos significativos de la misma a medida que nos acercamos a la costa del Lago Gutiérrez, y también en la esquina sudeste del barrio, dado que se acerca al Cerro Ventana. Asimismo, a diferencia de la urbanización Procrear, el barrio posee lotes de gran superficie, lo cual hace que las densidades poblacionales sean bajas a medias, a diferencia que en la urbanización Procrear.

En la zona este del barrio el riesgo por contaminación disminuye debido a que la densidad poblacional potencial en este sector es baja (45 a 89 hab/ha), así como también las pendientes. Los valores de riesgo registrados fueron entre 10 y 36 puntos (siendo el valor máximo mayor a la Urbanización Procrear y zona del km 5).

Se observa en el sector noreste un riesgo por contaminación medio, dado que en ese sector se produce un cambio de suelo, y por lo tanto sobre la posibilidad de anegamiento en la zona. El suelo que encontramos en ese sector es del tipo Suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental, del mismo tipo de suelo que afecta la zona oeste del Barrio Procrear. Asimismo, en esta zona la probabilidad de anegamiento es alta.

Por otra parte, en el sector oeste los riesgos aumentan, siendo en su mayoría zonas con riesgo medio y alto. Esto se debe al aumento de pendiente y densidad poblacional, dado que el tipo de suelo y la probabilidad de anegamiento no son variables condicionantes en este sector. Los pequeños sectores con riesgo muy alto (zona centro y sudoeste), se debe a que hay influencia de escurrimientos superficiales.

Se puede observar que, para este caso de análisis, las variables determinantes son la densidad poblacional, la pendiente y la cercanía con respecto a escurrimientos superficiales.

Barrio Parque Lago Moreno

Se muestra el mapa de riesgo por contaminación de efluentes provenientes de sistemas de tratamiento *in situ* en la figura 19, la cual corresponde al barrio PLM, ubicado al oeste del ejido urbano, a unos 13 kilómetros del centro de la ciudad.

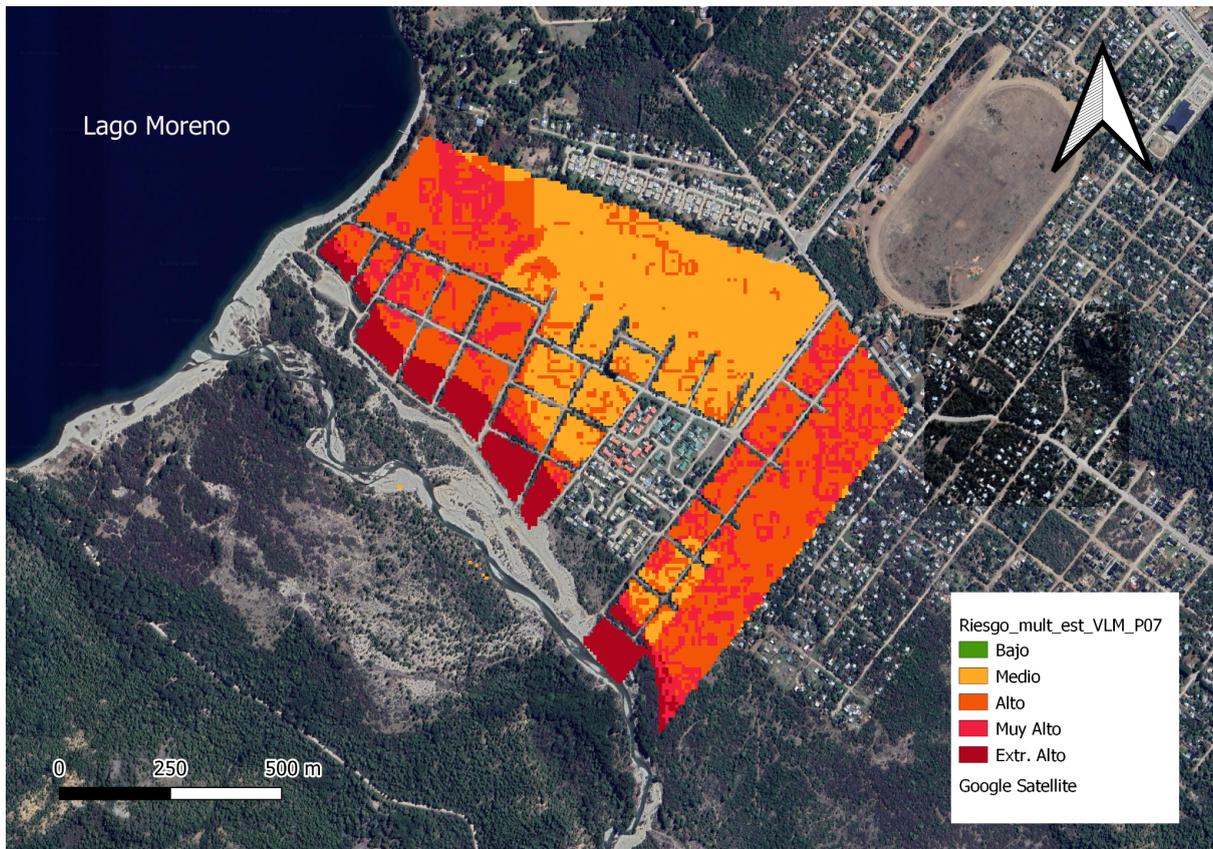


Figura 19. Mapa de riesgo por contaminación de efluentes, barrio PLM. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS.

Este barrio se caracteriza por poseer los valores de riesgo más elevados, llegando a valores de hasta 90 puntos, a diferencia del barrio VLG, el cual tiene como valor de riesgo máximo 36 puntos. El valor mínimo de riesgo es a partir de los 20 puntos, a diferencia de las otras zonas estudiadas. Es por esta razón por las que se definió como zonas con riesgo extremadamente alto a aquellas que tuvieran un valor de riesgo de 45 puntos o mayor. Aquellas zonas se encuentran en esta categoría debido a:

- Cercanía inmediata con cuerpos de agua superficiales (Arroyo Casa de Piedra).
- Presencia de suelos del tipo de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental, que se encuentra en la zona oeste del Barrio Procrear y noreste de VLG (textura arenosa fina y pedregosa, drenaje imperfecto a pobre).
- Presencia de pendientes elevadas (zona sudeste).
- Densidades poblacionales elevadas (zona sudeste).
- Cercanía con respecto a escurrimientos superficiales (zona sudoeste).

Las zonas con riesgo medios, altos y muy altos también se ven afectados en mayor o menor medida por las variables anteriores, pero se caracterizan por estar más alejados con respecto al Arroyo Casa de Piedra, y ubicarse sobre suelos de:

- Morenas Occidentales, los cuales están desarrollados sobre cenizas volcánicas, con textura areno - franca fina, moderadamente profundos y moderadamente provistos de materia orgánica.
- Ambiente erosivo-deposicional glaciario, de textura franco-arenosa muy fina, moderadamente profundos, bien drenados, muy bien provistos de materia orgánica.

Asimismo, dicha zona pertenece a la cuenca que drena sus aguas al Lago Moreno.

En términos generales, los niveles elevados de riesgo en este barrio son dados por la cercanía con respecto a cuerpos de agua de baja capacidad de dilución, en comparación al LNH. Asimismo, otra variable condicionante es la densidad poblacional potencial de los lotes, siendo los niveles medios o altos. Con respecto a las otras variables contempladas, estas afectan en mayor y en menor medida a diferentes sectores de la zona de estudio.

Análisis general y comparativo

En primer lugar, debe mencionarse que se utilizaron límites barriales, debido a que esto permitió utilizar las herramientas de QGIS y enmarcar cada sistema de estudio con mayor facilidad.

En segundo lugar, debe destacarse que la evaluación de riesgo planteada no considera como variable la capacidad de dilución de cuerpos de agua subterráneos (humedales, acuíferos), dado que no se encontró información disponible. Es debido a que, para ser más conservadores, se optó por considerar como receptores a cuerpos de agua superficiales, tales como lagos y arroyos. Asimismo, debe recalcar que la población cumple un rol de fuente o “generador” de contaminación, y no de receptor. Por lo tanto, el análisis se centra en los recursos naturales como destinatarios de los contaminantes, y que, en consecuencia, dicho fenómeno afecta de forma indirecta a la salud pública.

Asimismo, se observaron variaciones entre los resultados obtenidos con el QGIS y las observaciones realizadas a campo, reflejando una limitación con respecto al método utilizado. Se destacan dos aspectos con respecto al tipo de suelo (unidad cartográfica), la pendiente y su drenaje asociado. En el caso del barrio PLM, por ejemplo, predominan suelos de terrazas fluviales y abanicos aluviales occidental, los cuales poseen un drenaje imperfecto a pobre. Sin embargo, por las observaciones realizadas a campo y las preguntas realizadas a los vecinos, se trata de una zona con un nivel de drenaje alto, siendo un suelo totalmente permeable. Lo mismo ocurre en la zona del Km 5, donde se define el mismo tipo de suelo para la zona alta del barrio y también para el resto de la ladera norte del Cerro Otto (suelos de laterales de valles glaciarios). Los mismos presentan pendientes pronunciadas y escarpadas, con un buen drenaje. Sin embargo, se estima que estas características corresponden a zonas de mayor altitud del Cerro Otto, dado que a campo se observó lo contrario (poca pendiente, drenaje pobre a imperfecto).

Con respecto a la evaluación de riesgo y sus resultados, los mismos se encuentran resumidos en la tabla 18. Como se observa en la misma, los niveles de riesgo por contaminación más elevados se encuentran en el barrio PLM. Esto se debió a su cercanía con respecto a cuerpos de agua con bajo volumen de dilución y a su densidad poblacional potencial, presentando lotes de tamaño mayor a los de la urbanización Procrear o la zona del km 5.

Área de estudio	Valor de riesgo mínimo	Valor medio de riesgo	Valor de riesgo máximo
Zona del km 5	10	20	30
Urbanización Procrear	8	17,5	27
VLG	10	23	36
PLM	20	55	90

Tabla 18. Valores de riesgo máximo, media y mínimo de contaminación por efluentes provenientes de sistemas de tratamiento in situ. Fuente: Datos obtenidos de QGIS.

En segundo lugar se ubica el barrio VLG, con zonas de pendiente significativa y suelos con drenaje pobre, sobre todo a medida que nos acercamos a la costa del Lago Gutiérrez.

En tercer lugar ubicamos a las zonas Procrear y kilómetro 5. En el primer caso, dado a la densidad poblacional comparado al tamaño de los lotes, y al tipo de suelo. En el segundo caso, debido a la cercanía con respecto a escurrimientos superficiales, la densidad poblacional y la probabilidad de anegamiento.

Cabe resaltar que, en el caso particular del Procrear, el riesgo es mayormente bajo. Sin embargo, al observar detalladamente las densidades poblacionales del barrio, por el valor de 1 hab/ha, la mayor parte de los lotes tienen una densidad media (adoptando un factor fuente de "2" y no de "3"). Asimismo, por las observaciones a campo realizadas, este factor resultó ser lo más significativo. Es por estas razones que se concluye que el riesgo del barrio Procrear debería ser mayor, llegando a valores similares que los barrios VLG y PLM.

En el caso de PLM, el Arroyo Casa de Piedra y el Lago Moreno poseen un factor de dilución de los cuerpos receptores de 3 y 2, respectivamente. Asimismo, el barrio VLG se encuentra en cercanía con el Lago Gutiérrez, con un factor de dilución de 2 puntos. Por lo contrario, los barrios Procrear y del kilómetro 5 se ven afectados por un factor de dilución de cuerpo receptor (LNH) de 1. Teniendo en cuenta estos valores, los niveles de riesgo dieron elevados en el caso de VLG y PLM, mientras que en el caso de Procrear y km 5 los niveles fueron menores.

Se puede decir entonces, a partir del análisis realizado, que la variable de capacidad de dilución de cuerpos de agua receptores fue el factor por el cual se observaron diferencias marcadas entre zonas de estudio. Sin embargo, es adecuado mencionar que todas las variables tienen el mismo grado de importancia en una evaluación de riesgo por contaminación.

Los mapas obtenidos a lo largo de todo el proceso de realización de la evaluación de riesgo, los cuales contemplan los distintos factores evaluados, se presentan en el Anexo III del presente documento.

6. Plan de acción y propuestas de mejora

Esta sección tiene como objetivo elaborar una propuesta de plan de acción para mejorar el tratamiento de efluentes cloacales *in situ* en la ciudad. Los aspectos a considerar para asegurar el cumplimiento del objetivo 3 son:

- Definición de características ideales de un sistema de tratamiento de efluentes *in situ* adaptado a las condiciones locales.
- Elaboración de metodología optimizada para dimensionar cámaras sépticas, lecho de infiltración y otros, adaptado a condiciones locales.
- Propuestas de alternativas para escenarios no estándar (por ej. napa freática alta, permeabilidad de suelos/depositos inadecuada).
- Propuesta de cambios en normativa local y gobernanza.

Estas propuestas y recomendaciones se desarrollarán a continuación.

6.1. Sistema de tratamiento adaptado a condiciones locales

De acuerdo a los resultados y observaciones obtenidas de los puntos anteriores, incluyendo la encuesta pública, entrevistas a referentes institucionales y evaluación de riesgo por contaminación por vuelco de efluentes, se definen en este punto las características ideales con las que debe contar un sistema de tratamiento *in situ* de efluentes. Estas características son definidas con la finalidad de optimizar el tratamiento de los efluentes cloacales y minimizar el riesgo de contaminación. Deberán contemplarse a su vez otros parámetros ambientales, tales como impacto directo e indirecto sobre la vegetación, particularmente cuando esta es nativa. Un impacto indirecto de los STEIS es el de incrementar la humedad y grado de saturación del suelo, lo cual favorece la aparición y dispersión de microorganismos tales como las *Phytophthoras*, que ocasionan el mal del ciprés (*Austrocedrus chilensis*), enfermedad que afecta a esta especie nativa.

Debe mencionarse previamente los aspectos a considerar a la hora de tratar las aguas grises. Las mismas tienen una carga relativamente baja de microorganismos y sólidos (Barahona Sanchez, 2014). Esto permite la reutilización de agua para riego durante los meses más secos (en este caso, entre los meses de octubre-abril). Es recomendable instalar un sistema separado para: duchas, lavatorios y lavarropas (excluir bacha de cocina y lavavajillas, ya que

tiene mayor carga de sólidos) (Barahona Sanchez, 2014). Debe tenerse en cuenta que en Bariloche no pueden ser reutilizados los efluentes en los meses más húmedos y fríos, ya que no hay demanda de riego. En este periodo las aguas grises deben ser tratadas con un sistema estándar de tratamiento compuestos por cámara séptica + lecho de infiltración junto al resto (ya sea en mismo sistema o en paralelo) entre los meses de mayo-septiembre. Es por esta razón que no debe utilizarse el uso de aguas grises como fundamento para reducir la capacidad de cámara séptica o lecho de infiltración.

En primera instancia, se recomienda como sistema de tratamiento estándar, para aquellos domicilios que no cuentan con conexión a la red cloacal, la construcción y diseño adecuado de un sistema que cumpla con la estructura compuesta por dos partes principales, la cámara séptica y el lecho de infiltración/drenante. Las mismas serán desarrolladas a continuación (figura 20).

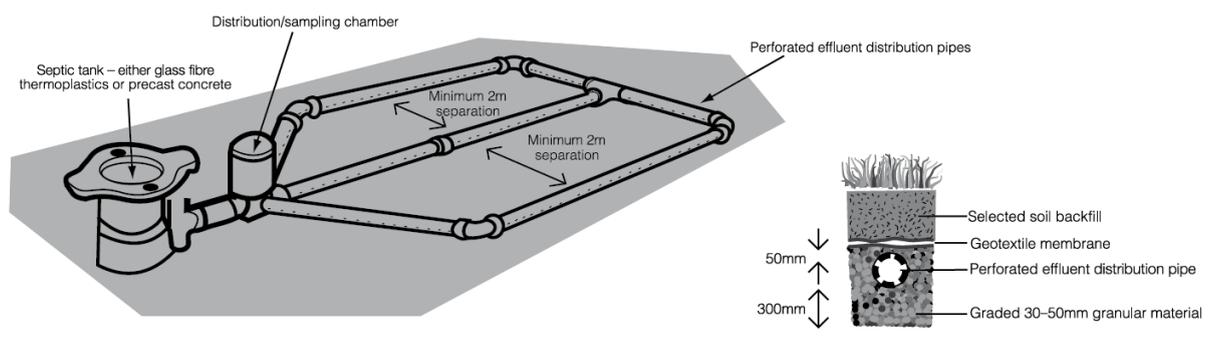


Figura 20. Sistema estándar con cámara séptica y lecho de infiltración. Fuente: (UK Government, 2002).

a. Cámara séptica

Como se mencionó anteriormente, la cámara séptica tiene como función retener y digerir parcialmente el material orgánico sólido más grueso. Para aumentar al máximo la eficiencia de remoción, es necesario asegurar la instalación de una cámara séptica o más, con el volumen adecuado a la cantidad de habitantes del domicilio, y por lo tanto al caudal de efluente a tratar.

El dimensionamiento adecuado de la cámara séptica es uno de los aspectos más importantes a considerar en el sistema de tratamiento *in situ* de efluentes. De acuerdo a la resolución municipal 200-I-2018, se establece un volumen de cámara de 1000 L para 4 personas. Sin embargo, al evaluar las opciones que ofrece el mercado online, para la misma cantidad de personas, se venden cámaras de entre 400 y 600 L. En el mercado local, por su

parte, se venden cámaras sépticas de 600 L a 650 L para 4 personas, no cumpliendo con la normativa.

Asimismo, teniendo en cuenta el análisis normativo realizado con anterioridad, tanto en EEUU, Australia y Reino Unido, se establecen volúmenes de cámara séptica que varían entre 2500 y 4000 L, que superan ampliamente el parámetro establecido en la normativa municipal. Tanto para la normativa local como para la internacional se aplica un tiempo de retención de 24 hs para el dimensionamiento teniendo en cuenta la dotación, la cual tiende a ser menor a la considerada localmente. La diferencia en capacidades se debe a que internacionalmente incorporan además un volumen de almacenamiento de sólidos, de manera que se mantenga la capacidad de separación de los mismos a lo largo del tiempo. Esto es fundamental para evitar el paso de sólidos al lecho de infiltración, lo que causa su colmatación y puede reducir significativamente su vida útil.

Otro aspecto a considerar es la diferencia entre un biodigestor y la cámara séptica. De acuerdo a estudios realizados, tanto cámaras sépticas como biodigestores son efectivos en el tratamiento de aguas residuales domésticas siempre y cuando estén bien construidos e instalados, tomando en cuenta las normativas existentes para su construcción (Clares, 2018; González León et al., 2022). Los biodigestores cuentan con un filtro anaerobio y los lodos pueden ser purgados de manera sencilla (mediante una válvula). Asimismo, algunos biodigestores cuentan con filtro biológico, lo cual aumenta el porcentaje de remoción de materia orgánica. Sin embargo, se considera que cumplen una función muy similar a la de una cámara séptica, y tienen un costo mayor.

De acuerdo al mercado local, el valor de un biodigestor de 650 L es de aproximadamente \$59.300 (430 USD - 30/08/22). Mientras, el valor de una cámara séptica de 600 L es de 22.000 (160 USD - 30/08/22).

Cabe resaltar que la colocación de más de una cámara séptica de menor tamaño, no reemplaza en su totalidad la función de una cámara séptica de mayor tamaño. Esto se debe a que cada cámara pequeña va a acumular cierto volumen de lodos, y los tiempos de residencia del efluente serán menores. Es por ello que se recomienda la colocación, de ser posible, de una sola unidad de tratamiento.

La cámara séptica puede ser de fibra de vidrio, termoplásticos o también de concreto (UK, 2002).

Asimismo, se recomienda la colocación de un tubo de ventilación que salga de la cámara y permita la salida de los gases producidos por la digestión anaeróbica. También debe contar con un tubo de inspección, que permita el acceso al usuario para la limpieza de lodos y

control de la cámara. La limpieza de lodos debe realizarse periódicamente por un camión atmosférico.

b. Lecho de infiltración

El lecho debe contar con tubos de un diámetro específico, y los mismos deben estar ubicados de tal manera que no se supere el 0,5 % de pendiente, como establece la ordenanza municipal. Los tubos que conforman la zanja de infiltración deben estar perforados y recubiertos con una membrana geotextil, que evite el ingreso de partículas del suelo. Asimismo, las aguas residuales deben percolar por un lecho de piedra y grava de suficiente espesor, considerado el medio filtrante por el que pasan las mismas antes de salir del sistema.

El lecho de infiltración debe ubicarse en cercanía a la fuente de emisión de efluentes, contar con una o más zanjas con un dimensionamiento adecuado, y construido de tal manera que la mayor cantidad de efluente pueda ser filtrado. Esto es importante debido a que se trata de la última etapa de tratamiento, previo a que el efluente sea emitido al suelo, y en consecuencia, al ambiente. Esto significa, en parte, de que debe asegurarse el mantenimiento de las condiciones aeróbicas en esta etapa de tratamiento, asegurando el ingreso de aire (que no sea muy profundo el lecho) y condiciones insaturadas en un cierto espesor entre los tubos y la zona saturada del suelo.

Asimismo, el lecho de infiltración debe contar con un medio (similar al tubo de inspección de cámara séptica) para que el usuario pueda tener acceso y pueda observar en caso de detectar problemas.

Al igual que lo especificado en la resolución local, el usuario debe asegurarse de que haya espacio adicional en el terreno, en caso de que deba hacerse una expansión del sistema de infiltración o deba construirse uno nuevo.

c. Otras partes del sistema de tratamiento

Otro componente que debe formar parte de un sistema de tratamiento *in situ*, pero que no es considerado en la normativa local ni provincial, es la colocación de una o más cámaras de inspección o de distribución. La cámara de inspección cuenta con distintos ramales, que tienen la finalidad de recolectar los efluentes de distintas procedencias y redireccionarlos a un sector de tratamiento determinado. Es ideal su uso para el caso de un sistema de tratamiento que sea utilizado por más de una residencia, o así también para cuando los tubos que transportan el efluente formen curvas cerradas (mayor a 45 °). Asimismo, una cámara de inspección ayuda a los profesionales y usuarios a revisar el sistema de

tratamiento y poder detectar obstrucciones, como así también facilitar la limpieza del sistema.

El sistema debe contar, además de todo lo anteriormente mencionado, de un sistema de tubos correctamente colocados y de material resistente, que permita el adecuado transporte de los efluentes y evitar pérdidas. Los caños de drenaje ofrecidos en el mercado local son de 11 cm de diámetro, al igual que lo especificado en la normativa local.

Otro componente que debe tenerse en cuenta son las cámaras desengrasadoras. En la normativa municipal no figura información sobre el diseño e instalación de estas cámaras. Sin embargo, sí es tenido en cuenta en documentación del DPA (Consideraciones para la presentación de tratamiento y disposición de aguas residuales en áreas sin servicio de red cloacal), dado que se recomienda en el caso de cocinas de uso comercial (donde hagan uso continuo de aceites y grasas). En caso de que esta tecnología sea utilizada, debe estar acompañada por otras unidades de tratamiento, como una cámara séptica.

6.2. Metodología para dimensionar sistemas de tratamiento

A continuación, se desarrollarán las metodologías para dimensionar las distintas partes de un sistema de tratamiento *in situ*.

a. Cámara séptica

En primer lugar, el dimensionamiento de 1000 L establecidos por la resolución municipal considera una dotación por persona de 250 L/día, pero no considera un volumen extra, que será ocupado por los lodos retenidos por esta parte del sistema de tratamiento. Se debe considerar, por lo tanto, un volumen un 30 % mayor aproximadamente, para asegurar una mayor eficiencia. Esto equivale a un volumen de 1300 L o más.

Se debe recordar que, si la cámara séptica no cumple con el tiempo de residencia adecuado, los lodos no son retenidos ni digeridos adecuadamente en este paso del proceso, pasando al lecho de infiltración y haciendo que este se sature. También debe recordarse a la población la necesidad de vaciar la cámara séptica cada cierto periodo de tiempo por un camión atmosférico.

Otro factor que debe ser considerado es la digestión de los lodos. La ciudad de Bariloche cuenta con una temperatura media anual de 8 °C, la cual refleja la temperatura a cierta profundidad en el suelo, donde se encuentra la cámara. Esto, en las condiciones anaeróbicas

encontradas en la cámara séptica, resulta en una tasa de digestión muy baja. Es por ello que puede ser despreciada en los cálculos de dimensionamiento.

Se recomienda, como un paso adicional, sobredimensionar el sistema y ser más conservadores (siempre considerando la posibilidad de que aumente la cantidad de miembros en el hogar). Mediante un cálculo simple, considerando los factores mencionados anteriormente (Volumen ocupado por lodos, temperatura de digestión, sobredimensionamiento del sistema), aumentando un 30 % de volumen por cada uno de los mismos.

$$V_c = 1000 L + 1000 L * (0,3 + 0,3 + 0,3) = 1900 L$$

Donde 1000 L corresponde al volumen de cámara séptica (para 4 habitantes) establecido por la resolución municipal. Es por esto que se recomienda seleccionar cámaras sépticas que ocupen un volúmen total de 2000 L o más.

El valor de una cámara séptica de 2000 L en el mercado online es de aproximadamente \$76.500, lo cual equivale a 560 USD (última consulta: 19 de agosto de 2022). En el mercado local se pueden encontrar cámaras sépticas de 600 L, 850 L y 1200 L. El precio de dos cámaras de 1200 L varía entre \$44.000 y \$52.500 (320 USD - 378 USD). Dichos precios fueron obtenidos de empresas locales (Casa Palm, Aguas y Gas, Clementeh SA) (última consulta: 25 de agosto de 2022)

A la hora de dimensionar la cámara séptica, se debe contemplar las opciones del mercado local. En este caso, al considerar una cámara séptica de por lo menos 2000 L, se recomienda ubicar dos cámaras de 1200 L (volumen máximo que oferta el mercado local) en serie, permitiendo que ocurra una sedimentación primaria (de partículas más pesadas) y luego una sedimentación secundaria (para partículas más livianas).

b. Lecho de infiltración

La resolución municipal 200-I-2018 establece una ecuación, donde a partir del coeficiente de infiltración obtenido por tabla, se estima la superficie que debe ocupar el lecho de infiltración. La ecuación planteada es la siguiente:

$$S (m^2) = Q (L/día) / Ci \left(\frac{m^2}{L.día} \right)$$

Donde

S = superficie ocupada por el lecho de infiltración

Q = caudal de efluente a tratar (Para el caso de una familia de 4 personas, este es de 1000 L/día)

Ci = coeficiente de infiltración

El coeficiente de infiltración se obtiene de tabla luego de obtener una tasa de infiltración por ensayo a campo. Dicho ensayo debe realizarse por un profesional cualificado. Cabe destacar que a nivel nacional y en Latinoamérica se realizan ensayos de infiltración para obtener este dato, a diferencia de normativa de la EPA o de Nueva Zelanda, los cuales obtienen una tasa de infiltración mediante la determinación del tipo suelo.

El ensayo de infiltración debe seguir las instrucciones especificadas en la resolución local. Sin embargo, debe mencionarse que dicha metodología fue obtenida a partir de informes de Rosales Escalante, adaptada a climas templados y tropicales. Es por ello que la metodología debería modificarse para hacerla más accesible para profesionales de la zona y que esté adaptada a las condiciones locales.

El caudal de efluente a tratar establecido por normativa es de 250 L/hab.día. En las normativas internacionales, por otro lado, las dotaciones diarias son menores (según la EPA, se establecen 150 L/persona.día). Esta diferencia puede deberse a que el agua no se considera un recurso escaso en la región, mientras que en otros países la escasez de este se considera una problemática de gran envergadura.

Debe tenerse en cuenta que se debe extradimensionar la superficie del lecho de infiltración, al igual que la cámara séptica, para ser conservadores y considerando una mayor ocupación en el futuro.

6.3. Propuestas de alternativas para escenarios no estándar

A la hora de construir el lecho de infiltración, además de las recomendaciones planteadas en la resolución municipal (ej. considerar un espacio de reserva en caso de que se deba realizar una ampliación del sistema), se debe tener en cuenta otros factores.

Por ejemplo, se considera que la pendiente como un factor limitante en esta región.. En casos donde se supere la pendiente más del 30 %, como se especificó en el análisis de riesgo realizado, se recomienda no optar por un sistema de tratamiento *in situ* estándar. En zonas donde la pendiente sea mínima se debe asegurar que el suelo tenga un adecuado drenaje y no se produzca anegamiento.

En el caso de que la napa freática se encuentre alta o la tasa de infiltración supere el máximo valor reglamentado, se recomienda no infiltrar. Asimismo, se sugiere no intervenir sobre las condiciones naturales del terreno (ej. drenando o cambiando las características del suelo). Se establece una distancia mínima de 2 metros entre superficie de infiltración y el nivel freático para poder construir un sistema de tratamiento estándar.

En casos específicos, y con un correcto seguimiento, se recomienda construir una alternativa al lecho de infiltración, de tal manera que el mismo esté elevado en una batea de contención, por la cual el efluente es bombeado hasta el depósito, y cada cierto periodo de tiempo, el efluente es retirado por un camión atmosférico. Cabe destacar que este tipo de tecnología es más costosa que el sistema de tratamiento *in situ* estándar. Este caso se observa en VLG (zona noreste) y barrio PLM (A orillas del Arroyo Casa de Piedra). No se recomienda la implementación de bateas fitosanitarias/humedales, dado que los mismos, por lo general, requieren de elevados costos y tiempos de mantenimiento, además de una extensa superficie de tratamiento.

6.4. Análisis económico

En esta sección se procederá a hacer un análisis de costos, calculando el monto necesario para la instalación de un sistema de tratamiento *in situ* completo, de acuerdo a las características establecidas en las secciones anteriores (6.1. y 6.2.)

Se asume un sistema para una familia de 4 integrantes, y la obtención de un coeficiente de infiltración (según ordenanza) de 41 L/m².día. El caudal a tratar corresponde a 1000 L/día. De acuerdo a lo visto anteriormente se estima la utilización de una cámara séptica de 2000 L o más. El mercado local ofrece cámaras de hasta 1200 L, por lo que se realizan los cálculos considerando dos cámaras sépticas de 1200 L en serie. La superficie estimada de lecho de infiltración es de 7,2 m² aproximadamente. El mismo se estima teniendo en cuenta 2 ramales de 4 metros cada uno y con un ancho de 0,9 m (Superficie = 2 x 4 m x 0,9 m).

Entonces, consideramos los costos relacionados a los materiales, costando en total cerca de \$170.000, los cuales se muestran en la tabla 19.

Material	Detalle	Costo unitario en \$	Cantidad	Costo
Ensayo de infiltración	Realizado por arquitecto u otro	\$18.000	1	\$18.000
Cámara séptica	1200 L Pvc	\$36.500	2	\$73.000
Tubo de ventilación	Caño Camara 110 Pvc	\$2.300	1	\$2.300
Tubo de inspección	Caño Camara 110 Pvc	\$2.300	1	\$2.300
Cámara de inspección	Camara Inspec 40x40 Pvc Duke	\$11.500	1	\$11.500
Tubos de transporte	Caño Drena C/Camp 110 X 4Mts	\$5.500	1	\$5.500
Tubos codo	Caño Drena C/Camp 110	\$5.500	2	\$11.000
Tubos del lecho	Caño Drena C/Camp 110 X 4Mts	\$5.500	3	\$16.500
Material Geotextil	Geotextil x Mt2	\$1.300	8	\$10.400
			Subtotal	\$132.500
Mano de obra	30% del costo de los materiales			\$39.750
			Total	\$172.250

Tabla 19. Costo total de construcción de sistema de tratamiento in situ estándar. Fuentes: Datos obtenidos de cotizaciones proporcionadas por las empresas Casa PALM SA, Agua y Gas SA y Clementeh SA (Última consulta: 30/08/22).

6.5. Propuesta de cambios en normativa local y gobernanza

Propuestas de mejora en normativa local

En primer lugar, se hará un punteo resumido de las recomendaciones a implementar para mejorar la normativa, principalmente haciendo referencia a la Ordenanza N° 2108-CM-10 y su Resolución reglamentaria. Asimismo, se propone incorporar los aspectos de diseño contemplados en las secciones 6.1 a 6.3.

- 1) **Consideración de pendiente y napa freática alta.** Debe considerarse como factor limitante la pendiente y la altura de la napa dentro de la resolución municipal. En tal caso deben proponerse alternativas o establecer una guía de recomendaciones para sistemas de tratamiento *in situ* condicionados por estos factores.
- 2) **Dimensionamiento de cámaras sépticas.** Se recomiendan cambios con respecto al tamaño recomendado de cámaras sépticas, tal como se ejemplifica en los puntos anteriores. Los cambios deben tener en cuenta un volumen que será ocupado por los lodos cloacales y un volumen adicional por las bajas temperaturas de digestión y la necesidad de sobredimensionar el sistema de tratamiento.
- 3) **Ensayos de infiltración y dimensionamiento de lecho de infiltración.** Debe tomarse en consideración la variabilidad climática y geográfica de la zona, quizás mediante la aplicación de un factor de corrección en la ecuación de diseño. Se resalta nuevamente que la metodología tiene como fuente documentos de Rosales Escalante, el cual redacta información aplicada a zonas tropicales con gran frecuencia de lluvias, y utiliza un factor de corrección asociado a este condicionante.

Se debe aclarar qué tipo de profesionales son idóneos para la realización de un ensayo de infiltración, para así facilitar al usuario la búsqueda del mismo, y asegurar la obtención de datos fehacientes.

Una alternativa es aplicar distintas metodologías de cálculo para la obtención de la superficie del lecho de infiltración, de acuerdo a distintos tipos de suelos que se puedan encontrar en la zona. Esto se recomienda debido a que ya hay disponibles bases de datos acerca de los distintos tipos de suelos presentes en la ciudad.

- 4) **Consumos “pico” o de temporada.** Al ser Bariloche una ciudad turística, hay numerosos casos donde hay un mal funcionamiento del sistema de tratamiento, dado que se utilizan en forma de “picos”, con periodos largos donde se inutiliza

mismo (muriendo la microbiota presente en la cámara séptica). Este factor debe ser considerado durante el mantenimiento del sistema de tratamiento.

- 5) **Oferta de nuevas técnicas y tecnologías de tratamiento *in situ*.** La normativa local debe estar abierta al surgimiento y evaluación de nuevas tecnologías como las anteriormente mencionadas. En caso de que alguna de estas tecnologías prevalezca, como es el caso de los biodigestores, estos deben ser considerados y mencionados dentro de la normativa.

Propuestas de mejora de gobernanza

En segundo y último lugar, se hará un punteo resumido de las propuestas de mejora y recomendaciones a implementar para mejorar aspectos de la gobernanza, principalmente haciendo referencia a las decisiones y procesos del gobierno local, instituciones y actores de significancia, todos ellos relacionados a la temática de trabajo.

- 1) **Inspección y fiscalización.** Este aspecto debe llevarse a cabo no solo por parte de la MSCB, sino también por instituciones como la APN, el DPA, entre otros. A pesar de que cada uno de estos actores cumple con una jurisdicción, se ha comprobado que en algunos casos estas se “solapan”, por lo cual el trabajo interdisciplinario y la comunicación entre actores es clave en estas situaciones. Es por eso que debe trabajarse con una mesa/foro integrado por actores claves, universidades, etc. de manera de llegar a criterios comunes y fortalecer el sistema de control de manera concertada, teniendo en cuenta la vulnerabilidad ambiental de los distintos receptores. La falta de recursos humanos y presupuesto también juegan un rol de gran importancia en estas actividades.
- 2) **Relevamientos y evaluaciones.** Se propone refinar la metodología de evaluación de riesgo de contaminación y extenderla a todo el municipio, de manera tal que se pueda caracterizar la vulnerabilidad de todos los receptores ambientales, identificar áreas problemáticas e informar la estrategia de manejo de efluentes cloacales, minimizando el impacto sobre el ambiente y salud humana. Asimismo, realizar relevamientos de una serie de STEIS representativos ubicados en distintos barrios de la ciudad, evaluando su condición y funcionamiento (características del sistema, condición/fallas/problemas, tareas de mantenimiento, número de ocupantes en la vivienda, separación de aguas negras y grises, características del medio (suelo, profundidad de la napa, etc.).

- 3) El rol del ciudadano.** El término “solo sabe el que construye” refleja esta situación. Los ciudadanos son la fuente de contaminación, así como también los que sufren las consecuencias por una inadecuada gestión de los sistemas de tratamiento de efluentes *in situ*. Se debe tener un conocimiento mínimo de a dónde van los efluentes y cómo son tratados los mismos, con la finalidad de tomar una mayor conciencia de esta problemática. A la hora de construir un sistema de tratamiento *in situ*, es también el deber del ciudadano hacerlo de forma adecuada, con la asistencia de profesionales.
- 4) Educación ambiental.** Con respecto a esta temática, los profesionales del ambiente cumplen un rol significativo, dado que los mismos deben tener la capacidad de transmitir de forma adecuada a la sociedad las problemáticas socio - económicas y ambientales que nos rodean. Existen numerosos medios, además de las redes sociales, para transmitir esta información. Asimismo, se pueden organizar desde la gobernanza la sensibilización de la población. Se propone entonces, la organización de charlas/talleres/seminarios en distintos ámbitos, tales como escuelas, universidades, centros comunitarios, entre otros.
- 5) Tratamiento de efluentes en alta montaña u otros sitios de alta sensibilidad.** Los refugios de montaña y otros sitios utilizan sistemas de tratamiento *in situ*. Sin embargo, es de público conocimiento que dichos sistemas, dada la baja temperatura, el tipo de suelo y la ubicación de los refugios, no funcionan adecuadamente. Tanto la municipalidad, Club Andino Bariloche y Parques Nacionales deben trabajar en conjunto para poder encontrar una solución a esta problemática.
- 6) Oferta del mercado local y rol del profesional de construcción.** La oferta por parte de las casas de construcción y corralones de tecnologías que no se adaptan a la ordenanza, dando a entender que los profesionales de la construcción detrás de estas recomendaciones no tienen conocimiento de la normativa local, o no consideran como prioridad la construcción de un sistema de tratamiento de efluentes *in situ* adecuado. Se recomienda la realización de capacitaciones en dichos sitios y otros que comercializan los materiales para construir STEIS. Se debe hacer hincapié en que en los lugares donde no haya conexión a la red cloacal, la disposición final de residuos líquidos tiene que ser parte del estudio de prefactibilidad y condicionar los indicadores de un proyecto.

7. Conclusiones finales

La finalidad de este PFI es brindar una herramienta de gestión, que puede ser de utilidad para distintos referentes institucionales de la ciudad de San Carlos de Bariloche, creándose así un antecedente completo sobre la temática que estará disponible para cualquiera que lo necesite. Asimismo, dicho trabajo puede constituir una línea base para la creación de nuevos proyectos o modificación de normativa, tanto a nivel local como regional.

Para concluir este PFI, se debe hacer hincapié en que dicho trabajo está basado principalmente en herramientas teóricas, dado que el mismo fue planteado bajo un contexto de cuarentena debido a la pandemia por COVID - 19. Sin embargo, se han realizado salidas y observaciones a campo, con la finalidad de complementar la información teórica, y comprobando las diferencias y similitudes entre las mismas. Se hizo este trabajo a partir de las herramientas y recursos disponibles en este momento, como es el caso de los mapas de QGIS y normativa local, nacional e internacional. De esta forma, se buscó como futura profesional de ingeniería ambiental, encontrar las problemáticas sociales, económicas y técnicas relacionadas al tratamiento de efluentes cloacales *in situ* en San Carlos de Bariloche. A partir de la identificación de dichas problemáticas, se buscó realizar un diagnóstico previo, un posterior análisis y evaluación, para luego proponer mejoras o soluciones a las mismas. Cabe destacar que fue necesario que este trabajo sea multidisciplinario, es por ello que se acudió a distintos profesionales para llevar a cabo gran parte del mismo.

Las conclusiones más específicas para cada parte del trabajo se encuentran al finalizar cada sección, donde se hacen análisis de los resultados (en muchos casos comparativos) y se destacan las principales conclusiones obtenidas.

Asimismo, se considera oportuno realizar una etapa adicional de trabajo, donde se hagan muestreos y ensayos a campo, con la finalidad de brindar una herramienta de trabajo más completa y que esté disponible públicamente. Dichos muestreos incluirían mediciones de pendiente, estudios del estado de napas freáticas, realización de ensayos de infiltración *in situ*, entre otros. Esta etapa de trabajo puede considerarse como un nuevo Trabajo Final Integrador de la carrera, un proyecto de extensión de la UNRN, entre otras opciones. Asimismo, se pueden considerar otras áreas de evaluación dentro del ejido municipal o de otras regiones. También se recomienda, para futuras evaluaciones, considerar el uso de cuencas hidrográficas como unidades de análisis, en vez de utilizar delimitaciones barriales, como ocurre en este PFI.

Debe mencionarse que siempre es necesario contemplar el aspecto social del análisis, en este caso la opinión del ciudadano. Es por ello que se realizó una encuesta pública, que llegó a un gran número de personas de distintos barrios, demostrando un gran interés de las mismas por esta problemática. Por las entrevistas con referentes se tuvo una primera noción sobre el nivel de conocimiento que tiene el poblador con respecto a esta temática y qué nivel de importancia le da el mismo la gestión de sistemas de tratamiento de efluentes domiciliarios. Esto se corroboró con los resultados de la encuesta pública. También se considera oportuno analizar los datos del Censo Nacional 2022, cuando los mismos sean publicados, dado que una pequeña cantidad de preguntas del mismo hacen referencia a la temática trabajada. Los aspectos económicos y técnicos también tienen su grado de importancia y fueron contemplados a lo largo de todo el trabajo, mediante un sencillo análisis económico y la recopilación de bibliografía. De esta forma, se cumplieron con los objetivos propuestos en este trabajo final de carrera.

8. Referencias

- Abaleron, C. A. (1995). Difusión espacial de la pobreza y destrucción del patrimonio natural: las dos caras de una misma moneda. *Revista eure*, 21(64), 61 - 74.
- Acosta, Y. L., & Obaya Abreu, M. C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I.* <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Acuña, A. J., Torres, C. F., Pucci, G. N. & Pucci, O. H. (2011). *Evaluación del tiempo de vida de bacterias potencialmente patógenas en sedimentos marinos.* http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562011000200008
- APN. (2020). *Reglamento de construcciones para los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales.* https://www.nahuelhuapi.gov.ar/normativas/obras/RES_HD_REGC_241_07_20.pdf
- APN. (2019). *Plan de Gestión del Parque Nacional Nahuel Huapi. San Carlos de Bariloche.* https://www.nahuelhuapi.gov.ar/notas_principal/PG%202018%20PNNH%20-%20PARTE%201.pdf
- Alarcón, M., Ávila, A., Belmonte, J., Stefanescu, C. & Izquierdo, R. (2009). *Aplicación de modelos fuente-receptor para determinar áreas fuente de componentes biológicos (polen y mariposas).* Tethys. <https://tethys.cat/sites/default/files/pdf/articles/7tethys-01-cas.pdf>
- Arcagni, M. (2013). *Estudio de la estructura trófica del lago Perito Moreno a través del análisis de los isótopos estables de carbono y nitrógeno.* <http://rdi.uncoma.edu.ar//handle/123456789/16148>
- Armendáriz Hernández, A. L. (2020). *Impacto de la Calidad de Agua utilizada en el Proceso de Recarga Artificial de Acuíferos mediante Infiltración.* <http://repositorio.uach.mx/330/1/Tesis.pdf>
- Auckland Regional Council. (2004). *On-site Wastewater Systems: Design and Management Manual.* <http://www.aucklandcity.govt.nz/council/documents/technicalpublications/TP58%20On-site%20wastewater%20systems%202004%20Chapters%209-14.pdf>
- Auckland Regional Council. (2021). *On-site Wastewater Management in the Auckland Region.* <https://content.aucklanddesignmanual.co.nz/regulations/technical-guidance/Documents/GD06%20-%20On-Site%20Wastewater%20Management.pdf>
- Azcuntar, O. R., Izquierdo, J. B., & Sánchez, P. A. (2011). *Modelo conceptual de la contaminación del suelo y agua subterránea por hidrocarburos.* <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/792/1522>.

- Barahona Sanchez, G. A. (2014). *Diagnóstico de la gestión de aguas residuales (grises y negras) de los sistemas sépticos de Puerto Ayora, Cantón Santa Cruz, Galápagos*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/998>
- Barrios García Moar, G. E. (2018). Modelos de desarrollo territorial y conflictos en San Carlos de Bariloche y El Bolsón. *Naturaleza, territorio y conflicto en la trama capitalista contemporánea*. 12(1), 291 - 311. <https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/3874/1/Copia%20de%2012.%20Barrios%20Garcia%20FINAL.pdf>
- CEB. (2020). *Área de Saneamiento - Componentes del Sistema*. <https://www.ceb.coop/area-de-saneamiento/componentes-del-sistema.html>
- Chávez, C. T., Castro, J. L., Díaz-Barriga, F. M., & Monroy, M. F. (2011). Modelo conceptual de riesgo ambiental por arsénico y plomo en el distrito minero de Santa María de la Paz, San Luis Potosí, México. *e-Gnosis*, 9(8), 1-25. <https://www.redalyc.org/pdf/730/73020063008.pdf>
- Civitaresi, H. M., & Colino, E. D. V. (2019). Turismo, transformaciones territoriales y resiliencia: Bariloche como evidencia de una ciudad turística intermedia argentina. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres*, 3(1), 41 - 52. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/125160/CONICET_Digital_Nro.268e9707-0e48-494d-b043-44fa25d2c2e2_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Clares, C. Y. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio de San Buenaventura*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18238>
- Collet, J. (2009). *Estudio de la situación del Brazo Campanario y su evolución trófica. Informe de Pasantía*.
- Common Implementation Strategy Working Group for the Water Framework Directive - Comisión Europea. (2004). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Groundwater Risk Assessment Report*. https://www.miteco.gob.es/en/agua/publicaciones/Guia1_tcm38-162996.pdf
- Cotelo, M. A. (2019). *Análisis de riesgo por eventos de remoción en masa, propuesta de Plan de Mitigación. Ruta Nacional 40 sur, Lago Guillermo, Departamento Bariloche*. <https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/3693/3/An%c3%a1lisis%20de%20riesgo%20por%20eve%282%29.pdf>
- Department of Environmental Conservation (DEC). (2019). *Wastewater System and Potable Water Supply Rules*. Vermont, USA.
- DPA. (2012). *Calidad de Agua del Río Negro. Período 2007-2012*. <https://dpa.rionegro.gov.ar/download/archivos/00007477.pdf>

- DPA. (2016). *Calidad del Agua del río Negro. Período 2011 - 2016.* <https://dpa.rionegro.gov.ar/download/archivos/00007640.pdf>
- DPA. (2016). *Consideraciones para la presentación de tratamiento y disposición de aguas residuales en áreas sin servicio de red cloacal. CoCaPRHi.*
- Dzendoletas, M. A., Cavallaro, S., Crivelli, E., & Pereyra, F. Y. (2006). Mapa de vegetación del ejido municipal de San Carlos de Bariloche y alrededores. Río Negro, Patagonia Argentina. *Ecología*, 20(-), 65 - 88.
- EPA. (n.d.). *System of Registries | US EPA.* System of Registries | US EPA. https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Glossary%20Climate%20Change%20Terms
- EPA. (2002). *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual.* USEPA Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/2004_07_07_septics_septic_2002_osdm_all.pdf
- EPA. (2012). *A Risk-Based Methodology to Assist in the Regulation of Domestic Waste Water Treatment Systems.* https://cdn.regulation.gov.ua/d7/63/eb/d1/regulation.gov.ua_File_273.pdf
- EPA. (2019). *Guideline of Waste Definitions.* https://www.epa.sa.gov.au/files/4771336_guide_waste_definitions.pdf
- EPA. (2021). *Términos P | US EPA.* EPA en español. <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-p>
- Fernández Cirelli, A. (2018). *El agua en Latinoamérica.* Repositorio Institucional. Universidad Nacional de San Martín. <http://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/907/1/PFAH%202018%20CFCA.pdf>
- Gómez Delgado, M. (1995). *El Estudio de los Residuos: Definiciones, Tipologías, Gestión y Tratamiento.* El Estudio de los Residuos: Definiciones, Tipologías, Gestión y Tratamiento. <https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/1037/El%20Estudio%20de%20os%20Residuos.%20Definiciones%2c%20Tipolog%3adas%2c%20Gesti%3b3n%20y%20Tratamiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, M., & Alonso, M. (2009). *Caracterización de la situación ambiental del humedal de Bahía Serena, Mallín del Km 12, San Carlos de Bariloche.*
- González León, M. V., Coronel Sacoto, D., & Matovelle Bustos, C. (2022). *Determinación de la eficiencia en el uso de fosas sépticas y filtros anaerobios (Biodigestor) para el tratamiento de aguas residuales domésticas.* <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.191>

- Groppelli, E. (2015). *Tratamiento de Efluentes Líquidos*.
http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/TratamientodeEfluentesLiquidos.pdf
- Guevara, T., Wallace, J., Marigo, P., & Cavanagh, E. (2020). Conflictos socio ambientales en torno a la gestión de residuos: El caso de Bariloche. *Revista Vivienda y Ciudad*, 7, 4 - 22. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/ReViyCi/article/view/28971/32257>
- Holzman, M. E., Dalmaso, M. G., & Mariño, E. (2009). *Contaminación por nitrato en la zona urbana y rural de la localidad de Macachín, La Pampa, Argentina*. Boletín Geológico y Minero. http://revistas.igme.es/Boletin/2009/120_4_2009/6-ARTICULO%204.pdf
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas*.
https://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/CuadrosDefinitivos/P2-D_62_21.pdf
- INTA. (2004). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Clima de Bariloche. 1982 - 2004*. EEA INTA Bariloche.
<http://sipan.inta.gov.ar/productos/ssd/vc/bariloche/ig/clima.htm>
- Las Grutas: otra vez las cloacas en la mira. (2018). *Diario Río Negro*.
<https://www.rionegro.com.ar/las-grutas-otra-vez-las-cloacas-en-la-mira-YL5739076/>
- Las Grutas: vecinos presentaron un amparo y exigen la remediación. (2018). *Diario Río Negro*.
<https://www.rionegro.com.ar/las-grutas-vecinos-presentaron-un-amparo-y-exigen-la-remediacion-IB4773219/>
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*.
https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales
- Mariñelarena, A. (2006). *Manual de autoconstrucción de un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. FREPLATA Editores.
https://www.ilpla.edu.ar/manual_sistemas_tratamiento.pdf
- Martos, P. H. (2021). *Residuos cloacales en la cuenca del río Negro ¿en camino a su eliminación?*
<https://ecoderechoar.com/residuos-cloacales-en-la-cuenca-del-rio-negro-en-camino-a-su-eliminacion/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20r%C3%ADo%20Negro,calidad%20de%20regular%20a%20mala>
- Martyniuk, N., Cuassolo, F., Bastidas Navarro, M., Díaz Villanueva, V., Balseiro, E., & Modenutti, B. (2022). *Evaluación ambiental de las riberas del lago Nahuel Huapi y propuesta de un índice de calidad de costas*. *Revista Ecología Austral*.
http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1908/1258

- Matossian, B. (2015). División social del espacio residencial y migraciones. El caso de San Carlos de Bariloche, Argentina. *EURE*, 41(124). https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612015000400008&script=sci_arttext
- Mellado, D., Bali, J. L., Giuliani, D. S., Colman Lerner, J. E., Represa, N. S., Jacovkis, P. M., & Sanchez, E. Y. (2017). *Caracterización de fuentes de emisión de BTEX en Gran La Plata mediante modelos receptores*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/100131/Documento_completo.pdf-f-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Miserendino, M. L., Epele, L. B., Brand, C., & Manzo, L. M. (2020). *Los indicadores biológicos en la Patagonia Calidad de agua e integridad ecológica: una mirada desde arroyos a mallines*. CONICET Digital. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/120087/CONICET_Digital_Nro.25ecf26d-3112-4fdc-98c1-ceb490fb90e4_R.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- MSCB. (1980). *Código de Planeamiento de San Carlos de Bariloche*.
- MSCB. (2011). *Plan de Ordenamiento Territorial de San Carlos de Bariloche*. <http://mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/RIONEGRO/Plan-de-Ordenamiento-Territorial-de-Bariloche.pdf>
- MSCB. (2015). *Primer Esquema del Plan Estratégico e Integral de Desarrollo para Bariloche*. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/RIONEGRO/Plan-Estrategico-e-Integral-de-Desarrollo-de-San-Carlos-de-Bariloche.pdf>
- MSCB. (n.d). *Plan de Desarrollo Urbano Ambiental Oeste*. Gráficos estadísticos. http://www.bariloche.gov.ar/estadisticas_grafico.php?grafico=26.
- Noyola, A. (2003). *Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica*. Seminario Internacional Sobre Métodos Naturales para el tratamiento de Aguas Residuales, Cali-Colombia. http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_10-56-24111048.pdf
- OPS - CEPIS. (2003). *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Pruebas de Infiltración*.
- OPS - CEPIS. (2003). *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Zanjas y Pozos de Infiltración*.
- Orellana, J. A. (2005). *Características de los líquidos residuales*. Apuntes de Ingeniería Sanitaria. Universidad Tecnológica de Rosario. *Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_08_Caracteristicas_de_Liquidos_Residuales*
- Pedrozo, F. L., Alcalde, R., & Manuel, M. (1997). *Estado Trófico del Lago Nahuel Huapi y Estimación Preliminar de su Posible Evolución*. Calidad de Aguas en la Provincia de Río Negro. <https://dpa.rionegro.gov.ar/download/archivos/00007840.pdf>

- Pereyra, F. X. (2007). Geomorfología urbana de San Carlos de Bariloche y su influencia en los peligros naturales, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62(2), 309 - 320.
- Pereyra, F. X., Albertoni, J., Bréard, C., Cavaliaro, S., Coccia, M., Ducós, E., Dzenoletas, M., Fookes, M., Getino, S., Helms, F., Kruck, W., López, R., Muzio, C., Roverano, D., Tobio, M., Toloczyki, M., & Wilson, C. (2005). *Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial, San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro, República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino.* <https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/83>
- Real Academia Española (RAE). (n.d.). *Definición de efluente.* Definición de efluente. <https://dle.rae.es/efluente>
- Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Agua Latinoamericana.* https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Ricci, O. (2010). Efluentes Domiciliarios e Industriales. In *Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales. La crisis de la sustentabilidad.* (pp. 185 - 194). Horacio L. Barragán. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26595/Documento_completo_.pdf?sequence=1#page=186
- Rodríguez, C. I. (2014). *Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil: Pautas para su gestión sustentable.* Repositorio Institucional UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/34169>
- Rojo, M. G., Carriquiriborde, P., & Ronco, A. E. (2019). *Ecosistemas y sociedad: Impactos de las urbanizaciones sobre las cuencas hídricas.* Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/78557>
- Rosales Escalante, E. (2003). *¿Cómo hacer ensayos de infiltración?*
- Rosales Escalante, E. (2005). *Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones.* <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835597.pdf>
- Sánchez, D. F. P. (2012). *Modelación de la dispersión de material particulado en zona minera del Cesar, Colombia, usando fluent (CFD).* Repositorio Universidad EAN. <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/4607/PratoDaniel2012.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Saracho, M., Segura, L., & Serenelli, E. (2003). Calidad Bacteriológica y Concentración de Iones Indicadores de Contaminación Orgánica en el Agua Subterránea de la Ciudad Capital, Provincia de Catamarca. *Ciencia*, 1(1), 115 - 128. <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v10/pdf/ciencia1-7.pdf>

- Semenas, L., & Brugni, N. (2002). Características poblacionales y ciclo de vida de *Diplodon chilensis* (d'Orbigny, 1835) (Hyriidae, Bivalvia) en el lago Gutiérrez (Patagonia, Argentina). *Ecología Austral*, 12(1), 29-40.
http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/1561/895
- Simón, J. (2013). *Lineamientos y Guía para el Diseño y Dimensionamiento de Sistemas de Tratamiento de Efluentes Autónomos Aislados*.
- UK Government (2002). *Guidance for Wastewater Treatment Systems and Cesspools*.
<https://www.gov.uk/permits-you-need-for-septic-tanks/print>
- Unidad de Gestión de Calidad del Agua. (2015). Red de Monitoreo de la Calidad del Aguas del Lago Nahuel Huapi. Informe Final Período 2010-2014. Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro.
<http://www.aic.gov.ar/sitio/archivos/201806/5%20informe%20final%20nahuel%20huapi%202010-2014.pdf>
- Zárate, A. (2019). *Sistematización de autores - Normativa de efluentes - PPS*.

Referencias Normativa

Carta Orgánica Municipal. 2007. Municipalidad de San Carlos de Bariloche. Disponible en: <https://concejobariloche.gov.ar/index.php/legislacionprincipal-382/carta-orgca-2007-menu-principal-447>. Fecha de acceso: 10 de junio de 2021.

Constitución de la Provincia de Río Negro. 1988. Legislatura de Río Negro. Disponible en: https://webadmin.legisrn.gov.ar/wp-content/uploads/2020/09/ConstitucionProvincial-Ed_Dic2019.pdf. Fecha de acceso: 15 de mayo de 2021.

Constitución de la Nación Argentina. 1994. Congreso Nacional de la República Argentina. Disponible en: <https://www.congreso.gov.ar/constitucionNacional.php>. Fecha de acceso: 09 de noviembre de 2021.

Decreto Provincial N° 1894. Legislatura de Río Negro. Río Negro, Argentina, 9 de diciembre de 1991. Disponible en: <https://argentinambiental.com/legislacion/rio-negro/decreto-189491-reglamento-control-calidad-proteccion-los-recursos-hidricos-provinciales/>. Fecha de acceso: 4 de diciembre de 2021.

Decreto Provincial N° 2923. Legislatura de Buenos Aires. La Plata, Buenos Aires, Argentina, 23 de octubre de 1949. Disponible en: <https://normas.gba.gov.ar/documentos/BeWkErI7.html>. Fecha de acceso: 12 de noviembre de 2022.

Disposición N° 016-SDU-16. Secretaría de Desarrollo Urbano, Municipalidad de San Carlos de Bariloche, Río Negro. Disponible en: <http://gop.bariloche.gov.ar/autogestion/web/site/textos-administrables?id=101>. Fecha de acceso: 9 de julio 2022.

Ley Nacional N° 24.430. Boletín Oficial. Número: 28057. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 15 de diciembre de 1994. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/804/norma.htm>. Fecha de acceso: 4 de mayo de 2021.

Ley Nacional N° 25.675. Boletín Oficial. Número: 30036. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 6 de noviembre de 2002. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2021.

Ley Nacional N° 25.688. Boletín Oficial. Número: 30060. Congreso Nacional de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina, 28 de noviembre de 2002. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/80000-84999/81032/norma.htm>. Fecha de acceso: 10 de mayo de 2021.

Ley Provincial N° 2.391. Boletín Oficial, Número: 2814. Legislatura de Río Negro, Argentina. 18 de octubre de 1990. Disponible en: http://sipan.inta.gov.ar/productos/ssd/vc/bariloche/pop/Leyes/ley_2391_pop.htm. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ley Provincial N° 2.952. Boletín Oficial, Número: 3347. Legislatura de Río Negro, Argentina. 28 de diciembre de 1995. Disponible en: <https://rionegro.gov.ar/download/archivos/00002557.pdf>. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ley Provincial N° 3.183. Boletín Oficial, Número: 3533. Legislatura de Río Negro, Argentina. 22 de diciembre de 1997. Disponible en: <https://www.legisrn.gov.ar/L/L03183.html>. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ley Provincial N° 3.309. Boletín Oficial, Número: 3704. Legislatura de Río Negro, Argentina. 4 de agosto de 1999. Disponible en: <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/documento?id=3310>. Fecha de acceso: 1 de diciembre de 2021.

Ley Provincial N° 5.376. Boletín Oficial, Número: 11404. Legislatura de la provincia de Buenos Aires, Argentina. 26 de agosto de 1949. Disponible en: <https://normas.gba.gob.ar/documentos/BMa4DUqB.html>. Fecha de acceso: 12 de noviembre de 2022.

Ordenanza N° 4-CM-92. Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro. 28 de enero de 1992. Disponible en: <https://digestobariloche.gov.ar/ordenanzas/1992/>. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ordenanza N° 1901-CM-09. Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro. 22 de mayo de 2009. Disponible en: <https://www.concejobariloche.gov.ar/index.php/documentacion-concejo/declaraciones/164-biblioteca/ordenanzas/4194-autorizar-firma-convenios-para-ejecucion-de-obras-de-saneariento-alumbrado-plico-y-energia-eltr>. Fecha de acceso: 9 de diciembre de 2021.

Ordenanza N° 2108-CM-10. Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro. 22 de diciembre de 2010. Disponible en: <http://www.concejobariloche.gov.ar/index.php/2016-04-29-08-58-29/joomla-pages/list-all-categories/164-biblioteca/ordenanzas/5838-o-10-2108>. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ordenanza N° 2802-CM-16. Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro. 15 de diciembre de 2016. Disponible en: <https://digestobariloche.gov.ar/ordenanzas/2016/>. Fecha de acceso: 9 de mayo de 2021.

Ordenanza N° 2489-CM-13. Consejo Municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro. 15 de octubre de 2013. Disponible en:

<http://gop.bariloche.gov.ar/autogestion/web/site/textos-administrables?id=101>. Fecha de acceso: 9 de julio de 2022.

Resolución N° 1763. Boletín Oficial, Número: 5080. Departamento Provincial de Aguas, Río Negro, Argentina. 27 de agosto de 2007. Disponible en: <https://dpa.rionegro.gov.ar/download/boletin/5080.pdf>. Fecha de acceso: 2 de diciembre de 2021.

Resolución N° 885. Boletín Oficial, Número: 5379. Departamento Provincial de Aguas, Río Negro, Argentina. 29 de junio de 2015. Disponible en: <https://rionegro.gov.ar/download/boletin/5379%20supl.pdf>. Fecha de acceso: 2 de diciembre de 2021.

Resolución N° 1.763. Boletín Oficial, Número: 5080. Departamento Provincial de Aguas, Río Negro, Argentina. 4 de octubre de 2007. Disponible en: <https://dpa.rionegro.gov.ar/download/boletin/5080.pdf>. Fecha de acceso: 2 de diciembre de 2021.

Resolución N° 200-I-18. Municipalidad de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina. 9 de febrero de 2018.

Anexo I: Entrevistas a referentes institucionales

Preguntas de entrevista al DPA (Ing. Florencia Fasani e Ing. Paula Fortunato) y SADU (Ing. Agustina Cotelo).

- 1) ¿Consideran que es adecuada la normativa municipal/provincial existente, con respecto a los sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes? De forma general, ¿qué oportunidades de mejora proponen?
- 2) ¿Consideran que es adecuada la implementación/fiscalización de los sistemas? (construcción + operación). ¿Qué mejoras propondrían?
- 3) ¿Cuáles consideran son las principales problemáticas del tratamiento descentralizado/*in situ* en Bariloche?
- 4) ¿Cuáles son los peligros/riesgos a la población y el medio ambiente asociados?
- 5) Hay evidencias de contaminación de fuentes de agua potable o de cuerpos de agua? ¿Cuáles son los parámetros afectados? (ej: bacteriológicos, nutrientes, malos olores)
- 6) ¿Qué medidas se toman por parte del municipio/DPA ante estas problemáticas?
- 7) ¿Qué zonas del ejido presentan problemáticas (distribución geográfica) y a qué se debe?
- 8) ¿Cuáles consideran que son los sistemas de tratamiento descentralizados más utilizados en el ejido? Ej. cámaras sépticas, lechos, pozos, bateas fitosanitarias (humedales artificiales), unidades de tratamiento (aeróbicas/ozono, etc), lechos elevados. Y en el caso de sistemas de tratamiento centralizados a pequeña escala?
- 9) ¿Notan un conocimiento adecuado por parte de los profesionales de la construcción (arquitectos, ingenieros civiles, maestros mayores de obra) en la temática del tratamiento de efluentes cloacales descentralizado/*in situ*.

Preguntas sobre Ordenanza 2802-CM-16 y Resolución 200-I-2018

- 10) Previo a que se sancione la Ordenanza 2802-CM-16 (de tratamiento *in situ* de efluentes cloacales) y la Resolución 200-I-2018 que la reglamenta, se utilizaba un documento (Consideraciones para la presentación de tratamiento y disposición de aguas residuales en áreas sin servicio de red cloacal) del DPA. Se llegó a un consenso entre la DPA y la municipalidad sobre los criterios a utilizar para redactar la nueva ordenanza? ¿Qué observaciones podrían hacer?
- 11) En el caso de que haya un nivel freático a menor profundidad que la indicada, en la resolución municipal se especifica que la situación deberá ser analizada adicionalmente a esta reglamentación. ¿Qué consideraciones tendrían en cuenta para la realización de ensayos de infiltración y ubicación del sistema de tratamiento para estos casos?
- 12) La legislación establece límites/parámetros de diseño con respecto a índices de infiltración mínima pero no tiene consideraciones con respecto a índices elevados. ¿Consideran que esto debe ser modificado?
- 13) En el caso de terrenos que cuenten con mucha pendiente, que criterios aplicarían en la realización de ensayos de infiltración, y del diseño e instalación del sistema de tratamiento de efluentes?
- 14) Para resumir, puntuen brevemente cuáles serían las modificaciones que se le podrían aplicar a la nueva resolución municipal.
- 15) Se realizará a futuro una encuesta pública sobre el tratamiento de efluentes *in situ* en San Carlos de Bariloche. ¿Qué preguntas les harían a los usuarios sobre esta temática?
- 16) Por último, necesito que respondan por separado la siguiente pregunta. De una escala del 1 al 5, cuál consideras que es el nivel de importancia para su institución (Municipalidad/DPA) una adecuada gestión y reglamentación de la implementación de los sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes?

Preguntas a la APN - Intendencia PNNH (Axel Lehr)

- 1) ¿Cuáles consideras que son las principales problemáticas del tratamiento descentralizado/*in situ* en Bariloche?
- 2) ¿Cuáles son los peligros/riesgos a la población y el medio ambiente asociados?
- 3) ¿Qué medidas se toman por parte de la APN ante estas problemáticas?
- 4) ¿Qué zonas/barrios dentro de PN presentan problemáticas (distribución geográfica) y a qué se debe?
- 5)
 - a) ¿Qué receptores naturales (Ej: Cuerpos de agua superficiales ubicados dentro del PN, humedales, etc) considerás que reciben un mayor impacto por el inadecuado tratamiento de efluentes por medio de estos sistemas?
 - b) Observaciones y estudios científicos en el Nahuel Huapi y otros cuerpos de agua indicarían un incremento en algas /modificación en especies acuáticas en zona de costas. ¿Es esto algo que está siendo estudiado o genere preocupación a la institución?
- 6) ¿Hay otras evidencias de contaminación de fuentes de agua potable o de cuerpos de agua dentro del área de Parques Nacionales? ¿Cuáles son los parámetros afectados? (ej: bacteriológicos, nutrientes, malos olores).
- 7) ¿Consideras que es adecuada la normativa municipal/provincial existente, con respecto a los sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes? De forma general, ¿qué oportunidades de mejora propones?
- 8) El año pasado se actualizó la normativa de PN, la cual establece los lineamientos para el tratamiento *in situ* de efluentes mediante diferentes opciones de instalaciones sanitarias ("Reglamento de construcciones para los Parques Nacionales, Monumentos Naturales y Reservas Nacionales"). Se propone dimensionamientos de cámaras sépticas y lechos drenantes, basadas en información de AySA.
 - ¿Sabes si se hizo algún tipo de adaptación de esta información a las características de la región? En qué aspectos? ¿En una escala de 1 al 5, cuál sería su tasa de implementación en la actualidad?

- 9) De una escala del 1 al 5, cuál consideras que es el nivel de importancia para la APN una adecuada implementación de los sistemas de tratamiento *in situ* de efluentes?

Preguntas a la CEB (Ing. Fernando Martin)

- 1) Por información proporcionada por la institución, el INDEC y la Municipalidad de S.C. Bariloche, se estima que en la actualidad cerca del 60% de la población dentro del ejido urbano posee conexión a la red cloacal. ¿Qué incremento se espera de este porcentaje para la siguiente década?
- 2) ¿Qué zonas o barrios son prioritarias para ser incluidas a futuro en la red cloacal? ¿Por qué razones?
- 3) ¿Hay intenciones de construir nuevas plantas de tratamiento en el ejido municipal? ¿Dónde estarían ubicadas las mismas?
- 4) ¿Qué problemáticas se observan en períodos de alta temporada, con respecto al funcionamiento de la planta depuradora? Se ha podido mitigar estos problemas con la construcción del segundo módulo de tratamiento?
- 5) Con la nueva expansión de la planta depuradora, cual es el caudal aproximado de efluentes que se puede tratar actualmente?
- 6) ¿Cuál es tu postura con respecto a construir varias plantas de tratamiento de menor escala en el ejido en comparación a una sola de mayor tamaño?
- 7) ¿Hay algún valor de población equivalente a partir del cual se justifica la construcción de un tipo de planta de tratamiento específico?
- 8) ¿Cuáles consideras que son las principales problemáticas del tratamiento descentralizado en Bariloche?
- 9) ¿Cuáles son sus peligros/riesgos a la población o el ambiente asociados a estas problemáticas?
- 10) ¿Qué tipo de sistema de tratamiento de efluentes (centralizado - planta de tratamiento a gran escala vs. descentralizado - tratamiento *in situ* domiciliario) consideras más adecuado a implementar?
- 11) ¿Cuáles consideras que son las ventajas de cada sistema?

Anexo II: Imágenes de salidas a campo

Urbanización Procrear



Imagen 5. Construcción de sistema de tratamiento in situ.



Imagen 6. Lotes con pendiente significativa, zona oeste del barrio.



Imagen 7. Observación de anegamiento por efluentes provenientes de cámara desengrasadora.



Imagen 8. Presencia de cámara desengrasadora/de inspección y cámara séptica.

Zona Km 5



Imagen 9. Zona de mallín, calle Sara Maria Furman, con presencia de algas.



Imagen 10. Esgurrimiento superficial en zona de mallín, calle Del Hurón (zona de riesgo alto).



Imagen 11. Arroyo que atraviesa todo el barrio, dirección este-oeste, paralelo a calle Del Hurón.



Imagen 12. Altura de napa freática, zona oeste de la urbanización.



Imagen 13. A. La Cascada, zona oeste de la urbanización.

Barrio Villa Lago Gutiérrez



Imagen 14. Zona noreste del barrio, arroyo al lado de la Av. Cerro Catedral. Presencia de suelo con textura arcillosa.



Imagen 15. Esguerrimiento superficial, terreno ubicado en calle De las Frambuesas.



Imagen 16. Altura de napa freática. Sótano de casa ubicada sobre Av. Cerro Catedral.



Imagen 17. Registro de altura de napa freática (baja), zona sudoeste del barrio.



Imagen 18. Esgurrimientos superficiales, zona sudeste del barrio, en cercanías del Cerro Ventana.

Barrio Parque Lago Moreno

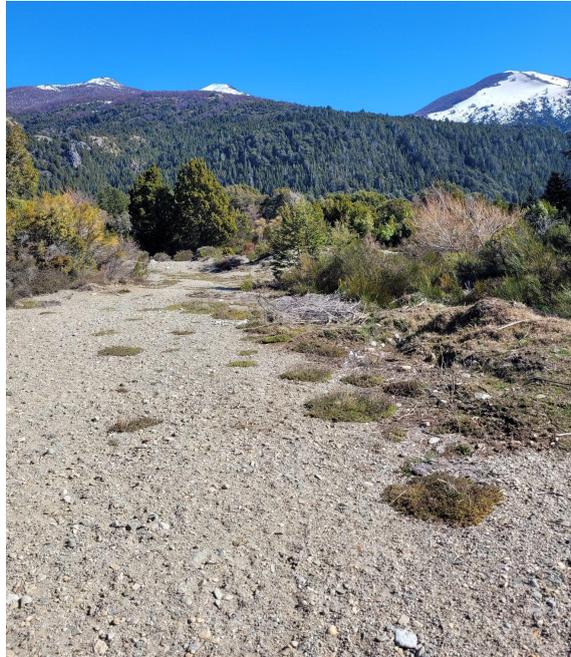


Imagen 19. Suelos de abanicos aluviales y terrazas fluviales, de textura arenosa- pedregosa, cuenca de A. Casa de Piedra.



Imagen 20. Arroyo Casa de Piedra, cuerpo de agua receptor.



Imagen 21. Presencia de napa freática alta, zona este del barrio.



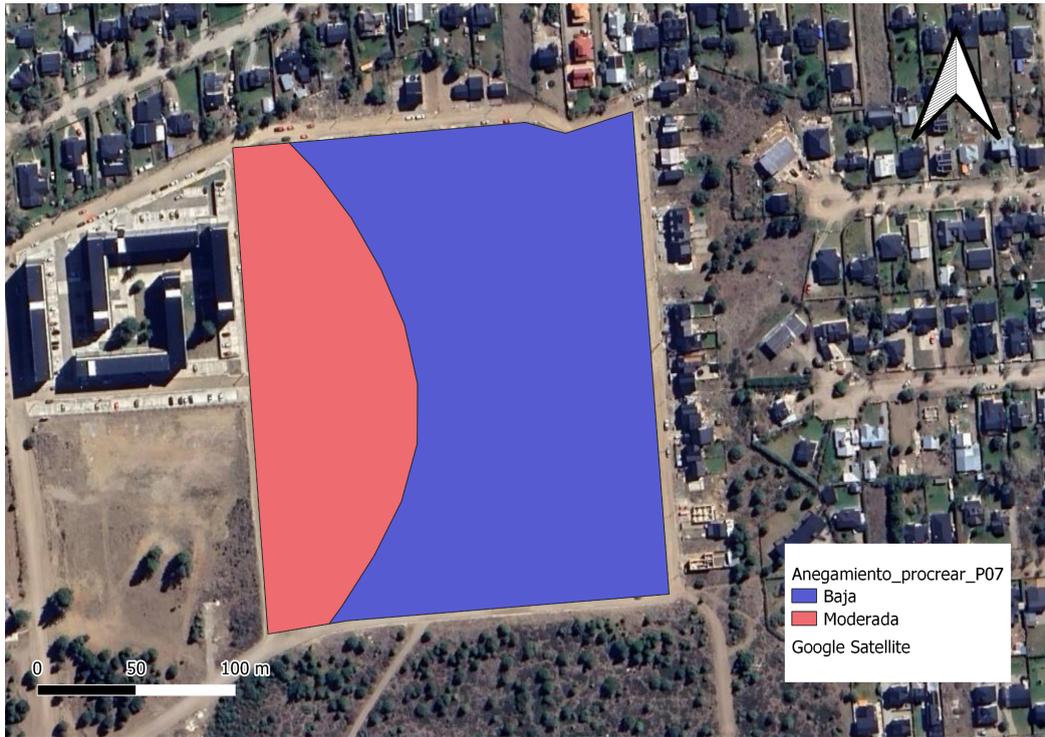
Imagen 22. Esguerrimiento superficial al sudeste del barrio.

Anexo III: Mapas de Evaluación de Riesgo

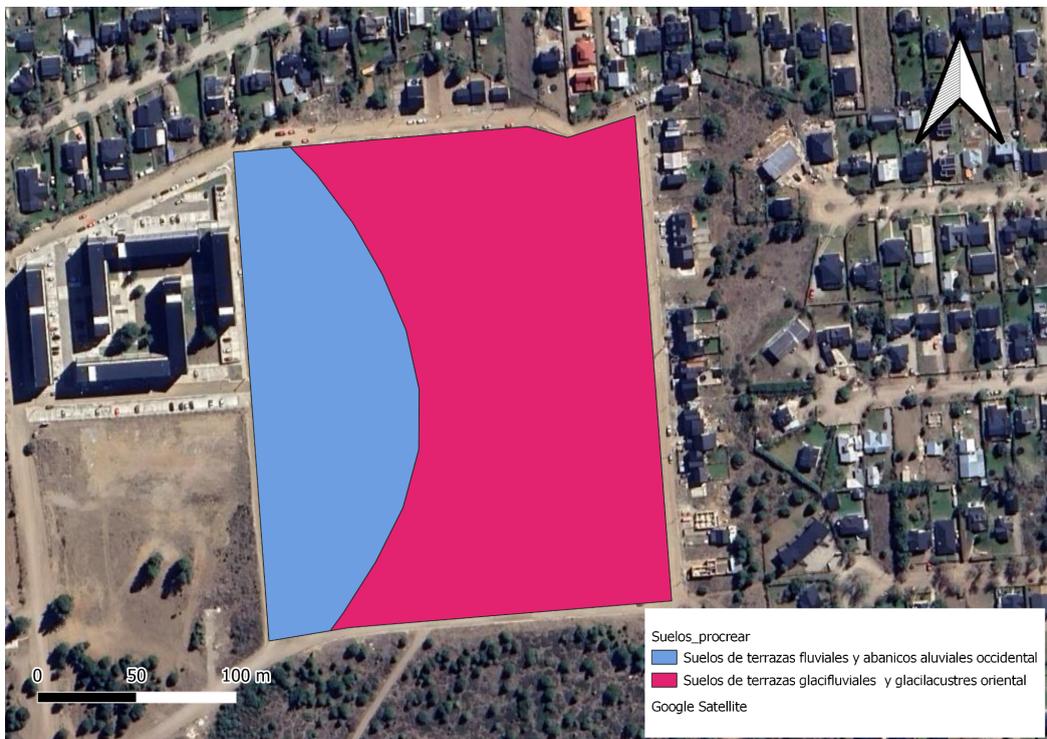
Urbanización Procrear



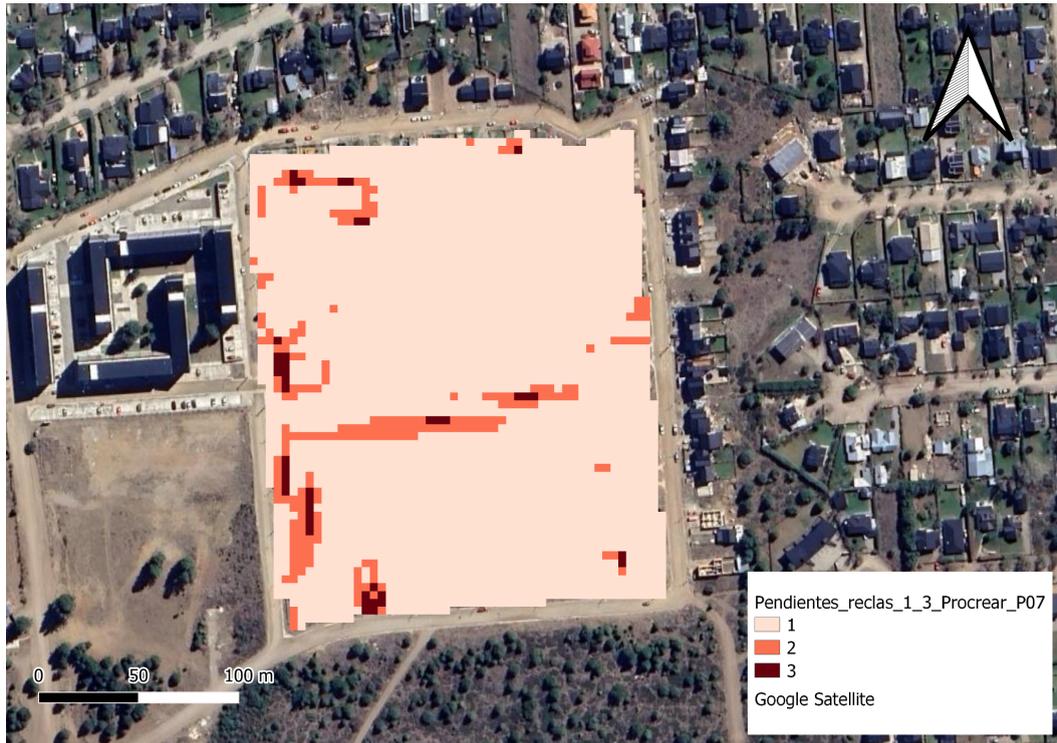
Mapa 1. Polígono Procrear.



Mapa 1. Probabilidad de anegamiento, urbanización Procrear.



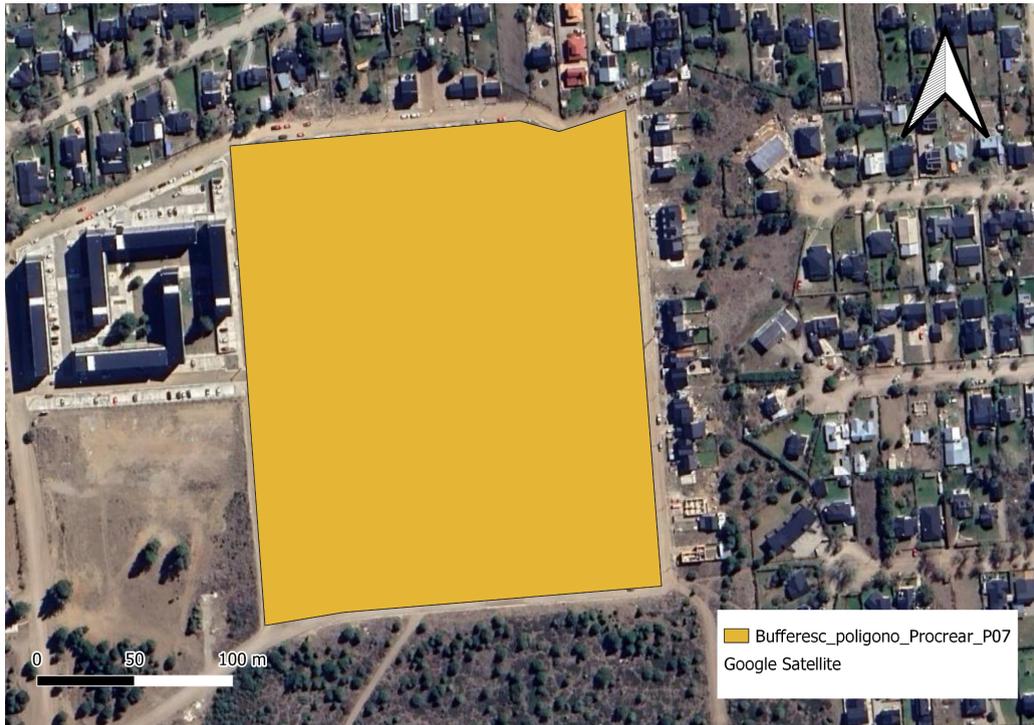
Mapa 2. Clasificación de suelos, urbanización Procrear.



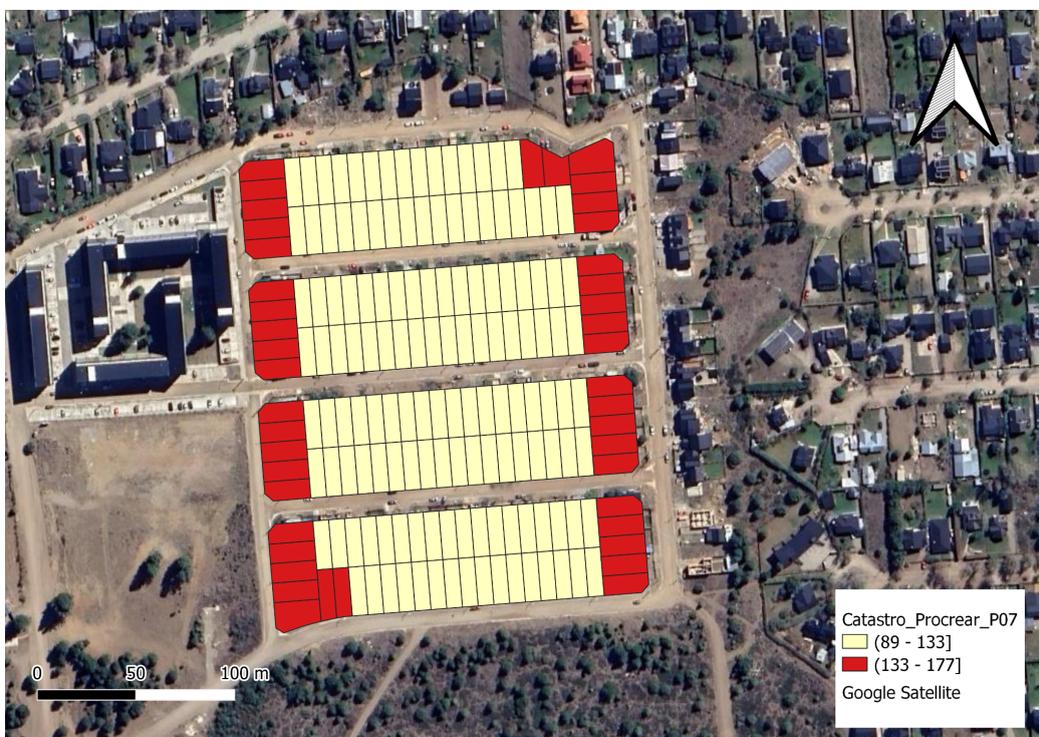
Mapa 3. Clasificación de pendientes, capa ráster, urbanización Procrear.



Mapa 4. Escurreimientos superficiales, capa vectorial original, urbanización Procrear.

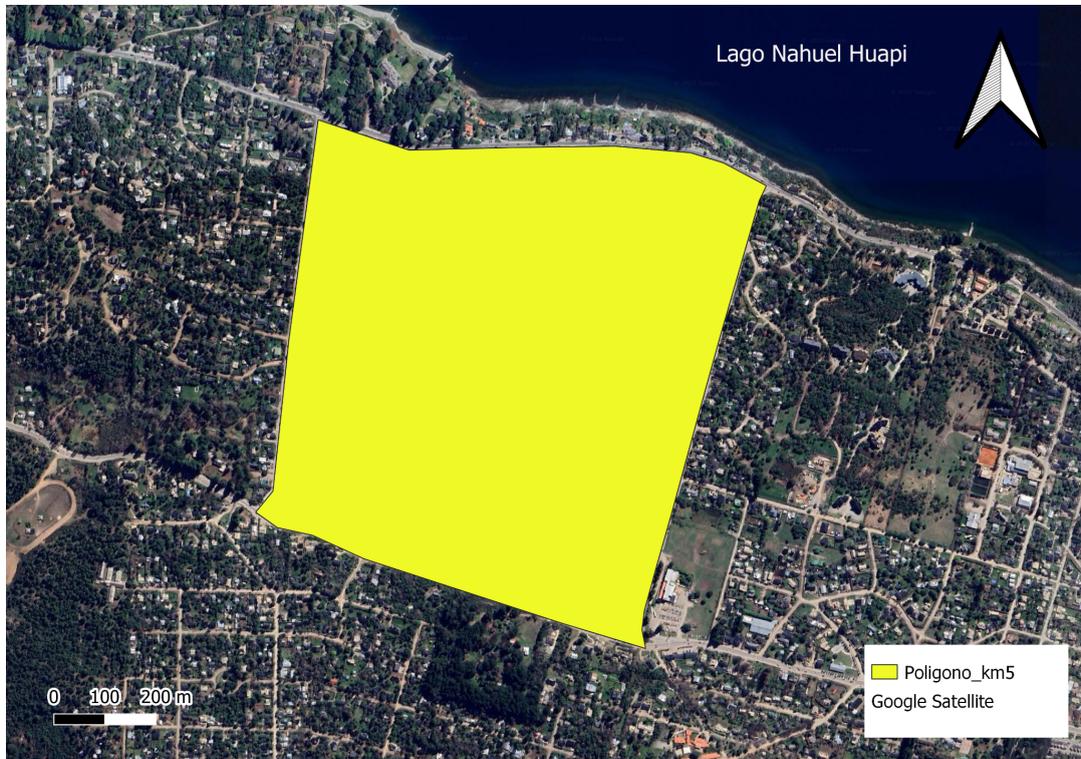


Mapa 5. Buffer escurremientos superficiales (tras filtración de O. de Strahler menores), urbanización Procrear.

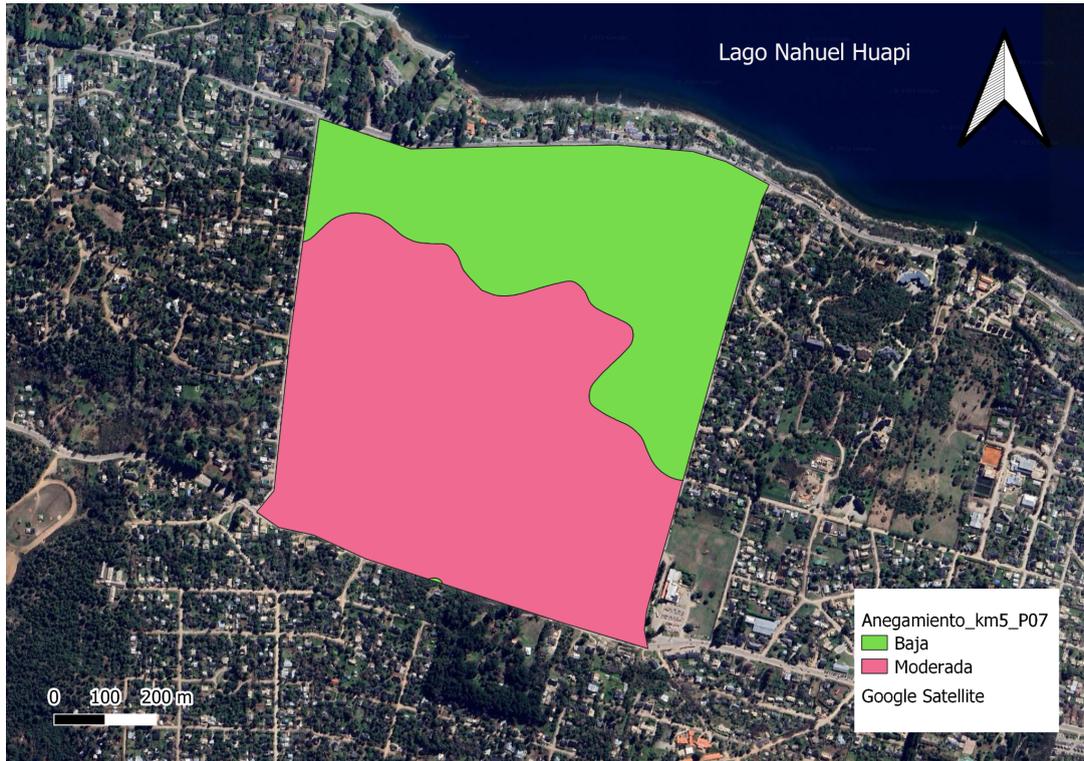


Mapa 6. Densidad poblacional potencial, urbanización Procrear.

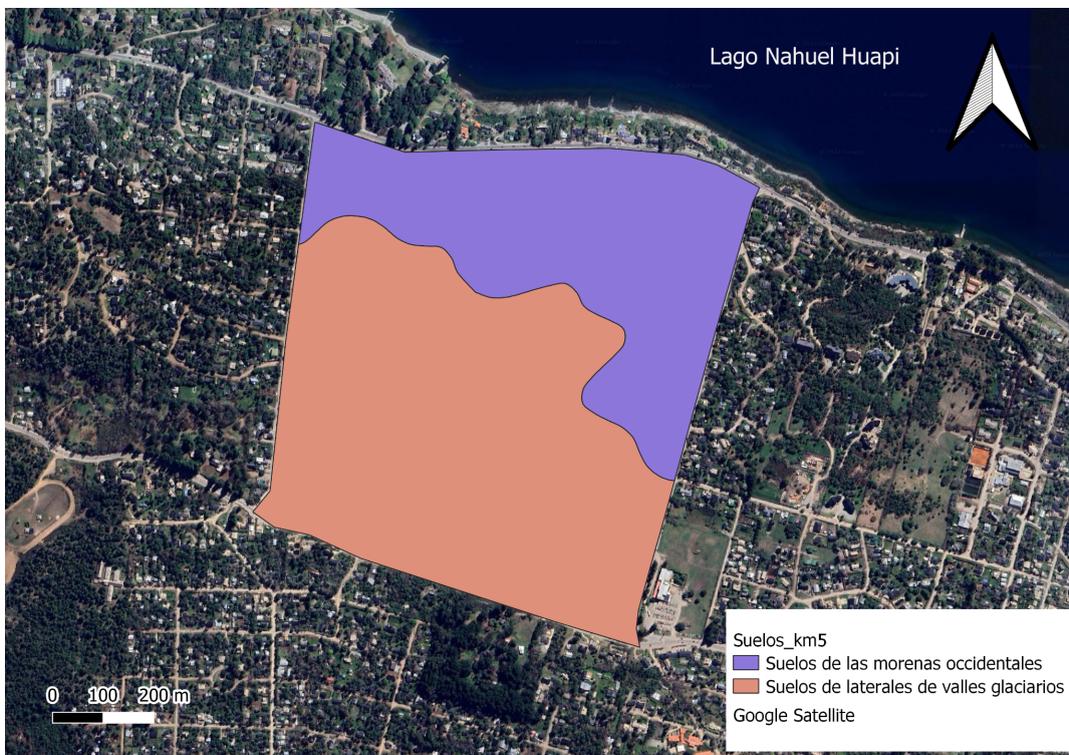
Zona Km 5



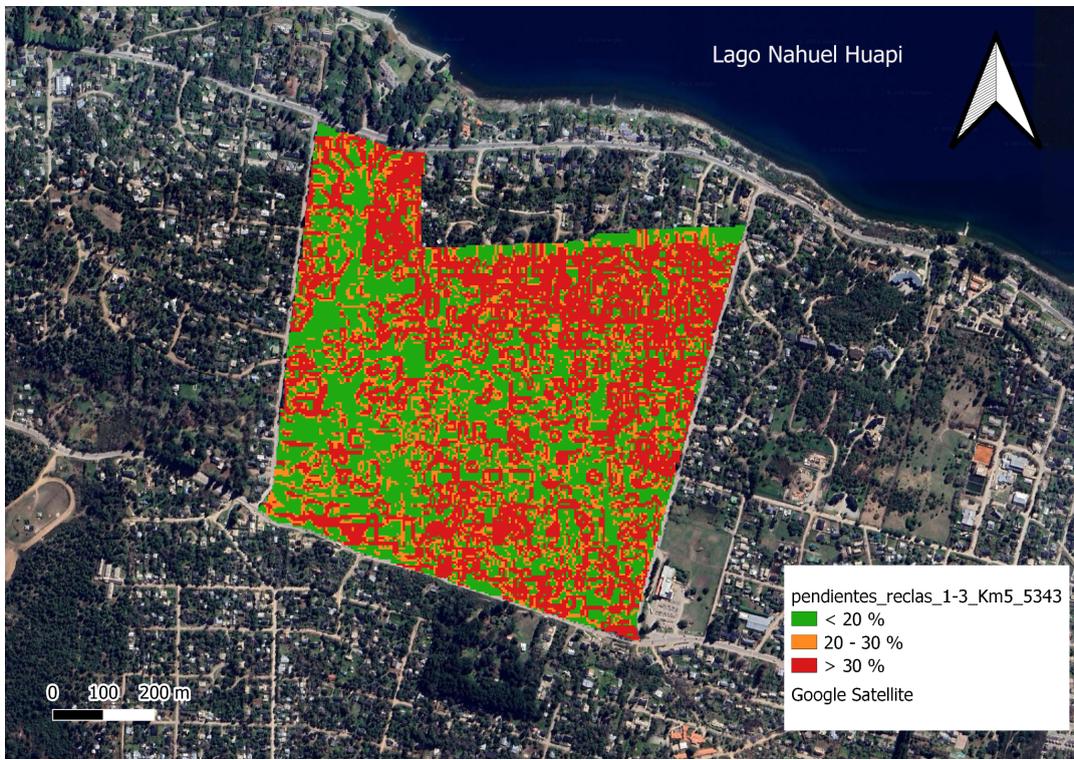
Mapa 7. Polígono zona Km 5.



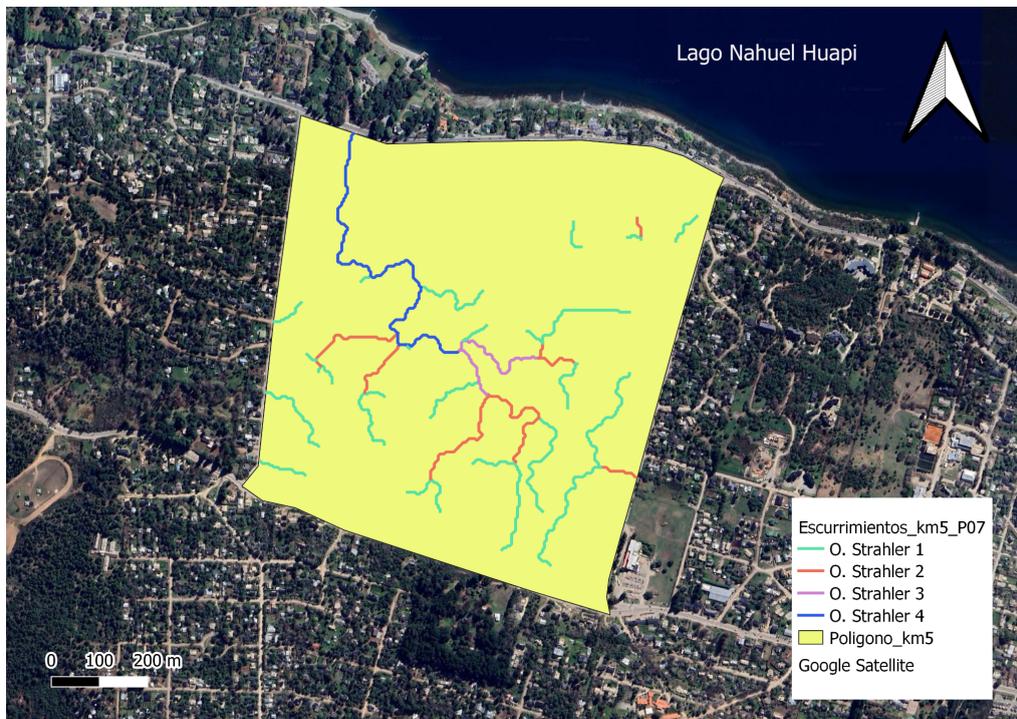
Mapa 8. Probabilidad de anegamiento, zona Km 5.



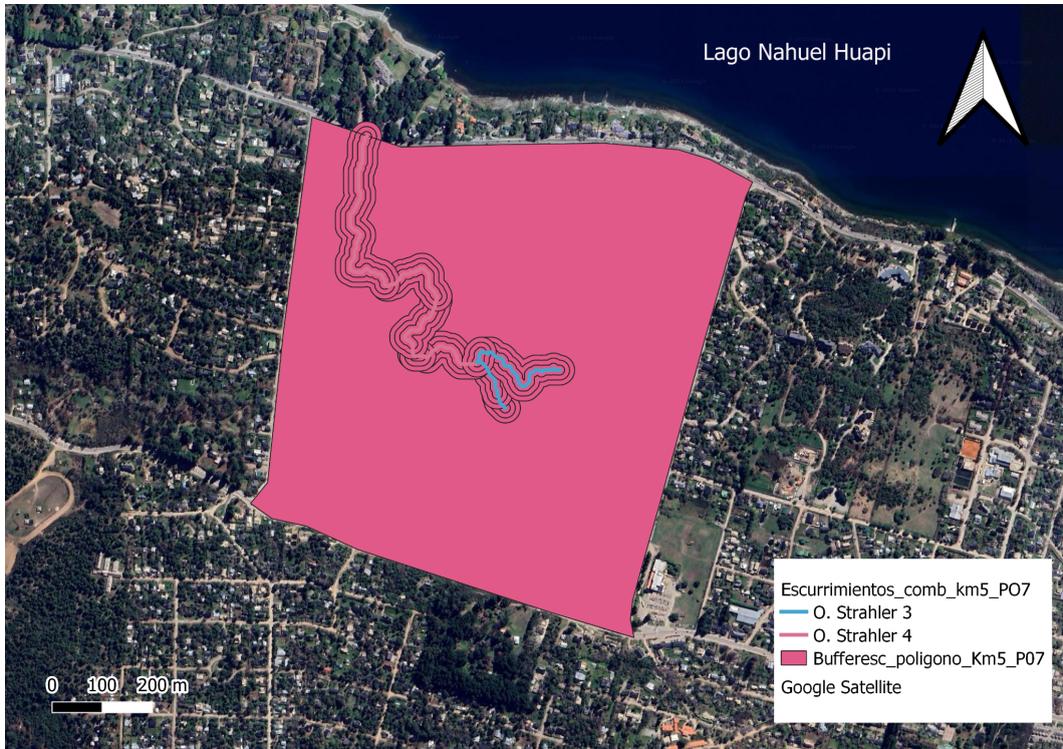
Mapa 9. Clasificación de suelos, zona Km 5.



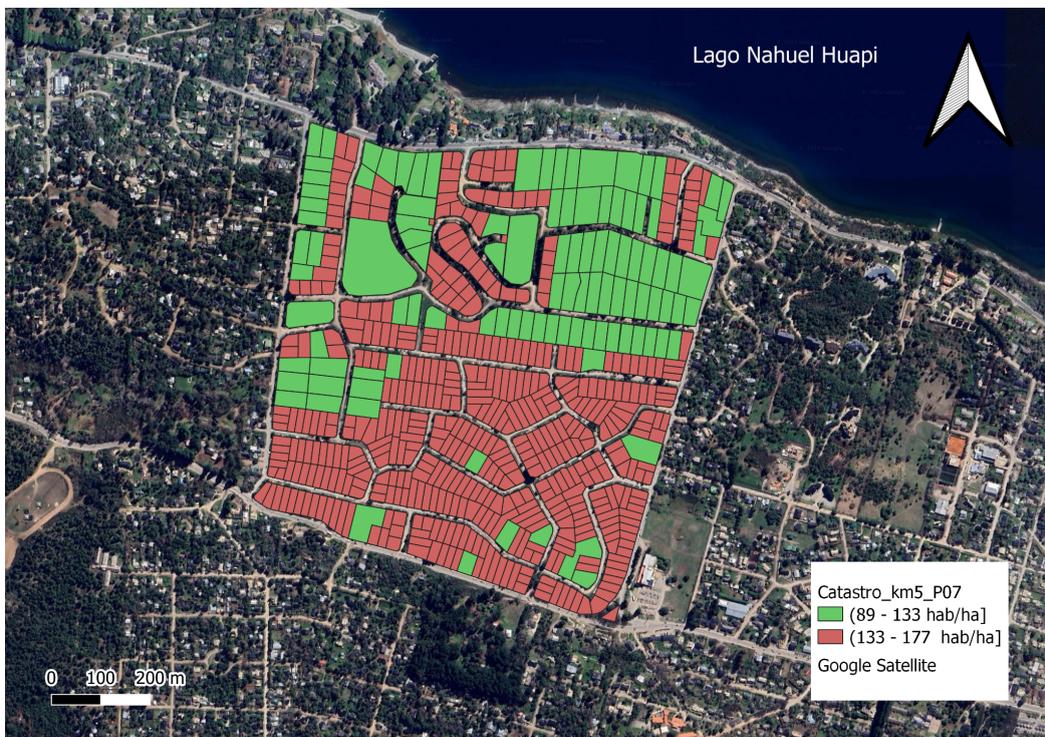
Mapa 10. Clasificación de pendientes, capa ráster, zona Km 5.



Mapa 11. Esgurrimientos superficiales, capa vectorial original, zona Km 5.



Mapa 12. Buffer escurrimientos superficiales con equidistancia de 10 m, zona Km 5.

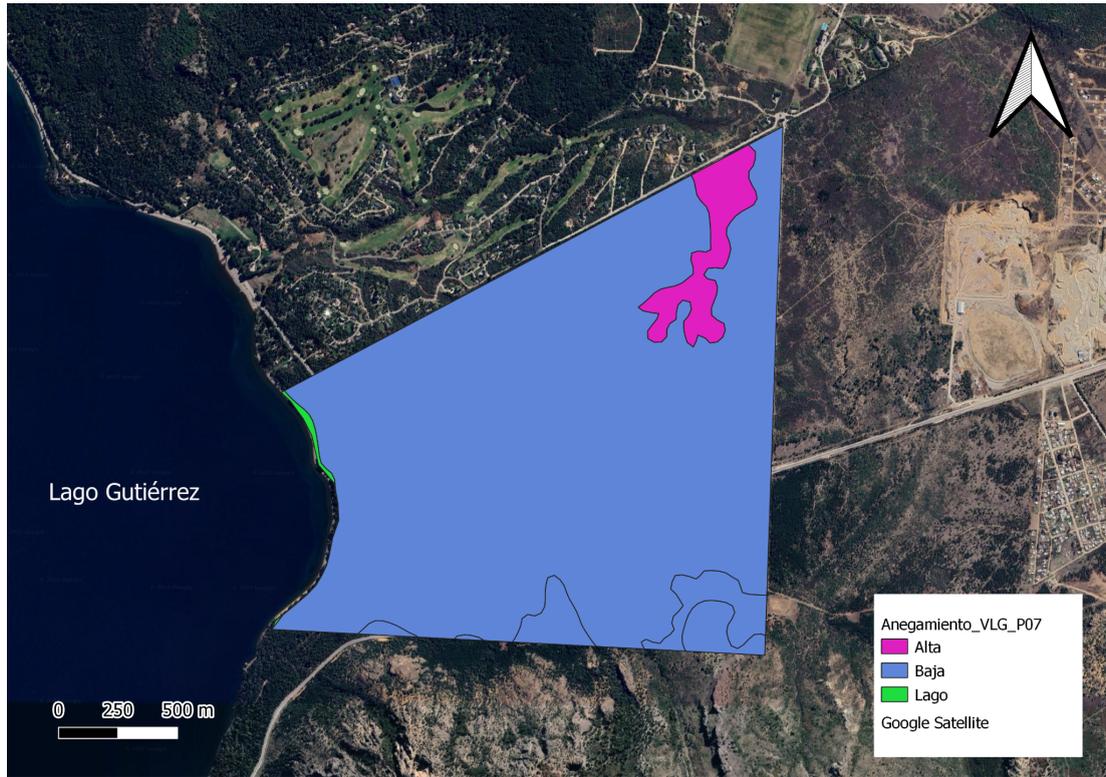


Mapa 13. Densidad poblacional potencial, zona Km 5.

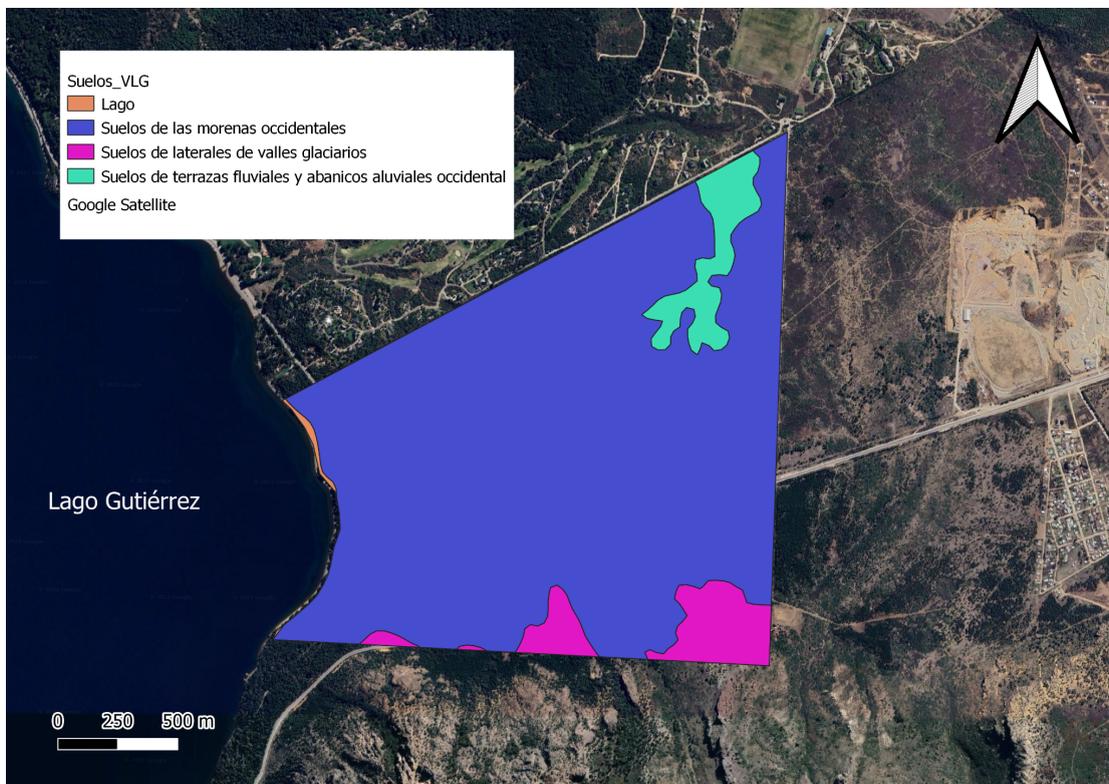
Villa Lago Gutiérrez



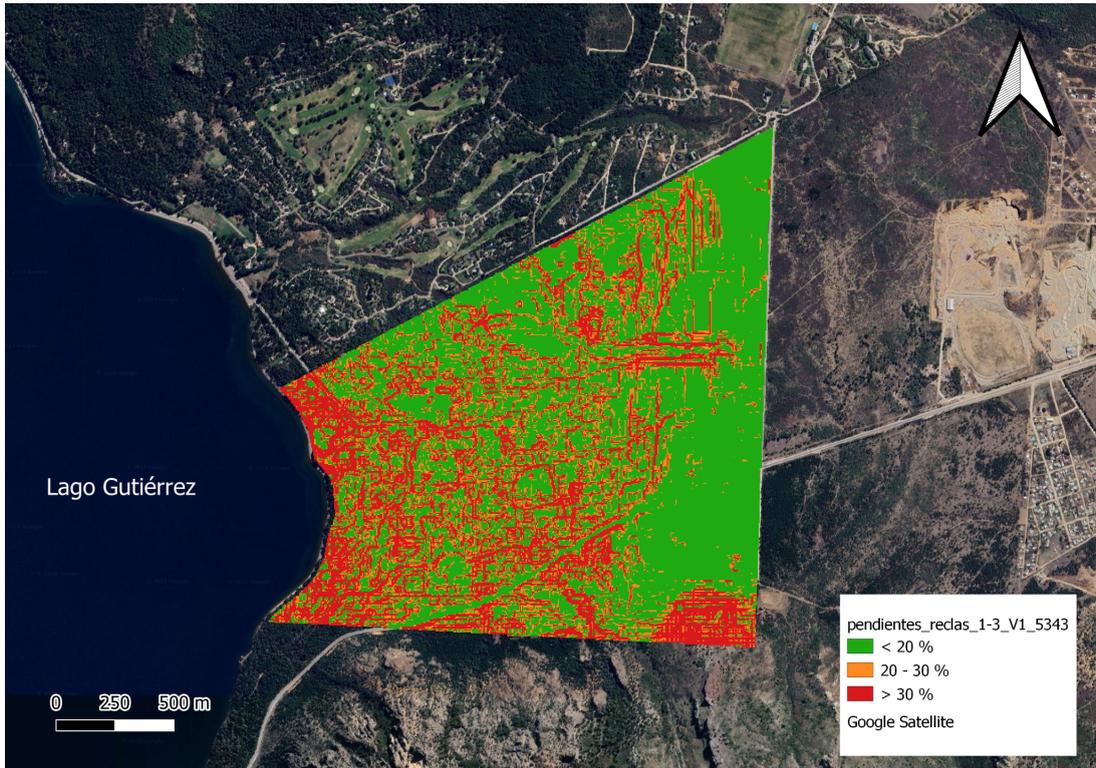
Mapa 14. Polígono VLG.



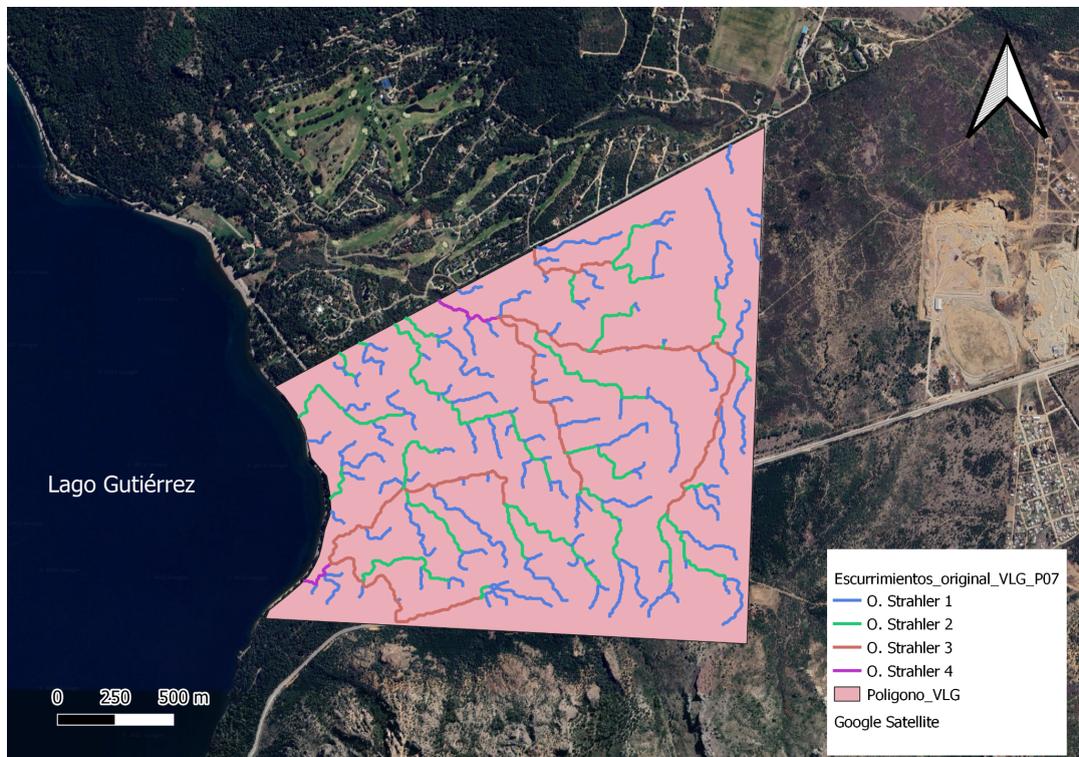
Mapa 15. Probabilidad de anegamiento, VLG.



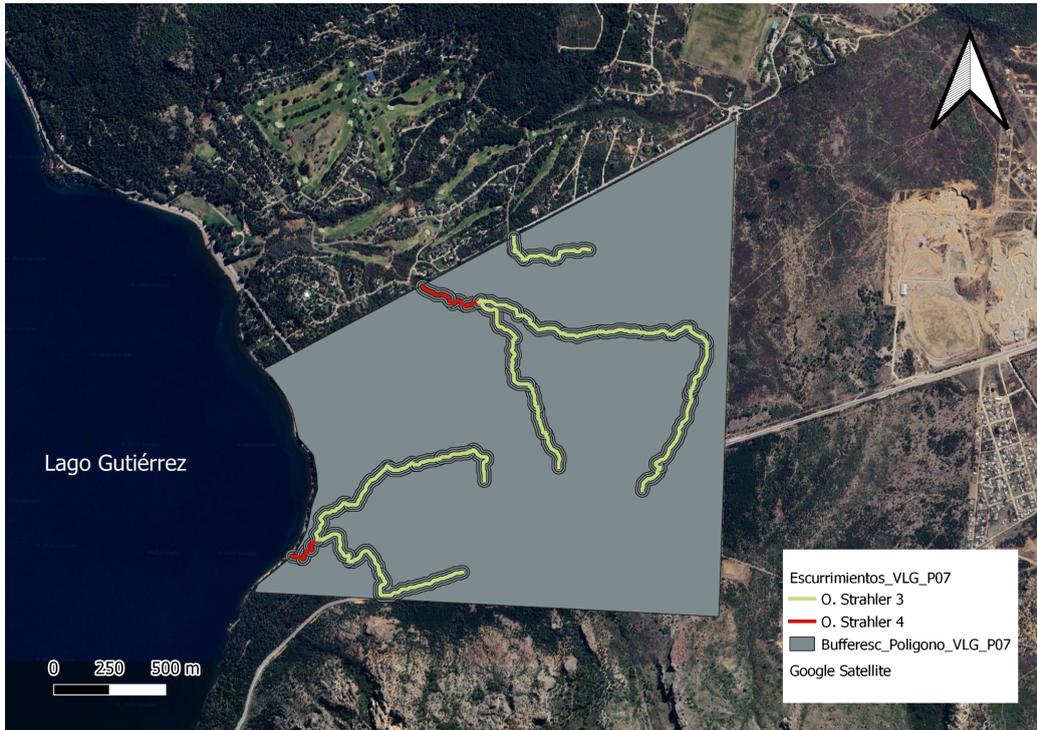
Mapa 16. Clasificación de suelos, VLG.



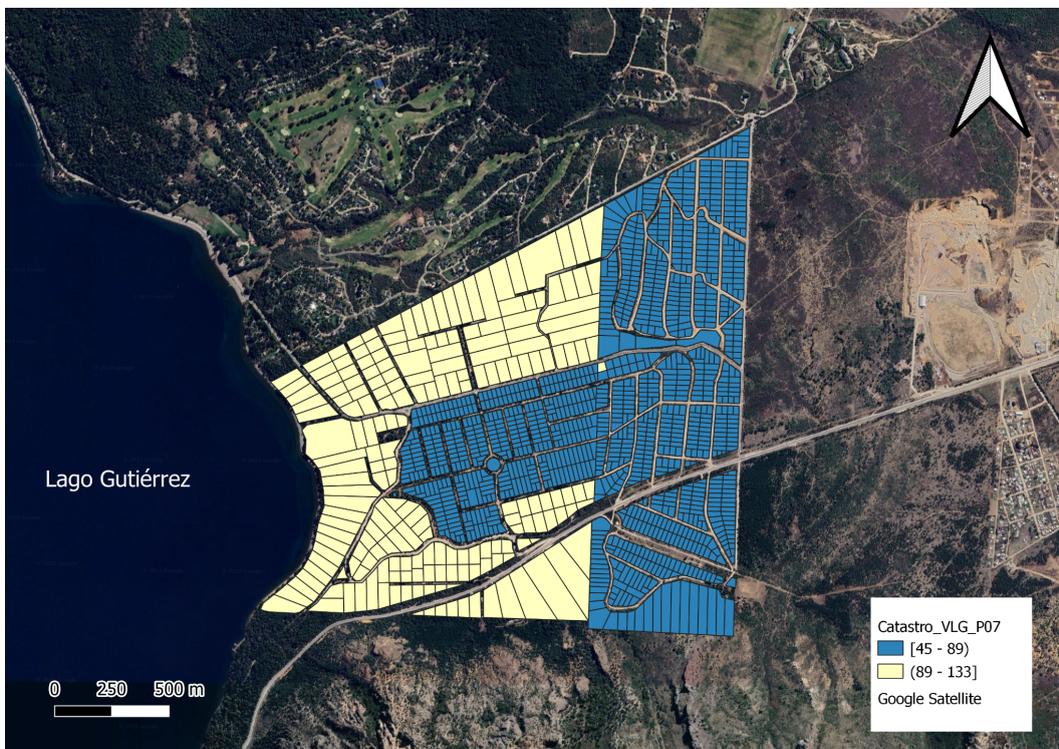
Mapa 17. Clasificación de pendientes, capa ráster, VLG.



Mapa 18. Escurreimientos superficiales, capa vectorial original, VLG.



Mapa 19. Buffer escurrimientos superficiales con equidistancia de 10 m, barrio VLG.

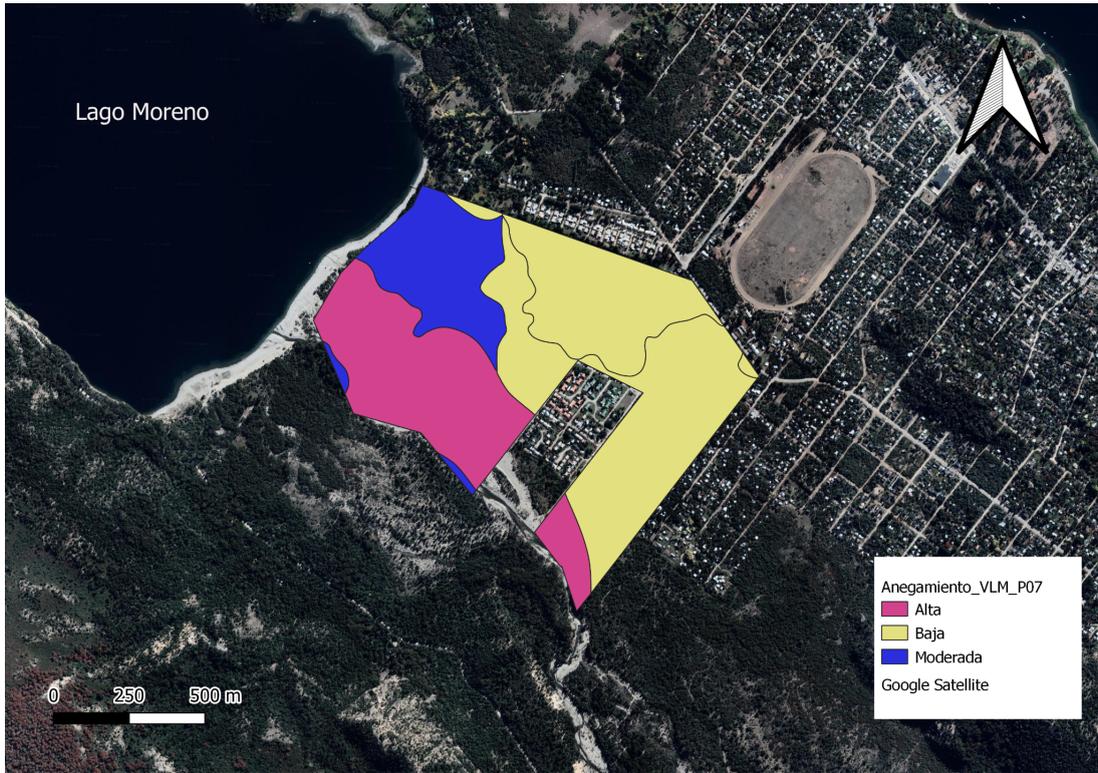


Mapa 20. Densidad poblacional potencial, zona VLG.

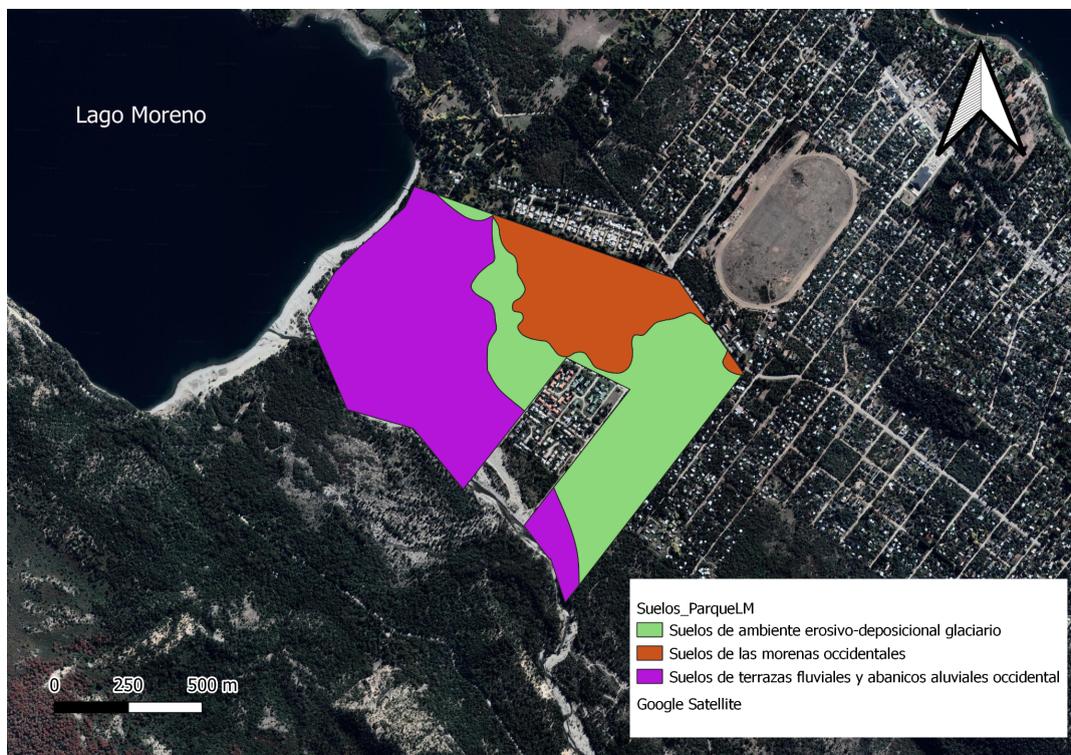
Barrio Parque Lago Moreno



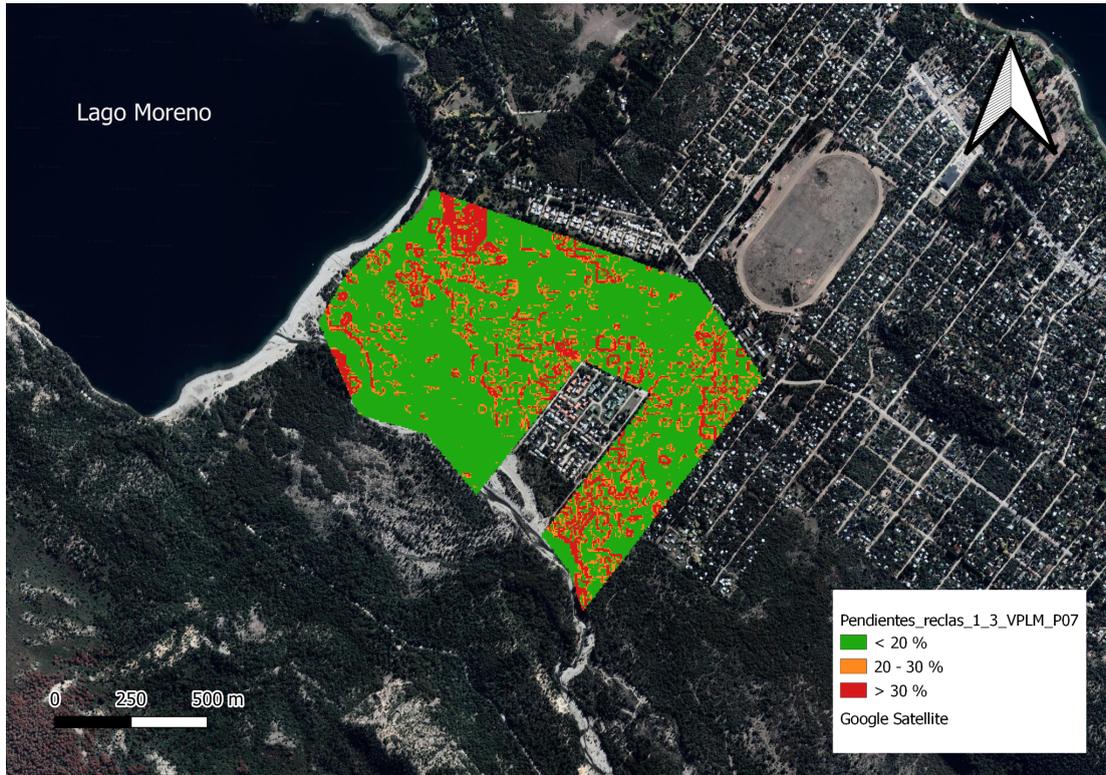
Mapa 21. Polígono PLM.



Mapa 22. Probabilidad de anegamiento, PLM.



Mapa 23. Clasificación de suelos, PLM.



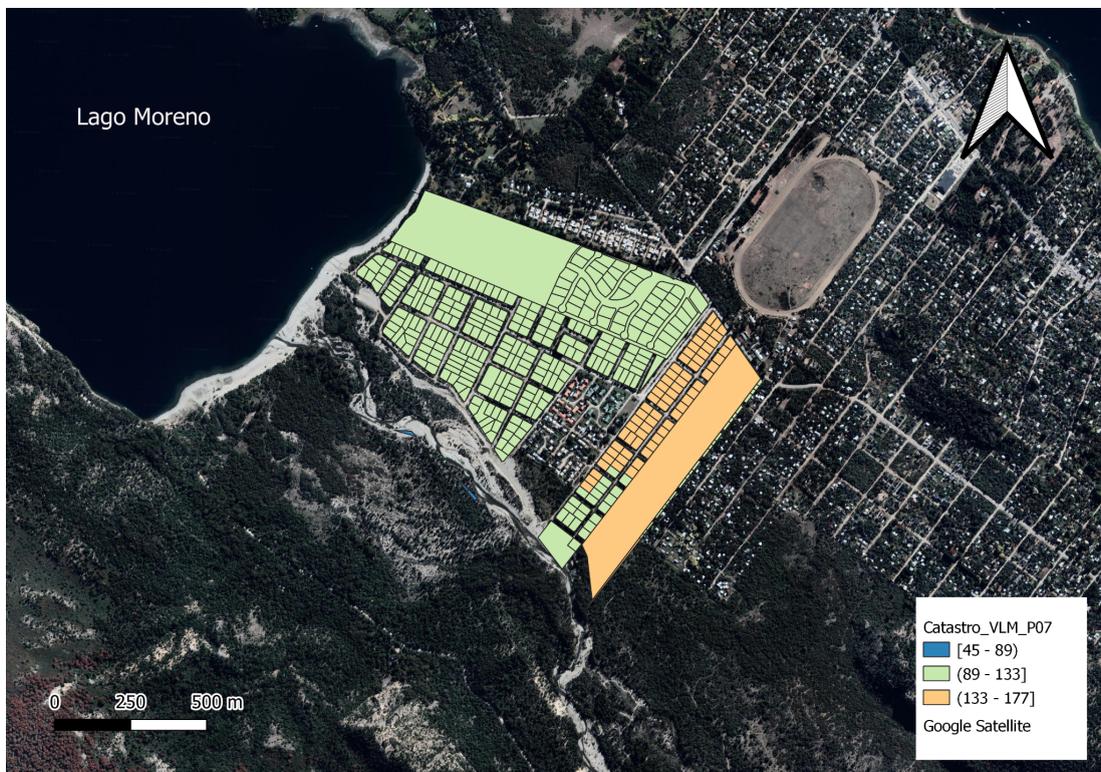
Mapa 24. Clasificación de pendientes, capa ráster, barrio PLM.



Mapa 25. Escurrimientos superficiales, capa vectorial original, PLM.



Mapa 26. Buffer escurrimientos superficiales con equidistancia de 10 m, barrio PLM.



Mapa 27. Densidad poblacional potencial, zona PLM.