

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
RELLENO SANITARIO SAN ROQUE**

SOFÍA CATALINA RÍOS LAGOS

PROYECTO DE HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN, PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

CHILLÁN-CHILE

2022

**ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
RELLENO SANITARIO SAN ROQUE**

Aprobado por:

José Luis Arumí Ribera
Ingeniero Civil, Ph. D.
Profesor Titular

Profesor Guía

Luis Antonio Seminario Salas
Ingeniero en Industrias Alimentarias, Msc.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Camilo Souto Escalona
Ingeniero Civil Agrícola, Dr.
Profesor Asistente

Profesor Asesor

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Asistente

Directora de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniera Agrónoma, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que es mi mayor inspiración para conseguir todas mis metas, por darme la fortaleza, valentía y confianza para lograr todo lo que me propongo.

Agradezco a mi padre, quien me incentivó y guío para elegir esta carrera y por sus grandes consejos que me ayudaron a vencer muchos miedos. A mi madre, por estar siempre a mi lado, por el amor incondicional y preocupación constante. Sin duda este logro también es de ellos.

Agradecer al Ing. Rober Clasing, por su aporte y colaboración en esta investigación que permitió el desarrollo de esta tesis.

Finalmente quiero agradecer a los profesores que fueron parte de mi comisión, profesores Luis Seminario, Camilo Souto y en especial a mi profesor guía, Dr. José Luis Arumí, por todo el tiempo dedicado, apoyo y conocimiento entregado, estaré siempre agradecida de la calidad de docentes que tenemos en la Facultad de Ingeniería Agrícola.

ÍNDICE DE MATERIA

	Página
RESUMEN.....	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. ANTECEDENTES GENERALES.....	12
3.1 Área de estudio	12
4. METODOLOGÍA.....	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5.1 Área de influencia	17
5.1.1 Hidrología Superficial.....	18
5.1.2 Antecedentes Climáticos	19
5.1.3 Antecedentes Ambientales	21
5.1.4 Aguas Subterráneas	25
5.1.5 Características principales de los cursos de agua presentes	28
5.2 Riesgo frente a crecidas evacuadas por el embalse Colbún	32
5.2.1 Consideraciones	32
5.2.2 Embalse Colbún como embalse de control	33
5.2.3 Revisión de estudios de crecidas de embalse Colbún	33
5.2.4 Simulación Hidráulica para un período de retorno de 100 años ..	34
5.3 Plan de prevención de contingencias y emergencias por inundación .	36
5.3.1 Conocimiento del riesgo	37
5.3.2 Responsabilidades	40
5.3.3 Capacitación y entrenamiento	43
5.3.4 Plan de Emergencia	44
5.3.5 Sistema de comunicación ante emergencias	45
5.3.6 Elaboración de informes	47
6. CONCLUSIONES	48
7. LITERATURA CITADA	50
8. ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Coordenadas del polígono que conforma el límite del Relleno Sanitario San Roque, DATUM WGS 84, Huso 19 Sur.....	13
Tabla 2. Condiciones climáticas del sector Mariposas, San Clemente.....	20
Tabla 3. Valores representativos de precipitación registrada en la estación Mariposas, San Clemente. (mm/año)	20
Tabla 4. Coordenadas de puntos de monitoreo de aguas subterráneas al interior del relleno sanitario.....	27
Tabla 5. Características generales de las estaciones fluviométricas río Maule en Armerillo, río Maule en Longitudinal y río Maule en Colbún.	29
Tabla 6. Características Generales Embalse Colbún	33
Tabla 7. Qmi esperados en Presa Colbún.....	33
Tabla 8. Fechas de eventos críticos y caudales máximos instantáneos asociados m ³ /s.....	34
Tabla 9. Riesgo de Lluvias Intensas e Inundaciones.....	39
Tabla 10. Respuesta para controlar la emergencia ante inundación.....	44
Tabla 11. Teléfonos de emergencia externos.....	46
Tabla 12. Listado de autoridades y juntas de vecino a comunicar ante emergencias, en caso de que corresponda.....	46
En el Anexo	
	Página
Tabla A1. Anfibios presentes en el área de influencia.	55
Tabla A2. Aves presentes en el área de influencia.....	55
Tabla A3. Mamíferos presentes en el área de influencia.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista aérea del proyecto.....	12
Figura 2. Ubicación del proyecto y de los principales cauces existentes en su cercanía.....	17
Figura 3. Vista aérea del Embalse Colbún y Embalse Machicura.	19
Figura 4. Vegetación presente en el área de influencia.....	21
Figura 5. Usos de suelo en el área de influencia.	23
Figura 6. Sistemas de agua potable rural (APR) cercanos al proyecto.	25
Figura 7. Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA.....	26
Figura 8. Imagen satelital donde se aprecia los 3 puntos de muestreo de aguas subterráneas.	28
Figura 9. Cuenca Quebrada Sanatorio	30
Figura 10. Imagen aérea del Embalse Colbún.	31
Figura 11. Perfiles transversales en el área de influencia del Relleno Sanitario San Roque, calculados usando el modelo Hec-RAS.....	35
Figura 12. Área de inundación estimada para una evacuación de la crecida asociada a 100 años en el vertedero Colbún	36

ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO SAN ROQUE

Palabras claves: Residuos Sólidos, Gestión Ambiental, Plan de Contingencia, Río Maule.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis hidrológico del área de influencia del Relleno Sanitario San Roque. La metodología para llevar a cabo este estudio comprende la descripción detallada de las características del área de influencia del proyecto, abarcando la hidrología superficial, subterránea y antecedentes climáticos, ambientales y geológicos. Luego, se estudiaron los posibles riesgos frente a crecidas evacuadas por el embalse Colbún, que está ubicado 7 km aguas arriba del área de emplazamiento del relleno sanitario, por lo cual se inicia una revisión bibliográfica de los caudales de crecidas bajo distintos escenarios temporales. Con estos datos se utilizó la plataforma computacional Hec-RAS para realizar una simulación hidráulica con la que estimó la altura que alcanzaría el río Maule para la descarga del caudal asociado al período de retorno de 100 años por el vertedero de Colbún, de esta forma se analizó si el relleno sanitario se ve afectado. Finalmente se propone un plan de contingencias y emergencias que tiene por objetivo prevenir inundaciones en el área del proyecto. De esta manera se desarrolló un plan de prevención para dar una respuesta inmediata, coordinada y efectiva que permita controlar y mitigar las consecuencias de una crecida.

**ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL
RELLENO SANITARIO SAN ROQUE**

**HYDROLOGY ANALYSIS OF THE AREA OF INFLUENCE OF THE
SANITARY LANDFILL SAN ROQUE**

Keywords: Solid Waste, Environmental Management, Contingency Plan,
Maule River.

SUMMARY

The objective of this work is to carry out a hydrological analysis of the area of influence of the San Roque Landfill. The methodology of this study includes a detailed description of the characteristics of the area of influence of the project, including surface and subway hydrology and climatic, environmental and geological background. Then, we studied the possible risks of floods evacuated by the Colbún reservoir, which is located 7 km upstream of the landfill site area, for which we began a bibliographic review of flood flows under different time scenarios. With this data, the Hec-RAS computational platform was used to perform a hydraulic simulation that estimated the height that would be reached for a 100 years discharge of the Colbún reservoir, thus analyzing whether the landfill is affected. Finally, a contingency and emergency plan were proposed to prevent flooding in the project area. In this way, steps were determined to follow in order to provide an immediate, coordinated and effective response to control and mitigate the consequences.

1. INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios corresponden a un espacio destinado para la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios y asimilables, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud y la seguridad de la población, como también daños para el medio ambiente.

La factibilidad del uso de área para un relleno sanitario se sustenta en la evaluación geológico ambiental, lo cual significa fijar todos los aspectos técnicos ambientales, como la ubicación, topografía, condiciones geológicas, climáticas e hidrológicas superficiales y subterráneas, tomando precauciones para no alterar el medio ambiente natural en forma negativa o causar impactos adversos en la población cercana (Allende, 2001).

Para que exista un buen funcionamiento de estos es necesario considerar las normativas medioambientales presentes. La legislación chilena pertinente a los rellenos sanitarios es el "Reglamento sobre las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los Rellenos Sanitarios" aprobado mediante el Decreto Supremo 189/2005.

La cercanía de masas de agua superficiales y subterráneas a un relleno sanitario es uno de los principales aspectos considerados, ya que según la normativa, estos deben ubicarse 600 metros de toda captación de agua existente, y a más de 60 metros de todo curso o masa de agua superficial, considerando dicho distanciamiento desde la ribera generada por la máxima crecida en un período de retorno de 100 años.

Esta distancia mínima tiene como objeto reducir el riesgo de potenciales contaminaciones directas e indirectas a los cauces fluviales, ya que, si un volumen relativamente importante de lixiviados llega a un curso de agua, es muy probable que se sobrepasen los valores de sólidos en suspensión, DBO y DQO permitidos (Colomer et al., 2013), disminuyendo la concentración de oxígeno disponible para los organismos vivos. Por otra parte, los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados contienen una importante cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que pueden ser liberados y provocar la eutrofización del agua (Chan et al., 1999; Mwiganga y Kansiime 2005).

En el presente trabajo, se analizará el área de influencia en la que se encuentra el Relleno Sanitario San Roque, estudiando las componentes hidrológicas predominantes en el área y los posibles riesgos frente a crecidas del embalse Colbún, para finalmente plantear un plan de contingencias y emergencias evitando posibles afectaciones.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estudiar los aspectos hidrológicos predominantes del área de influencia del Relleno Sanitario San Roque.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la línea base de hidrología superficial y subterránea.
- Estudiar riesgo frente a crecidas evacuadas por el embalse Colbún.
- Proponer un plan de contingencias y emergencias para el relleno sanitario.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Área de estudio

El Relleno Sanitario San Roque corresponde a un sitio de disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, que gestiona alrededor de $100 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ y que cuenta con una superficie total de 29 ha (Figura 1). El proyecto, se encuentra ubicado en el Sector Maitenes (Coordenadas 6.057.306 Norte, 282.860 Este, Datum WGS 84) de la Comuna de San Clemente, Provincia de Talca, Región del Maule. El predio donde se desarrolla el proyecto está definido por seis vértices cuyas coordenadas se indican en la Tabla 1.



Figura 1. Vista aérea del proyecto.

Tabla 1. Coordenadas del polígono que conforma el límite del Relleno Sanitario San Roque, DATUM WGS 84, Huso 19 Sur.

Coordenadas Norte (m)	Coordenadas Este (m)
6.057.306	282.860
6.057.102	282.695
6.057.007	282.897
6.056.836	282.832
6.056.617	283.068
6.057.132	283.292

Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se dividió en 3 etapas correspondientes a los objetivos específicos de la investigación; A continuación, se describirá como se fue desarrollando cada etapa.

4.1 Evaluar la línea base de hidrología superficial y subterránea

Se inició una revisión de antecedentes y estudios anteriores realizados por el Relleno Sanitario San Roque enfocados en distintos ámbitos medio ambientales para el área de influencia del proyecto.

Utilizando la plataforma computacional ArcMap, las capas vectoriales puestas a disposición por la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) y la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE) se realizaron distintos mapas con el fin de analizar el estado actual del área, de esta manera, se realiza una descripción detallada, presentando las características ambientales, hídricas y geológicas presentes en el área de estudio.

Para la hidrología superficial y subterránea, con la ayuda del observatorio georreferenciado del DGA, se buscó la existencia de sistemas de agua potable rural (APR) y derechos de aprovechamiento de aguas superficial y subterránea, de este modo se definen las distancias correspondientes que establece la normativa ambiental para rellenos sanitarios a fin de no afectar el medio ambiente ni la comunidad cercana.

Para los antecedentes climáticos, con objeto de caracterizar el régimen de precipitaciones de la zona, se recurrió a la base de datos de la Dirección General de Aguas, donde se observó la estación meteorológica Mariposas que se encuentra cercana al área de estudio. Esta información considera las temporadas desde el año 2015 al 2020.

Finalmente se realizó una revisión bibliográfica de los cursos de agua presentes en el área de influencia, tales como el río Maule, embalse Colbún y la Quebrada Sanatorio.

4.2 Riesgo frente a crecidas evacuadas por embalse Colbún

Se estudio la normativa ambiental vigente, específicamente la ley 20.304 del Ministerio de Obras Públicas, sobre operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica, donde se define el concepto de embalse de control con el fin de aminorar los impactos de las crecidas pluviales. Luego se llevó a cabo una revisión bibliográfica para analizar el diseño del vertedero del embalse Colbún y si este calificaba como embalse de control, de esta manera, se logró definir sus principales características, caudal de diseño y su capacidad de almacenamiento.

Con la ayuda del informe "Definición de Embalse Colbún como Embalse de Control" (Salazar et al., 2010) se revisaron los antecedentes de caudales máximos instantáneos, caudales de análisis y fechas de crecidas de los últimos 10 años.

Los estudios realizados por Arias (2011) y ENDESA (1969) detallan una estimación de caudales de crecida afluentes al embalse Colbún, bajo distintos escenarios temporales los cuales son utilizados para este informe.

Posteriormente se inició un análisis hidráulico para estimar la altura que alcanzarían para distintas magnitudes de descargas del vertedero de Colbún. Para ello se utilizó una modelación simplificada usando el software Hec-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) ampliamente utilizado en Chile para modelización hidráulica. Cabe destacar que la modelación fue realizada con el apoyo del ingeniero Dr. (c) Rober Clasing.

4.3 Plan de contingencias y emergencias para inundaciones en el Relleno Sanitario San Roque

Finalmente se creó un plan de contingencias y emergencias para el Relleno Sanitario San Roque, el cual busca informar las acciones a realizar en caso de que ocurra una inundación. Para ello se elaboró un plan que contiene aspectos de conocimiento de riesgo, responsabilidades de cada trabajador, capacitaciones y entrenamiento, plan de emergencia, sistema de comunicación ante la emergencia y la elaboración de informe para las autoridades competentes. Cada punto tiene su descripción y medidas a desarrollar frente a la inundación durante la operación del relleno, esto permite que el personal de una respuesta inmediata y coordinada que posibilite el control de la situación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Área de influencia

Desde el punto de vista hidrológico, el relleno sanitario está ubicado al norte del río Maule y al sur de la Quebrada Sanatorio. A unos 7 km al oriente y aguas abajo del muro principal del Embalse Colbún (Figura 2).

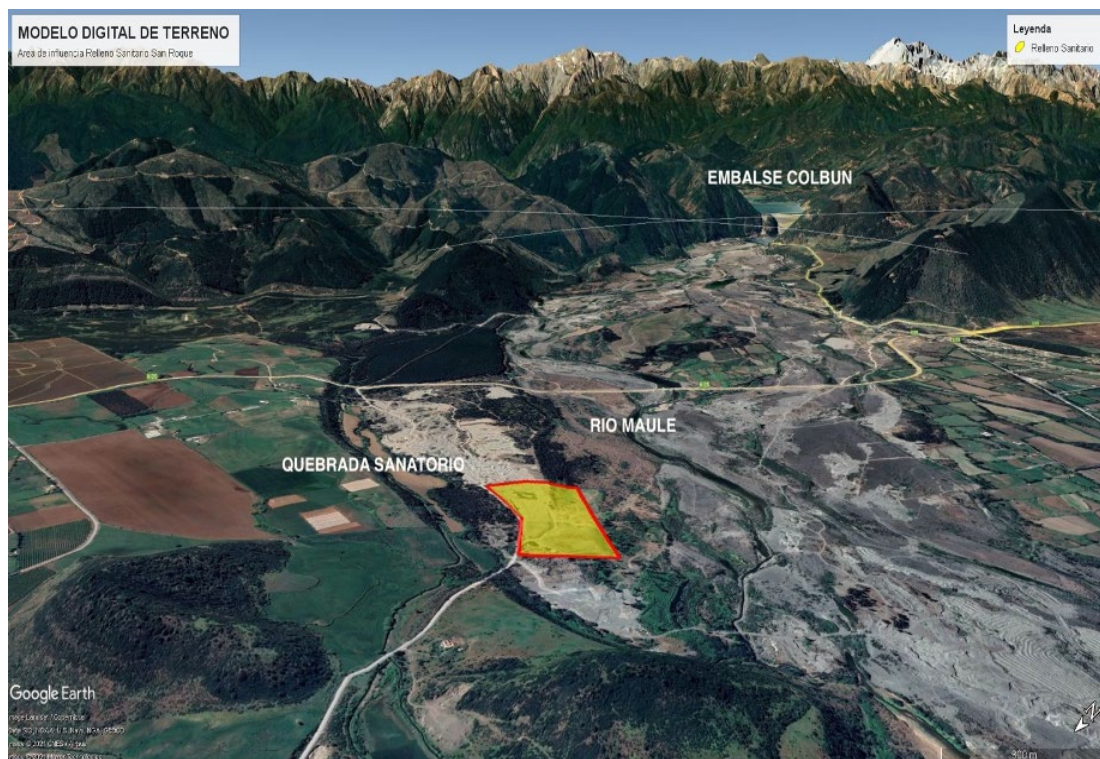


Figura 2. Ubicación del proyecto y de los principales cauces existentes en su cercanía. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Hidrología Superficial

Los cursos de agua cercanos al proyecto se ubican a una distancia mayor a los 60 m establecidos en el Decreto Supremo 189/2005, pero de igual forma se debe tener en consideración lo siguiente:

El cauce del río Maule presenta régimen mixto, es decir, presenta máximos de caudal producto de las precipitaciones de invierno y también por los procesos de deshielo en la época estival (primavera – verano).

Este río se encuentra regulado por el embalse Colbún, construido a mediados de la década de los '80, ubicado a unos 7 km al oriente y aguas arriba del punto de emplazamiento del Relleno Sanitario San Roque.

La construcción del embalse modificó radicalmente la hidrología del río Maule hacia aguas abajo. Por esta razón, las condiciones actuales de escurrimiento en el río Maule en dicho sector están asociadas a la ocurrencia de bajos caudales dada la capacidad reguladora de dicha obra hidráulica. Sin embargo, esto puede ser modificado frente a la apertura de compuertas del embalse Colbún, ante un eventual aumento del caudal que podrían causar los caudales asociados al período de retorno de 100 años que indica el DS 189/2005.

Es importante señalar que contiguamente al embalse Colbún, se encuentra el embalse Machicura con igual área tributaria, ya que básicamente ambos embalses conforman un sistema, en el que, durante el proceso de generación, Colbún vierte a Machicura, y este a su vez vierte al canal Machicura, el cual antes de entregar las aguas vertidas al Maule dispone adicionalmente de estaciones de generación de pasada.



Figura 3. Vista aérea del Embalse Colbún y Embalse Machicura.

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2 Antecedentes Climáticos

En términos climáticos, el proyecto está ubicado en el distrito agroclimático San Fernando. Esta zona posee un clima templado mediterráneo con 6 meses de estación fría. Este se caracteriza por ser de carácter continental alejado de las influencias marinas del océano Pacífico (ENEL, 2020). Se caracteriza por las variables climáticas indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones climáticas del sector Mariposas, San Clemente.

Parámetro	TEMPORADA				
	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20
Temperatura	33,0	37,4	33,1	35,0	34,6
Máxima (°C)					
Temperatura	-1,6	-3,0	-2,7	-2,9	-2,3
Mínima (°C)					
Temperatura	13,0	14,1	13,0	13,2	13,6
Media (°C)					
Evapotranspiración	967	1190	1045	1048	1057
(mm)					

Fuente: Descripción agroclimática San Clemente. (ENEL, 2020)

Con el fin de caracterizar el régimen de precipitaciones de la zona, se recurrió a la base de datos de la Dirección General de Aguas, donde se observó la estación meteorológica más cercana al proyecto, que corresponde al sector Mariposas. Esta información considera las temporadas desde el año 2015 al 2020. En la tabla 3 se presenta las características del régimen de precipitaciones de la estación Mariposas.

Tabla 3. Valores representativos de precipitación registrada en la estación Mariposas, San Clemente. (mm/año)

Años	2015- 16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20
Precipitación Anual (mm)	1.038	382	798	788	381

5.1.3 Antecedentes Ambientales

5.1.3.1 Flora y Vegetación

Según los antecedentes revisados, la vegetación de la zona está dominada por la supremacía del litre, peumo, boldo, quillay, espino, colliguay, maqui, entre otros.

Con el catastro vegetacional del año 2019 elaborado por la Corporación Nacional Forestal CONAF en IDE Chile, se realizó un mapa cartográfico con el objeto de definir la vegetación presente en el área de influencia.

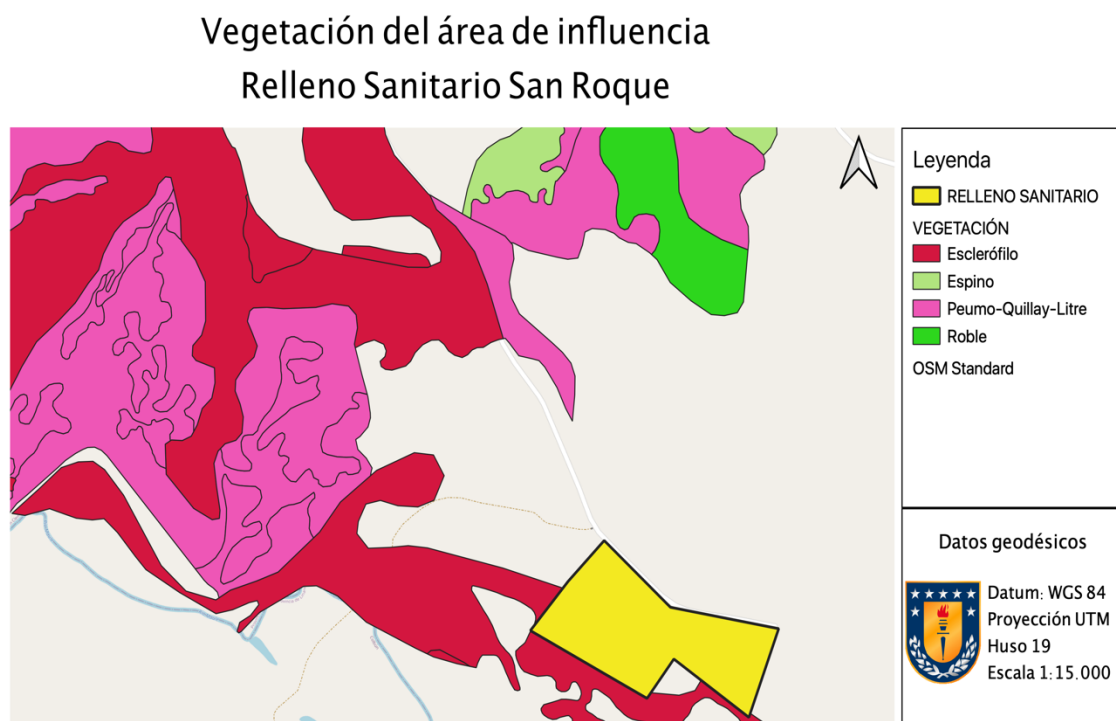


Figura 4. Vegetación presente en el área de influencia. (Elaboración propia a partir de archivos vectoriales disponibles en BCN)

5.1.3.2 Fauna

El Proyecto se localiza en la ecorregión mediterránea, la que se destaca por su riqueza y elevada proporción de especies endémicas. Para el caso de Chile central, en parte de dicha ecorregión, se ha sugerido que la riqueza de la flora alcanza a unas 2500 especies, con un grado de endemismo regional cercano al 23% (Cowling y col. 1996; Arroyo y Cavieres 1997).

El proyecto se encuentra inserto en la cuenca hidrográfica del río Maule, a unos 430 metros al norte de la ribera del cauce del mismo nombre. Este cauce presenta máximos de caudal producto de las precipitaciones de invierno y también por los procesos de deshielo en la época estival (DGA, 2004). Consecuentemente, las especies biológicas nativas que alberga este cuerpo de agua natural, tanto en el cuerpo de agua como aquellas que habitan en la ribera, se encuentra adaptada a las variaciones estacionales propias de la variabilidad climática mediterránea.

De acuerdo con la literatura revisada, existe la posibilidad de encontrar distintas especies, tales como anfibios, reptiles, mamíferos y aves, algunos de estos están especificados en el Anexo con su respectivo nombre científico, nombre común, origen y categoría de conservación.

5.1.3.3 Suelo

De acuerdo con el catastro de uso de suelo y vegetación de CONAF (2019 en IDE Chile) indica que el presente proyecto se localiza en uso de suelo "área urbana e industriales". El área de influencia indica la presencia de área desprovista de vegetación, bosques, praderas y matorrales, terrenos agrícolas y cuerpos de agua, correspondiente al río Maule.

Uso de suelo del área de influencia

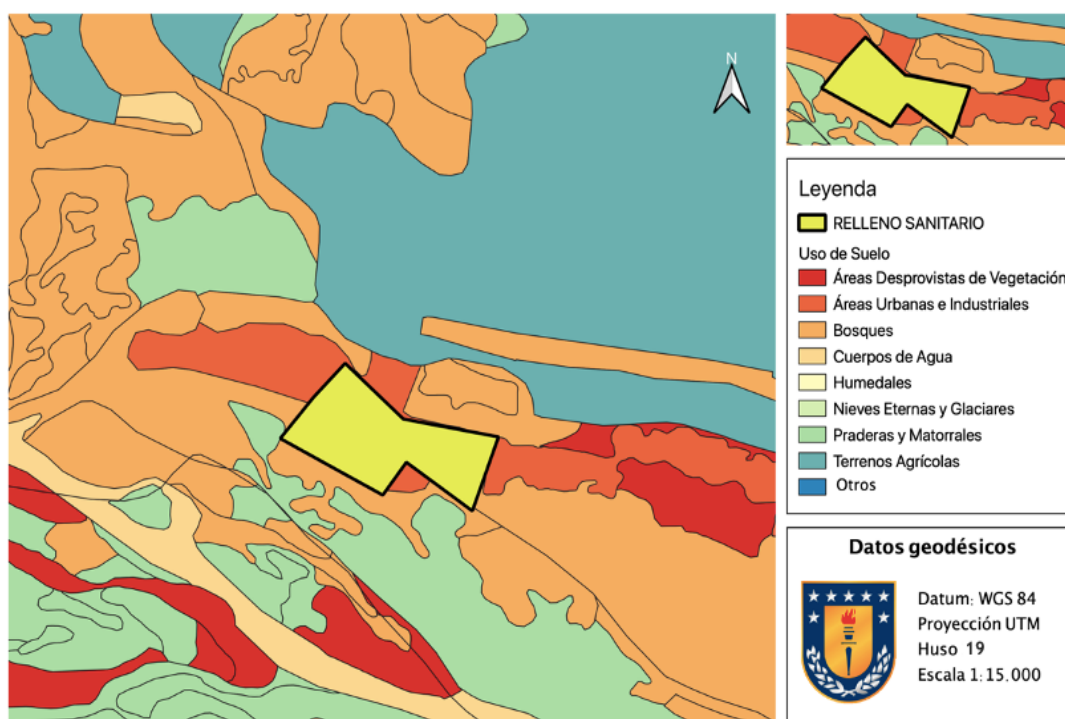


Figura 5. Usos de suelo en el área de influencia.

Fuente: Catastro de Uso de Suelo y Vegetación (IDE, 2019)

5.1.3.4 Estructura geológica

Según la declaración de impacto ambiental entregada por la empresa Arquitectura y Paisajismo Ltda. el estudio realizado y certificado por el laboratorio de suelos Controlab, indica que el proyecto se emplaza en un sector geológico de rocas volcánicas formado por depósitos piroclásticos, riolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos asociados a volcanes antiguos bien conservados o activos (Christen, 2012).

En general no presentan características acuíferas o su importancia es muy baja. La principal fuente de recarga de los acuíferos corresponde predominantemente a infiltración directa a partir de las precipitaciones.

El estudio de las características particulares de las capas geológicas superiores del área de emplazamiento del relleno sanitario se realizó a través de reconocimientos del terreno y excavación de calicatas, de las cuales se excavaron hasta una profundidad de 5 metros, donde el estrato predominante presenta valores de permeabilidad mediana y en ninguna calicata se observó la presencia de aguas subterráneas. Sin perjuicio de las características de suelo, el recinto está localizado en pozos de extracción de áridos existentes previo al año 1992.

5.1.4 Aguas Subterráneas

Conforme a la información contenida en el sistema de la Dirección General de Aguas (DGA), se registra la existencia de abastecimiento de aguas subterráneas a través de pozos a una distancia superior a 2 km aproximadamente del sitio de emplazamiento.

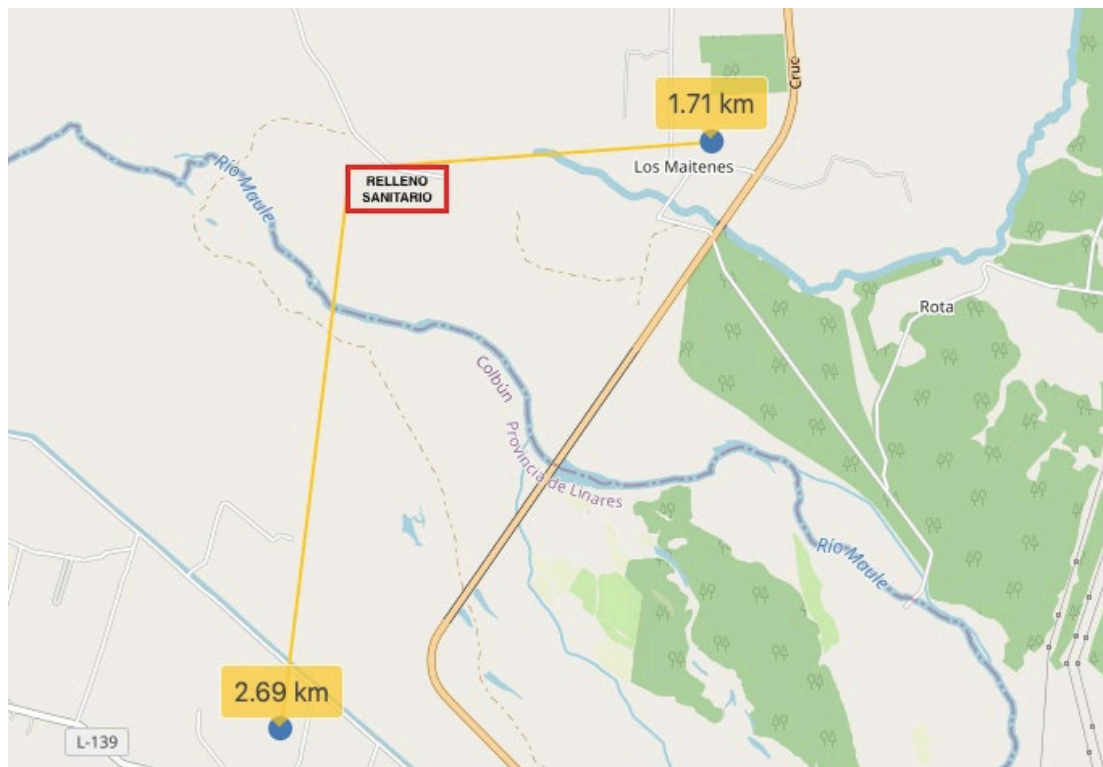


Figura 6. Sistemas de agua potable rural (APR) cercanos al proyecto.
Fuente: Observatorio georreferenciado, DGA.

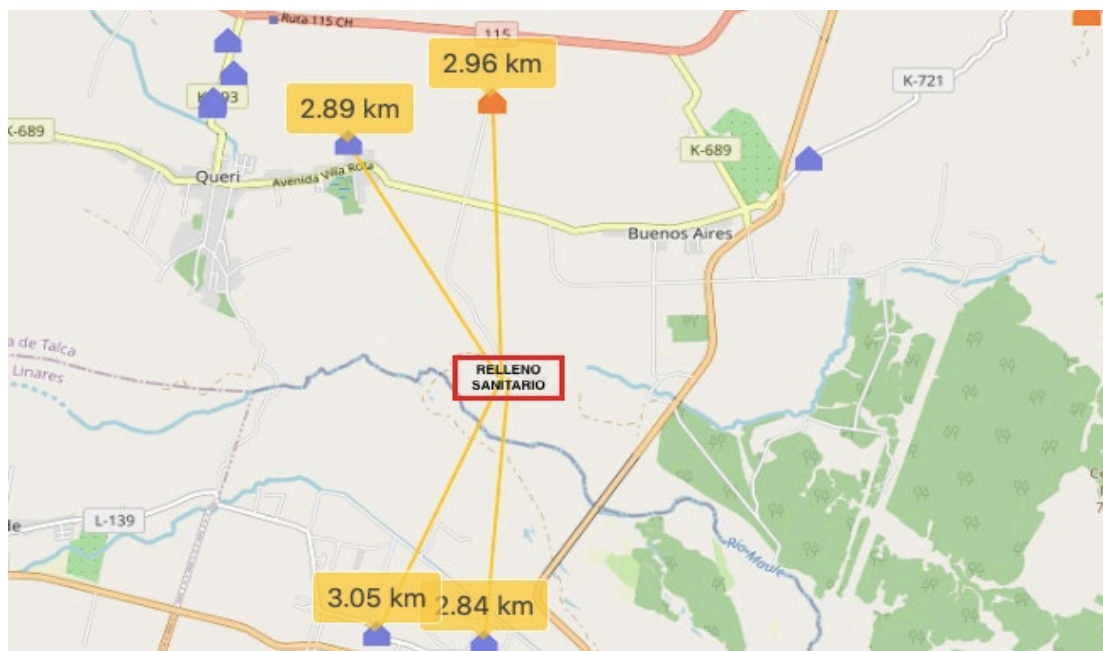


Figura 7. Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA; el color naranja corresponde a agua superficial y color morado subterránea.

Fuente: Observatorio georreferenciado, DGA.

En el área de emplazamiento del proyecto se realizaron pruebas de infiltración y ninguna de las calicatas excavadas se encontró presencia de aguas subterráneas y se descarta la presencia de depósitos de aguas subterráneas hasta profundidades superiores a 20 metros debido a que existe un desnivel de 20 metros entre el área del relleno y el del río Maule.

No obstante, como medida de mayor seguridad están implementados sistemas de impermeabilización mediante geomembranas de las celdas y la ejecución de una red de canales perimetrales que permitan la captación y conducción de las aguas lluvias superficiales que impidan arrastre del material hacia el río Maule.

El sistema de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas debe contar con un número suficiente de pozos instalados en sitios y profundidades adecuadas para extraer muestras representativas del sistema hídrico subterráneo. El número, ubicación y profundidad de los pozos de monitoreo esta determinado en base a estudios técnicos específicos sobre el sitio, que provean una adecuada caracterización del acuífero, caudal y variaciones estacionales del flujo, se debe contemplar, al menos, un pozo aguas arriba del relleno sanitario y otras aguas abajo de éste” (DS 189/2005, Art. 46).

El proyecto cuenta con las siguientes estaciones de monitoreo, correspondientes a los pozos 1, 2 y 3. Sus coordenadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Coordenadas de puntos de monitoreo de aguas subterráneas al interior del relleno sanitario.

Puntos	Coordenadas Norte (m)	Coordenadas Este (m)
1	6.056.758	282.550
2	6.056.693	282.808
3	6.056.686	272.910

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de monitoreo están ubicados con el objetivo de identificar de forma oportuna cualquier incremento de concentración que acuse una eventual infiltración desde el relleno sanitario (Figura 8).



Figura 8. Imagen satelital donde se aprecia los 3 puntos de muestreo de aguas subterráneas.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Características principales de los cursos de agua presentes

5.1.5.1 Río Maule

El río Maule se encuentra a una distancia de 430 metros del sitio donde se emplaza el relleno sanitario. En la zona del estudio el río está monitoreado por las estaciones fluviométricas río Maule en Armerillo y río Maule en Longitudinal (Tabla 5).

Tabla 5. Características generales de las estaciones fluviométricas río Maule en Armerillo, río Maule en Longitudinal y río Maule en Colbún.

Estación Fluviométrica	Código BNA	Área de drenaje (km ²)	Período de registro	
Río Maule en Armerillo	07321002-k	5.323	1947	2008
Río Maule en Longitudinal	07322001-7	5.952	1962	2008
Río Maule en Colbún	07322004-1	5.894	1954	1981

Fuente: Dirección General de Aguas.

5.1.5.2 Quebrada Sanatorio

La cuenca de la Quebrada Sanatorio es pequeña y no posee datos hidrológicos. Ella discurre hacia el río Maule al norte del relleno. El estero tiene una longitud del cauce principal de 0,397 km., un cuenca de un área de 20,41 km², perímetro 19,43 km y una longitud máxima de 6,51 km. El relleno sanitario está ubicado a una distancia de 300 metros de la Quebrada Sanatorio (Figura 9).

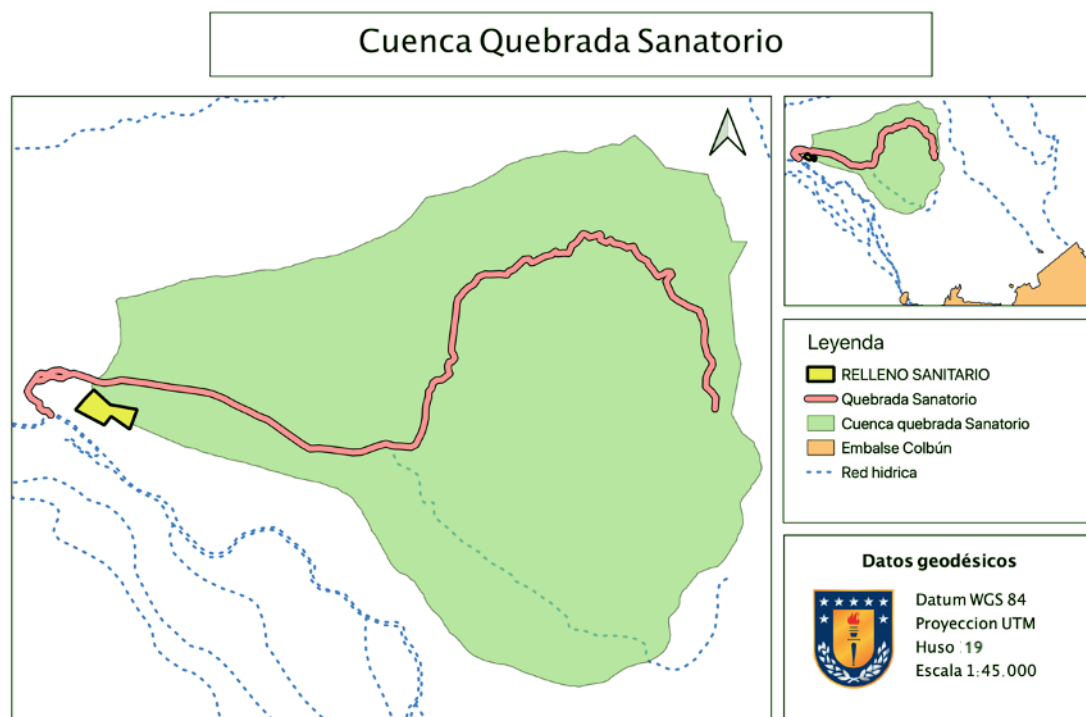


Figura 9. Cuenca Quebrada Sanatorio (Elaboración propia a partir de archivos vectoriales disponibles en BCN)

5.1.5.3 Embalse Colbún

Ubicado a unos 7 km al oriente y aguas arriba del punto de emplazamiento del proyecto se encuentra el embalse Colbún, catalogado como el más grande de Chile cuya capacidad de almacenamiento corresponde a 1.490 millones de metros cúbicos y con un caudal de diseño de 8.500 [m³/s] correspondiente a un período de retorno de 1.000 años estimado hacia el año 1985, este embalse encauza las aguas del río Maule de caudal medio anual de 262 m³/s (Arias, 2011).

Fue construido entre 1980 y 1985 con el fin de retener las aguas del río Maule, las cuales son usadas para riego y para producción de energía hidroeléctrica.



Figura 10. Imagen aérea del Embalse Colbún.
Fuente: Google Earth.

Ante un eventual aumento del caudal por razones climáticas la apertura de las compuertas del Embalse Colbún, podría causar un riesgo para el área de emplazamiento del relleno sanitario, es por esto que a continuación se estudiara el riesgo frente a crecidas evacuadas por este.

5.2 Riesgo frente a crecidas evacuadas por el embalse Colbún

5.2.1 Consideraciones

La ley 20.304 del Ministerio de Obras Públicas publicada el 2008, definió el concepto de embalse de control, cuyo propósito es aminorar los impactos de las crecidas pluviales. Esto significa que si un embalse tiene capacidad disponible para absorber una crecida prevista, éste sigue operando en forma normal y si no es así, con anterioridad a la llegada de las precipitaciones más intensas, el embalse debe abrir las compuertas para evacuar caudales, en cantidades no superiores a los límites predefinidos, para asegurar que no se produzcan daños aguas abajo, y además de forma tal que pueda generar disponibilidad de almacenamiento para amortiguar la crecida afluyente al embalse (ONEMI, 2016).

Este protocolo de Alerta de Crecidas y Otras Medidas Para la Ley de Embalse N° 20.304 permitirá adoptar medidas preventivas destinadas a evitar o mitigar los riesgos para la vida y la afectación para los bienes públicos y privados que se puedan producir con ocasión de crecidas en los embalses por razones climáticas.

Para calificarlo como de control, la DGA debe considerar, entre otras características, el volumen de regulación del respectivo embalse y la localización de éste respecto de la cuenca hidrográfica, y que aquél permita regular las crecidas de los caudales de agua.

5.2.2 Embalse Colbún como embalse de control

Tabla 6. Características Generales Embalse Colbún

Vertedero Colbún	
Caudal de diseño	8.500 m ³ s ⁻¹
Capacidad de almacenamiento	1.544 hm ³
Caudal medio anual	262 m ³ s ⁻¹

5.2.3 Revisión de estudios de crecidas de embalse Colbún

De acuerdo a Arias (2011) el informe sobre la Hidrología de la Central Hidroeléctrica Colbún, (ENDESA, 1969) contiene valiosa información referente al Estudio de Crecidas afluente a la zona destinada a la presa del embalse artificial. El estudio se realizó básicamente con los datos registrados en las estaciones fluviométricas de Maule en Armerillo y Maule en Colbún, esta última suspendida el año 1981. De este estudio se presentan los siguientes caudales máximos instantáneos para distintos períodos de retorno, estimados para la estación Maule en Colbún (Tabla 7). Además en la tabla 8, se presentan registros de eventos históricos producidos entre los años 2000 y 2008. En esa tabla se aprecia que en mayo del 2008 se produjo una crecida equivalente a la asociada a un período de retorno de 100 años.

Tabla 7. Caudales máximos instantáneos (Q_{mi}) esperados en Presa Colbún (Arias, 2011).

Tr (años)	10	20	50	100	200	500	1.000
Q _{mi} (m ³ s ⁻¹)	3.810	4.550	5.500	6.180	6.840	7.800	8.500

Tabla 8. Fechas de eventos críticos y caudales máximos instantáneos asociados $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Fecha Evento	Embalse
29-Junio-2000 / 3-Julio-2000	4.318
10-Julio-2006 / 13-Julio-2006	4.904
19-Mayo-2008 / 23-Mayo-2008	6.181

Fuente: Colbún.

5.2.4 Simulación Hidráulica para un período de retorno de 100 años

Fuentes (2008) sostiene que los objetivos de realizar una simulación hidráulica en el tramo de un determinado cauce de un río son estimar las planicies de inundación (mediante la estimación de las alturas para diversos caudales de diseño).

Esta actividad se hace con el fin de realizar actividades de planificación para mitigar o prevenir daños a las actividades económicas y principalmente a los habitantes.

Para realizar la simulación hidráulica se utilizó el apoyo del Ingeniero Dr. (c) Rober Clasing, quien realizó una simulación de la crecida asociada a una descarga de 100 años del vertedero del embalse Colbún usando el programa HEC - RAS. Dicho programa permite el cálculo en régimen permanente y no permanente de la superficie del agua en cauces naturales y modelar el perfil longitudinal y las secciones transversales del cauce.

De los resultados simulados, se tiene que para la crecida centenaria del vertedero de Colbún la zona inundada sería la presentada en la Figura 11, donde se indican los perfiles de inundación estimados con el modelo; una proyección del área de inundación se presenta en la Figura 12.

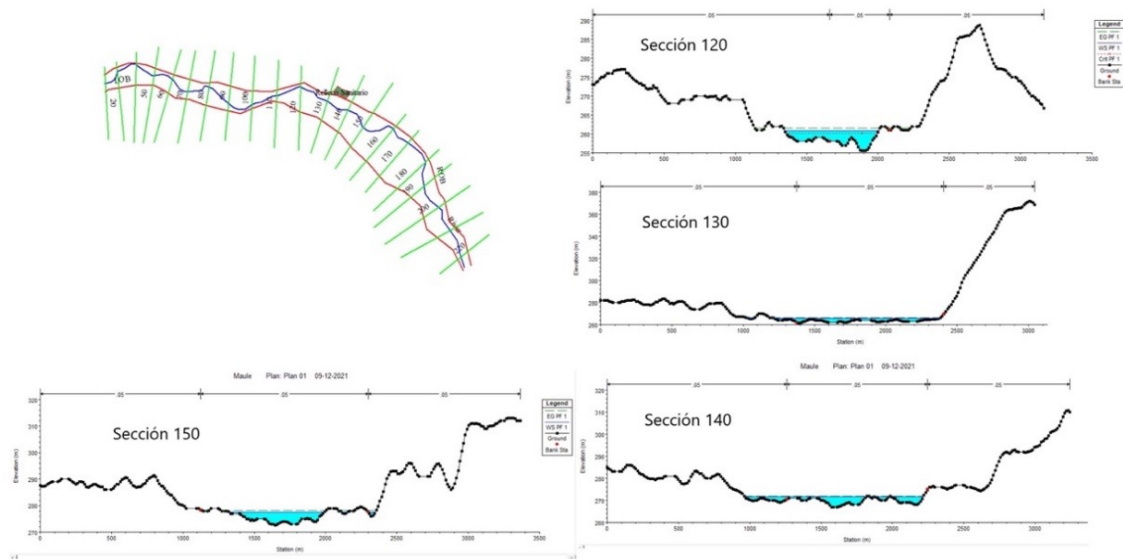


Figura 11. Perfiles transversales en el área de influencia del Relleno Sanitario San Roque, calculados usando el modelo Hec-RAS.

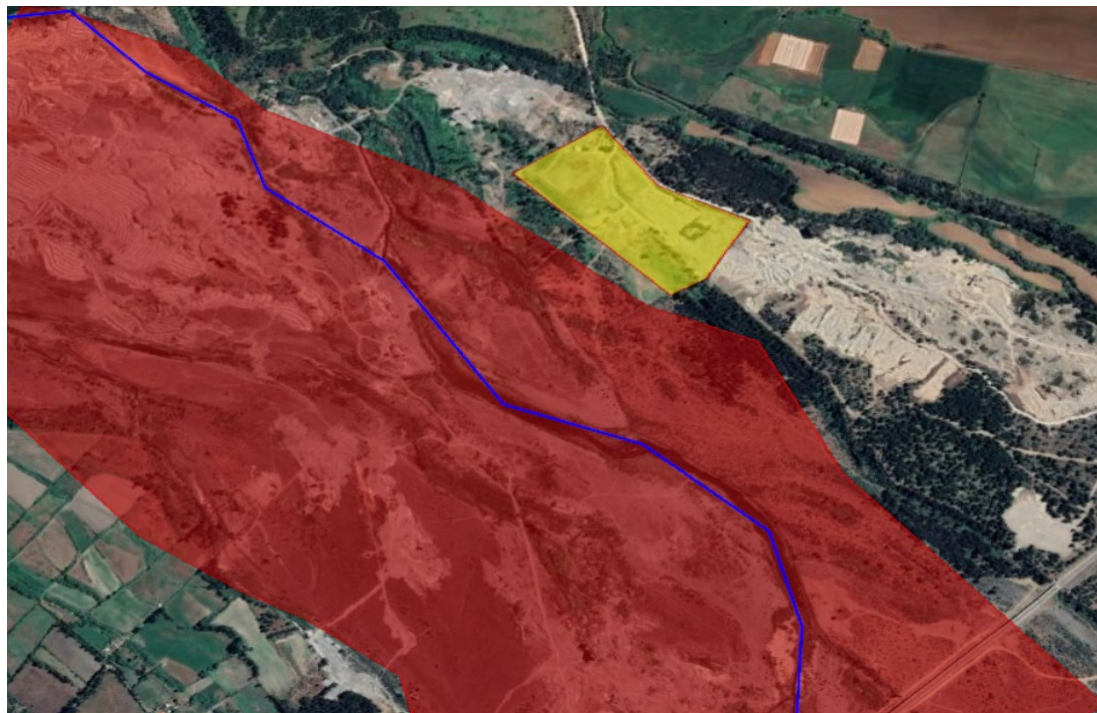


Figura 12. Área de inundación estimada para una evacuación de la crecida asociada a 100 años en el vertedero Colbún
(R. Clasing, comunicación personal, 9 de diciembre 2021)

5.3 Plan de prevención de contingencias y emergencias por inundación

A continuación, se presenta un plan de prevención de contingencias y emergencias para el Relleno Sanitario San Roque estableciendo procedimientos a seguir para prevenir situaciones de riesgo, específicamente inundaciones en el área de emplazamiento del proyecto, de esta manera se determinará los pasos a seguir para poder dar una respuesta inmediata, coordinada y efectiva que permita controlar, disminuir y mitigar las consecuencias de la ocurrencia de dicha situación.

5.3.1 Conocimiento del riesgo

Es de importancia que el personal del Relleno Sanitario San Roque cuente con la información sobre los riesgos que puede existir frente a una inundación en el área de estudio. Esta información permitirá identificar las amenazas en el entorno y cómo actuar ante eso. Las siguientes operaciones descritas corresponde a información que debe dominar el personal.

5.3.1.1 Canales perimetrales de escorrentías superficiales

El Relleno Sanitario San Roque cuenta con canales perimetrales exteriores y con canales perimetrales interiores, diseñado para conducir las aguas provenientes de las precipitaciones que caen sobre la plataforma sellada del relleno sanitario y conducir las hacia los canales exteriores, evitando que escurran por los taludes produciendo erosión. Mensualmente se debe inspeccionar la zanja de mitigación de escorrentías y se retiraran aquellos objetos que pudieran atascar las aguas lluvias. Paralelamente se inspeccionará el estado del cerco perimetral y portones, procediendo a su reparación en caso de encontrarse algún sector vulnerable.

5.3.1.2 Mantenimiento Cobertura Final

La cobertura de los residuos es la colocación de una capa de tierra compactada sobre ellos, cuyo espesor varía entre 15 a 30 cm. Con dicha capa se cubrirán los residuos sólidos depositados diariamente, cuidando sobremanera que tanto los taludes como la superficie horizontal de la celda queden perfectamente cubiertos.

Las funciones principales de esto, es evitar la infiltración de agua de lluvia al sustrato de residuos y propiciar la degradación de la materia orgánica presente en los residuos en condiciones totalmente anaeróbicas.

Semestralmente se inspeccionará el estado de los taludes, y de la cobertura final. Este monitoreo tendrá como finalidad la reparación de la cobertura final, que pudiera haber sido afectada por factores climáticos como lluvias intensas y que consecuentemente produciría problemas en la conservación de la cobertura final.

En acuerdo a los anterior, se realizará el sellado de grietas y recuperación de espesores para evitar el posible ingreso de aire a los residuos allí confinados.

Además, si es del caso, se procederá a la reparación de asentamientos diferenciales; a fin de impedir la acumulación de las aguas de precipitación; y recuperación de pendientes, para mantener la integridad estructural de la masa de residuos dispuesta sobre la superficie del terreno.

Tabla 9. Riesgo de Lluvias Intensas e Inundaciones.

Fase del proyecto que aplica	Fase Operación
Emplazamiento, parte, obra o acción asociada.	Zonas bajas del área de emplazamiento del Proyecto.
Acciones o medidas a implementar para prevenir la contingencia	<ul style="list-style-type: none"> - Se identificarán las vías y forma de evacuación, indicando cuales son los sectores más susceptibles de ser afectados, y se definirán las zonas de seguridad. -Se realizarán simulacros en los cuales deberán participar todos los trabajadores de forma obligatoria con una frecuencia de al menos una vez al año. -Compactación y cubrimiento diario. -Verificar zanja de mitigación de escorrentías no contenga elementos que obstaculicen la evacuación de aguas lluvias. -Verificar que no existen pérdidas ni filtraciones de las tuberías que conducen los lixiviados hasta los sistemas de acumulación y tratamiento. -Los canales perimetrales serán limpiadas cada dos meses en verano y cada mes en invierno.
Forma de control y seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> -Registro de las limpiezas a canales perimetrales -Registro de todas las capacitaciones y simulacros realizados.

5.3.2 Responsabilidades

La organización de prevención de contingencias y respuesta ante emergencias está compuesta por parte del personal de las distintas áreas de operaciones (Administración, Mantenimiento, Operación de recepción de residuos domiciliarios y asimilables). La organización se divide en equipos que tienen obligaciones y responsabilidades específicas destinadas proveer servicios esenciales durante las ocurrencias de incidentes. A continuación, se describe las responsabilidades atinentes a los cargos para lograr con la implementación del presente plan.

5.3.2.1 Administrador del Relleno Sanitario San Roque

- Gestionar los recursos necesarios para desarrollar las actividades descritas en este documento y participar activamente en su mejoramiento continuo.
- Estar alerta ante presencia de temporales. (Revisión diaria en www.meteochile.cl).
- Verificar que los canales perimetrales sean limpiados cada dos meses en verano y cada mes en invierno.
- Gestionar las capacitaciones y entrenamiento para el personal.
- Tomar el control de la comunicación interna y externa en caso de producirse la contingencia o emergencia.
- Asegurar los recursos para la provisión de los elementos de protección personal para las personas que laboren en el relleno sanitario.

5.3.2.2 Prevencionista de riesgos y/o Ingeniero Ambiental del Relleno Sanitario San Roque

- Inspeccionar diariamente la capa de cobertura.
- Identificar anomalías observadas en los sistemas de operación y protección.
- Estar alerta ante presencia de temporales (Revisión diaria en www.meteochile.cl).
- Planificar un programa de capacitación y plan de simulacro.
- Desarrollar las charlas que permitan poner en conocimiento al personal de todas las medidas de prevención operacionales, laborales y ambientales.
- Mantener el registro de charlas.
- Planificar inspecciones con el objeto de identificar si se está cumpliendo diariamente plan de llenado y compactación con material de cobertura.
- Estar alerta para actuar de inmediato ante evidentes acciones inseguras que pudieran desencadenar una inundación.
- Tomar el control de la comunicación en caso de producirse una contingencia o emergencia.
- Elaborar informes toda vez que se produzca un evento de contingencia o emergencia.
- Entregar información a las autoridades correspondientes.

5.3.2.3 Trabajadores del Relleno Sanitario San Roque

- Respetar todas las normas establecidas por la administración del Relleno Sanitario San Roque.
- Usar de manera correcta los elementos de protección personal.
- Participar activamente en las charlas y capacitaciones relacionadas a la prevención riesgos y accidentes, sean estas realizadas de manera interna o por organismos externos.
- Identificar y comunicar a la administración del Relleno Sanitario San Roque anomalías observadas.
- Verificar Zanja de mitigación de escorrentías no contenga elementos que obstaculicen la evacuación de aguas lluvias.
- Realizar cobertura diaria del 100% de los residuos dispuestos, respetando los espesores de recubrimiento indicados para la celda.
- Revisar estabilidad del Relleno San Roque (erosión, grietas, estado de taludes y muros de contención).
- En caso de contingencia o emergencia informar al administrador del relleno sanitario o a los profesionales de prevención de riesgos o medio ambiente.

5.3.3 Capacitación y entrenamiento

Todos los trabajadores serán capacitados sobre los alcances, responsables y medidas contenidas en el Plan. El prevencionista de riesgos poseerá un plan de actividades anuales, dentro de las cuales está incluida la capacitación y entrenamiento del personal del relleno sanitario.

La capacitación se realizará a través de charlas internas y externas. Las charlas internas tendrán una connotación sobre el cumplimiento de la obligación de informar. En el caso de las capacitaciones externas el personal será formado a través de cursos vía online o de manera presencial por medio de la mutualidad o en forma privada contratando un profesional externo.

Los certificados de la aprobación de los cursos serán mantenidos en archivadores de cada persona y custodiados en la administración del relleno.

El entrenamiento del personal consistirá en la realización de simulacros, cuya vital función es que conozcan cómo deben actuar en caso de presentarse una emergencia real; y así no ceder al pánico al encontrarse sometido a presiones externas y ajenas a su vida normal. La frecuencia de realización de los simulacros será anual, el cual será registrado y documentado en el Registro de Emergencia.

5.3.4 Plan de Emergencia

El plan de emergencia del relleno sanitario hace la descripción de las acciones y procedimientos que se debe implementar cuando estas se produzcan a fin de controlar dicha emergencia y/o en lo posible minimizar los efectos que, como consecuencia de ella, pueda verse afectado el medio ambiente o la población.

Tabla 10. Respuesta para controlar la emergencia ante inundación.

Emergencia	Respuesta para controlar la emergencia
Lluvias intensas/inundación	<p data-bbox="901 787 1437 997">-En el frente de trabajo se aumentará el recubrimiento con tierra de los residuos con el objetivo de evitar el contacto del agua con la basura y evitar su colmatación en el interior de la celda.</p> <p data-bbox="901 1039 1437 1144">-Con el uso de la maquinaria se canalizará con tierra de cobertura la escorrentía en el frente de trabajo.</p> <p data-bbox="901 1186 1437 1396">-Se verificará el buen funcionamiento del sistema de drenaje (canal de evacuación de aguas lluvias) y se harán las reparaciones pertinentes en el caso en que se encuentre dañado.</p> <p data-bbox="901 1438 1437 1585">-Se abrirán zanjas de desvío de las aguas de escorrentía superficial para proteger las celdas de residuos cercanas a las zonas de vertido.</p>

5.3.5 Sistema de comunicación ante emergencias

El sistema de comunicación ante la emergencia se divide en interna y externa, cualquier persona que detecte una emergencia debe dar aviso de lo observado, utilizando para esto alguno de los siguientes medios:

5.3.5.1 Comunicación interna

Cualquier persona que detecte la emergencia debe dar aviso de lo observado, utilizando para esto alguno de los siguientes medios:

- Teléfonos fijos al interior de la planta
- Por Radio Walkie Talkie
- Comunicación personal: Al Administrador del Relleno Sanitario San Roque y este a su vez al Prevencionista de Riesgos/ Ingeniero Ambiental.

5.3.5.2 Comunicación externa

Si la Emergencia amerita comunicación inmediata con los servicios de emergencia externos, coordinadores anteriores podrán realizar la comunicación correspondiente a los números señalados en la tabla a continuación:

Tabla 11. Teléfonos de emergencia externos.



Teléfono emergencia Carabineros: 133
Reten San Clemente: 41-2141342
Reten Colbún: 41-2310005



Teléfono emergencia ACHS: 1404
CALL CENTER: 6006002247



Teléfono Bomberos 132
Cuerpo de Bomberos San Clemente: (71) 2 621272

En caso de que la emergencia pueda afectar a vecinos y/o comunidad se deberá informar inmediatamente a las autoridades y juntas de vecino indicadas en siguiente listado:

Tabla 12. Listado de autoridades y juntas de vecino a comunicar ante emergencias, en caso de que corresponda.

Autoridades	Teléfono
Seremi de Salud del Maule	(71) 2411074
Seremi Medio Ambiente Maule	(71) 2341309
Superintendencia Medio Ambiente del Maule	(71) 2350001
Ilustre Municipalidad de San Clemente	(71) 2621570
ONEMI MAULE	(71) 2216362
Junta de Vecinos sector Los Maitenes	Acceso y conocimiento del administrador del relleno sanitario

5.3.6 Elaboración de informes

El Decreto Supremo 189/2005 establece que toda vez que se produzca una contingencia o emergencia se debe elaborar un informe que entregue detalles de lo ocurrido el cual será presentado en la autoridad respectiva. El contenido del informe tendrá que tener a lo menos la siguiente información:

- Fecha y hora
- Descripción del evento y de sus causas
- Identificación del área donde ocurrió el evento
- Daños o riesgos sanitarios ambientales provocados
- Análisis causal
- Acciones o medidas realizadas para la prevención y manejo de la emergencia
- Medidas adoptadas para la limpieza y restauración de la zona afectada.
- Acciones de mejora

Al cumplir con todo lo anteriormente descrito, se obtendrá una preparación exitosa que permitirá enfrentar el riesgo de una manera estratégica y adecuada.

6. CONCLUSIONES

Al evaluar la línea base de la hidrología superficial y subterránea del área de influencia del Relleno Sanitario San Roque, se determinaron los principales cuerpos de agua presentes en el área, correspondientes a la Quebrada Sanatorio, río Maule y Embalse Colbún. De esta manera, se presentaron sus características y las distancias respectivas con el área de emplazamiento del relleno sanitario, siendo 300 m de distancia para la Quebrada Sanatorio, 430 m el río Maule y 7 km el Embalse Colbún. Por otro lado, para las captaciones de aguas existentes se registró abastecimiento de aguas subterráneas a través de pozos a una distancia superior a 2 km, pudiendo dar cuenta que se cumple con el Decreto Supremo 189/2005 que establece que toda captación de agua deberá ubicarse a más de 600 m.

Con los resultados obtenidos de la simulación hidráulica se puede concluir que el cauce del río Maule en el tramo de estudio tiene la capacidad hidráulica suficiente como para contener dentro de su caja y de sus áreas de inundación la crecida de 100 años de período de retorno, sin que se produzcan desbordes hacia el área de emplazamiento del relleno sanitario, verificándose que el punto más cercano del Relleno se ubica a 119 m del agua superficial del río Maule, considerando dicha distancia desde la ribera generada por la máxima crecida en un período de retorno de 100 años, por lo tanto, se cumple con lo establecido en el artículo N°10 del Decreto Supremo 189/2005.

En busca de una mejora hacia el Relleno Sanitario San Roque, se diseñó un plan de contingencias y emergencias específicamente para inundaciones, ya que el relleno sanitario solo cuenta con planes de emergencias para otros campos de acción. A pesar de que la simulación hidráulica indica que no existirá un riesgo de inundación en el área de emplazamiento, si puede ocurrir por razones climáticas como lluvias intensas, es por esto que el plan corresponde a las acciones consideradas como las necesarias a realizar en caso que ocurra el riesgo. En este punto, la participación del personal resulta esencial, ya que permitirá una respuesta rápida y coordinada que posibilite el control de la emergencia. Cabe destacar que este plan estará vigente para toda la vida útil del Relleno Sanitario San Roque.

7. LITERATURA CITADA

1. Allende, T. 2001. Evaluación geológico-ambiental en la determinación de la factibilidad de un área para relleno sanitario. Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr. 4(7): 52-62.
2. Arias, C.S. 2011. Análisis de los efectos de distintos escenarios de registro histórico en la estimación de caudales de crecida. Aplicación a obras hidráulicas de la cuenca del Río Maule. Memoria de título, Ingeniero Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Santiago, Chile.
3. BCN (Chile). 2017. Mapas vectoriales: Mapoteca [en línea]. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales>. [Consulta: 15 septiembre 2020].
4. Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología. 2020. Descripción agroclimática San Clemente, Chile [en línea]. ENEL, Chile. <<https://www.enel.cl/content/dam/enel-cl/sostenibilidad/creacion-valor-compartido/estudios-y-position-paper/descripcion-agroclimatica-san-clemente-2015-2020.pdf>>. [Consulta: 14 noviembre 2021]

5. Chan, Y.S.G., M.H. Wong and B.A. Whitton. 1999. Effects of landfill leachate on growth and nitrogen fixation of two leguminous trees (*Acacia confusa*, *Leucaena leucocephala*). *Water Air Soil Pollut.* 111: 29-40.
6. Christen, R.A. 2012. Plan de adecuación del vertedero de residuos sólidos domiciliarios y asimilables san roque a relleno sanitario de residuos sólidos domiciliarios y asimilables San Roque [en línea]. Servicio Evaluación Ambiental, Chile. <https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=4330315>. [Consulta: 10 agosto 2021].
7. Colomer, F.J., J.E. Altabella, F. García, L. Herrera y F. Robles. 2013. Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España. *Ingeniería* 17(2): 141-151.
8. CONAF (Chile). 2019. Catastro de uso de suelo y vegetación [en línea]. IDE, Chile. <<http://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetación>>. [Consulta: 06 septiembre 2021].
9. Decreto N°46/02. Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. *Diario Oficial de la República de Chile*. 17 enero 2003. Santiago, Chile.

10. Decreto N°189/05. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. Diario Oficial de la República de Chile. 05 enero 2008. Santiago, Chile.

11. DGA (Chile). 202?a. Observatorio georreferenciado [en línea: programa computacional]. Dirección General de Aguas, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>>. [Consulta: 20 octubre 2021].

12. DGA (Chile). 202?b. Pronóstico anual [en línea]. Dirección General de Aguas, Chile. <<https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Paginas/default.aspx>>. [Consulta: 25 septiembre 2021].

13. DGA (Chile). 202?c. Sistema hidrométrico en línea [en línea: programa computacional]. Dirección General de Aguas, Chile. <<https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>>. [Consulta: 20 octubre 2021].

14. ENDESA (Chile). 1969. Hidrología Central Colbún: Desarrollo hidroeléctrico Hoya Río Maule. Informe N°2. ENDESA. Santiago, Chile.

15. Fuentes, J.C. 2008. Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate. Estudio especial, Maestro en Ciencias en Recursos Hidráulicos, opción Hidrología. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
16. Ley N°20.304. Sobre operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica. Diario Oficial de la República de Chile. 13 diciembre 2008. Santiago, Chile.
17. Mwiganga, M., F. Kansime. 2005. The impact of Mpererwe landfill in Kampala-Uganda, on the surrounding environment. J. Phys. Chem. Earth 30(11-16): 744-750.
18. ONEMI (Chile). 2016. ONEMI, Dirección General de Aguas y Dirección Meteorológica firman protocolo con Endesa y Colbún para monitorear embalses y actuar ante crecidas [en línea]. ONEMI, Chile. <<https://www.onemi.gov.cl/noticia/onemi-direccion-general-de-aguas-y-direccion-meteorologica-firman-protocolo-con-endesa-y-colbun-para-monitorear-embalses-y-actuar-ante-crecidas/>>. [Consulta: 24 agosto 2021].

19. Salazar, C., M.Á. Caro y C.R. Naudon. 2010. Ley 20.304 sobre operación de embalses frente a alertas y Emergencias de crecidas y otras medidas que indica: definición de Embalse Colbún como embalse de control [en línea]. Sistema Nacional de Información Ambiental, Chile. <<https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/5291>>. [Consulta: 20 agosto 2021].

20. SMA (Chile). 2016. Normas de emisión [en línea]. Superintendencia del Medio Ambiente, Chile. <<https://portal.sma.gob.cl/index.php/portal-regulados/instructivos-y-guias/normas-de-emision/>>. [Consulta: 30 agosto 2021].

8. ANEXOS

Fauna

Tabla A1. Anfibios presentes en el área de influencia.

Nombre científico	Nombre común	Origen	Categoría de conservación
<i>Alsodes nodosus</i>	Sapo arriero	Endémica	Casi Amenazada (DS 42/2011 MMA)
<i>Batrachyla taeniata</i>	Ranita de antifaz	Nativa	Casi Amenazada (DS 42/2011 MMA)
<i>Calyptocephalella gayi</i>	Rana chilena	Endémica	Vulnerable (DS 50/2008 MMA)
<i>Rhinella arunco</i>	Sapo de rulo	Endémica	Vulnerable (DS 41/2011 MMA)
<i>Pleurodema thaul</i>	Sapito de 4 ojos	Nativa	Casi Amenazada (DS 41/2011 MMA)
<i>Xenopus laevis</i>	Rana africana	Introducida	-

Tabla A2. Aves presentes en el área de influencia.

Nombre científico	Nombre común	Origen	Categoría de conservación
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	Nativo	Sin clasificación
<i>Callipepla californica</i>	Codorniz	Introducida	-
<i>Cathartes aura</i>	Jote cabeza colorada	Nativo	Sin clasificación
<i>Columbina picui</i>	Tortolita cuyana	Nativo	Sin clasificación
<i>Coragyps atratus</i>	Jote cabeza negra	Nativo	Sin clasificación
<i>Diuca diuca</i>	Diuca	Nativo	Sin clasificación
<i>Egretta thula</i>	Garza chica	Nativo	Sin clasificación
<i>Elaenia albiceps</i>	Fiofío	Nativo	Sin clasificación
<i>Enicognathus leptorhynchus</i>	Choroy	Endémica	Preocupación menor
<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho	Nativo	Sin clasificación
<i>Glaucidium chuncho</i>	Chuncho	Nativo	Sin clasificación
<i>Hymenops perspicillata andina</i>	Run run	Nativo	Sin clasificación
<i>Lepthasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	Nativo	Sin clasificación
<i>Milvago chimango</i>	Tiuque	Nativo	Sin clasificación

Continuación tabla anterior.

Nombre científico	Nombre común	Origen	Categoría de conservación
Nothoprocta perdicaria	Perdiz chilena	Endémica	Sin clasificación
Passer domesticus	Gorrión	Introducida	-
Patagioenas araucana	Torcaza	Nativo	Preocupación menor (DS 18/16 MMA)
Turdus falcklandii	Zorzal	Nativo	Sin clasificación
Vanellus chilensis	Queltehue	Nativo	Sin clasificación
Veniliornis lignarius	Carpinterito	Nativo	Sin clasificación

Tabla A3. Mamíferos presentes en el área de influencia.

Nombre científico	Nombre común	Origen	Categoría de conservación
Abrocoma benetti	Ratón chinchilla	Endémica	Preocupación menor (DS 18/16 MMA)
Ctenomys maulinus	Tuco tuco del Maule	Nativo	Sin clasificación
Galictis cuja	Quique	Nativo	Preocupación menor DS 18/16 MMA)
Lasiurus cinereus	Murciélago ceniciento	Nativo	Preocupación menor (DS 18/16 MMA)
Leopardus colocolo	Gato colo colo	Nativo	Casi Amenazada (DS 42/11 MMA)
Leopardus guigna	Guiña	Nativo	Vulnerable (DS 42/11 MMA)
Mus musculus	Laucha doméstica	Introducido	-
Oligoryzomys longicaudatus	Ratón colilarga	Nativo	Sin clasificación
Oryctolagus cuniculus	Conejo	Introducido	-
Pseudalopex culpaeus	Zorro culpeo	Nativo	Preocupación menor (DS 33/11 MMA)
Pudu pudu	Pudú	Nativo	Vulnerable (DS 151/07 MMA)
Rattus norvegicus	Guarén	Introducido	-
Tadarida brasiliensis	Murciélago común	Nativa	Preocupación menor (DS 6/17 MMA)