



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

**Caracterización del riesgo de los sitios de disposición de  
residuos sólidos ante eventos extremos asociados al cambio  
climático en la Región del Biobío**

Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniera Ambiental**

**Fernanda Javiera Torres Muñoz**

**Profesores guía:**

Dra. Patricia González Sánchez

Dr. Octavio Rojas Vilches

CONCEPCIÓN (Chile), 2025

**Caracterización del riesgo de los sitios de disposición de  
residuos sólidos ante eventos extremos asociados al cambio  
climático en la Región del Biobío**

Habilitación presentada para optar al título de  
**Ingeniera Ambiental**

**Alumna:** Fernanda Javiera Torres Muñoz  
**Profesores guía:** Dra. Patricia González Sánchez  
Dr. Octavio Rojas Vilches

CONCEPCIÓN (Chile), 2025

**“CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ANTE EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO”**

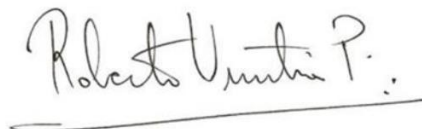
**Profesor Guía: Dr. Patricia González Sánchez**



**Profesor Guía: Dr. Octavio Rojas Vilches**



**Profesor Comisión: Dr. Roberto Urrutia Pérez**



**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MAXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

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

**Concepción, abril 2025**

## **Índice**

Índice de tablas.....	6
Índice de figuras.....	8
Agradecimientos .....	9
Resumen .....	10
I. Introducción .....	12
1. Pregunta de investigación .....	14
2. Objetivo general .....	14
3. Objetivos específicos.....	14
II. Antecedentes.....	15
1. Sitios de disposición de residuos sólidos: Desafíos y consideraciones.....	15
1.1. Los sitios de disposición de residuos .....	15
2. Evaluación de riesgo.....	16
2.1. Los factores de riesgos en los sitios de disposición de residuos.....	16
2.2. Modelos para evaluar riesgo en los sitios de disposición de residuos.....	16
3. Cambio climático, desastres y su relación con los sitios de disposición.....	19
3.1. El cambio climático.....	19
3.2. El cambio climático y la disposición final de residuos en Chile.....	21
3.3. Los efectos del cambio climático en la Región del Biobío.....	23
III. Metodología.....	26
1. Área de estudio .....	26
2. Metodología .....	29
2.1. Examinar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos.....	29

2.2.	Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.....	31
2.3.	Proponer lineamientos para la gestión de riesgos en los sitios de disposición de la Región del Biobío.....	33
IV.	Resultados y discusión .....	35
1.	Examinar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos. ....	35
2.	Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.	46
2.1.	Escenarios de riesgo de los sitios de disposición y cambio climático.....	46
2.2.	Evaluación del riesgo.....	53
2.3.	Jerarquización factores de riesgo. ....	70
3.	Proponer lineamientos para la reducción del riesgo de desastres en los sitios de disposición de la Región del Biobío ante escenarios de cambio climático.....	72
V.	Conclusiones .....	77
VI.	Contribución a los ODS.....	79
VII.	Glosario .....	80
VIII.	Referencias bibliográficas .....	82
IX.	Anexos.....	91
1.	Anexo 1. Tabla 28.....	91
2.	Anexo 2. Tabla 29.....	92
3.	Anexo 3. Tabla 30.....	94
4.	Anexo 4. Tabla 31.....	95

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Modelos de evaluación de riesgos naturales.....	17
Tabla 2. Modelo de la interacción del riesgo implementado por el IPCC.....	18
Tabla 3. Extracción de enfoques y metodologías identificadas en revisión bibliográfica .....	20
Tabla 4. Sitios de disposición final operativos en la Región del Biobío .....	23
Tabla 5. Riesgos ambientales considerados en planes de prevención y contingencia en los rellenos sanitarios de la Región del Biobío.....	24
Tabla 6. Modelos conceptuales de riesgo aplicables a sitios de disposición de residuos.....	36
Tabla 7. Modelos conceptuales de riesgo aplicables a sitios de disposición de residuos.....	37
Tabla 8. Correlación entre modelo propuesto y modelo clásico .....	40
Tabla 9. Categorías en el análisis del nivel probabilidad de las amenazas .....	40
Tabla 10. Categorías en el análisis del nivel de consecuencias.....	41
Tabla 11. Subdimensiones de la capacidad de preparación .....	42
Tabla 12. Categorías en el análisis del nivel de capacidad de preparación ante manejo de riesgos .....	43
Tabla 13. Categorías en el análisis del nivel de capacidad de preparación con relación a gestión y mantenimiento.....	43
Tabla 14. Categorías en el análisis del factor de cambio climático .....	45
Tabla 15. Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario Cemarac.....	48
Tabla 16. Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue..	50
Tabla 17. Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario de Los Ángeles .....	53
Tabla 18. Nivel de probabilidad y consecuencias ante eventos extremos.....	54
Tabla 19. Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario Cemarac .....	64

Tabla 20. Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario Arauco-Curanilahue .....	66
Tabla 21. Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario de Los Ángeles .....	68
Tabla 22. Variabilidad del nivel de riesgo luego de incorporación de CP .....	70
Tabla 23. Priorización de los amenazas .....	71
Tabla 24. Jerarquización de los factores de riesgo .....	71
Tabla 25. Enfoque de ejes propuestos.....	73
Tabla 26. Lineamientos para la reducción del riesgo de desastres en los sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío.....	74
Tabla 27. Contribución de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	79
Tabla 28. Planes de prevención y contingencia de riesgos ambientales en los rellenos sanitarios de la Región del Biobío .....	91
Tabla 29. Extracto herramienta de encuesta aplicada a expertos .....	92
Tabla 30. Infraestructura crítica rellenos sanitarios .....	94
Tabla 31. Cronograma de actividades .....	95

## **Índice de figuras**

Figura 1. Mapa región del Biobío. ....	26
Figura 2. Mapa comuna de Penco. ....	27
Figura 3. Mapa comuna de Curanilahue. ....	28
Figura 4. Mapa Comuna de Los Ángeles. ....	29
Figura 5. Diagrama de flujo, objetivo N° 1. ....	30
Figura 6. Diagrama de flujo, objetivo N° 2. ....	31
Figura 7. Diagrama de flujo, objetivo N° 3. ....	33
Figura 8. Matriz de riesgo. ....	45
Figura 9. Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario Cemarc. .	57
Figura 10. Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario Arauco- Curanilahue. ....	60
Figura 11. Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario de Los Ángeles. ....	62
Figura 12. Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario Cemarc. ....	65
Figura 13. Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario Intercomunal Arauco- Curanilahue. ....	67
Figura 14. Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario de Los Ángeles. ....	69

## **Agradecimientos**

A mis profesores guía, Dra. Patricia González Sánchez y Dr. Octavio Rojas Vilches, por su apoyo, consejos y dedicación. Su orientación ha sido fundamental para mi crecimiento académico.

A mi madre, padre, hermana, pareja y amigos, por su apoyo incondicional, por creer en mí y por estar siempre pendientes de cada etapa de este proceso.

A mis abuelos, que con amor y esperanza anhelaron ver este momento. Su recuerdo y enseñanzas siguen guiando mi camino.

A cada una de las personas, que desde diversos espacios y formas, contribuyeron de manera importante en la consecución de este logro en mi desarrollo profesional.

## **Resumen**

La disposición final de residuos sólidos urbanos conlleva impactos ambientales que se ven agravados por el cambio climático, especialmente al no considerarse de manera integral las interacciones entre diversos factores de riesgo. Esta investigación se centra en caracterizar el riesgo de los sitios de disposición de residuos sólidos frente a eventos climáticos extremos en la Región del Biobío, con el propósito de fundamentar estrategias de gestión más efectivas.

El estudio inició con una revisión de modelos internacionales de riesgo aplicados a sitios de disposición, a partir de los cuales se diseñó un modelo conceptual adaptado a las condiciones locales. Se empleó la plataforma ARClím para proyectar amenazas futuras y se realizaron entrevistas a expertos para evaluar la probabilidad de eventos extremos, su evolución, consecuencias y nivel de preparación de los sitios. Estos datos permitieron jerarquizar factores de riesgo críticos y analizar incidentes pasados, identificando brechas en la gestión y formulando ejes estratégicos para nuevos lineamientos.

Los principales factores de riesgo identificados incluyen el aumento de la temperatura máxima y la frecuencia de olas de calor, lo que eleva significativamente el riesgo de incendios, especialmente en sitios cercanos a plantaciones forestales. Además, las sequías prolongadas afectan la estabilidad del suelo y aumentan la vulnerabilidad frente a lluvias intensas, aunque se proyecta una disminución general en las precipitaciones extremas. En contraste, el riesgo asociado a inundaciones y remociones en masa presenta un comportamiento diferencial entre los diferentes sitios analizados.

La capacidad de preparación de los sitios es un factor clave en la reducción de impactos. Aquellos que han adoptado medidas de prevención, adaptación o mitigación ante el cambio climático han demostrado menor riesgo a eventos extremos. Entre las principales medidas propuestas se destacan la incorporación del cambio climático en la evaluación ambiental, el fortalecimiento de

la regulación ambiental, fomentar la colaboración entre actores públicos y privados, y la inversión en infraestructuras resilientes para mejorar la capacidad de respuesta.

El estudio concluye que una gestión adecuada de los residuos sólidos debe incorporar de manera explícita las proyecciones climáticas, a fin de minimizar la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de respuesta de los sitios de disposición, proporcionando así una base técnica sólida para la adaptación al cambio climático en la Región del Biobío.

## I. Introducción

Si bien los sitios de disposición de residuos sólidos urbanos pueden tener efectos sobre el clima, especialmente debido a la emisión de gases de efecto invernadero, el cambio climático tiene a su vez repercusiones sobre estos sitios. Estas instalaciones, cuando no han sido diseñadas para enfrentar fenómenos extremos, presentan un alto riesgo de contaminación y degradación ambiental. Además, los residuos sólidos, si no son gestionados adecuadamente, pueden acumularse y generar impactos negativos significativos, los cuales se agravan bajo condiciones climáticas extremas (Samson y Oluwatoyin, 2012). La falta de preparación y diseño adaptativo en estas infraestructuras aumenta su vulnerabilidad, lo que resalta la necesidad de una evaluación de riesgos integral que considere tanto los peligros climáticos como las características específicas de los sitios.

Los eventos extremos vinculados al cambio climático, como lluvias intensas, vientos fuertes, inundaciones, olas de calor, aumento del nivel del mar y de la temperatura, están bien documentados como amenazas de los sitios de disposición (Yahaya et.al, 2021). Y aunque los impactos de estos eventos son ampliamente conocidos, las soluciones para adaptarse a ellos aún evolucionan gradualmente, y su implementación sigue siendo limitada (Kumar y Reddy, 2020).

Los eventos extremos afectan todas las etapas del ciclo de vida de estos sitios, y pueden manifestarse de diversas maneras y escalas (Kumar y Reddy, 2020). En particular, tanto los residuos como el cambio climático se consideran los problemas medioambientales más críticos que enfrenta Chile (MMA, 2019). Según la normativa ambiental vigente, los residuos sólidos urbanos deben ser gestionados en rellenos sanitarios, los cuales, dependiendo de su magnitud, deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) para su correspondiente evaluación. Sin embargo, algunos rellenos sanitarios del país han generado

impactos ambientales significativos en el ecosistema, convirtiéndose en focos continuos de contaminación. De manera similar, los vertederos y basurales, que son áreas de disposición de residuos menos controladas o informales en comparación con los rellenos sanitarios, también han presentado graves impactos. Entre estos destacan la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos por lixiviados, la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación de suelos, la liberación de contaminantes, la emisión de olores y gases tóxicos, entre otros. Como se mencionó, estos impactos pueden verse exacerbados por la presencia del cambio climático.

En la Región del Biobío, varios sitios de disposición de residuos sólidos han enfrentado accidentes graves asociados a eventos extremos, a pesar de contar con evaluaciones ambientales y planes de prevención de riesgos. Ejemplos representativos incluyen los deslizamientos de tierra ocurridos en el relleno sanitario Hidronor en 2013 y 2019, que causaron la contaminación de cuerpos de agua cercanos. Asimismo, en 2017, el relleno sanitario Cemarc enfrentó una serie de incumplimientos tras intensas lluvias invernales, que resultaron en el derrame de lixiviados en áreas estancas y el contacto de aguas lluvias con residuos sin tratar, lo que comprometió la seguridad y salud de las comunidades cercanas.

Bajo este escenario, la evaluación de riesgos se presenta como una herramienta fundamental para analizar la interacción entre amenazas, vulnerabilidades y la exposición de las infraestructuras, proporcionando una visión completa del problema. Este estudio busca sentar una base sólida para la realización de una evaluación de riesgos en los sitios de disposición de residuos sólidos bajo escenarios de cambio climático.

## **1. Pregunta de investigación**

En este contexto, surge la pregunta central de esta investigación: ¿Cuáles son los factores de riesgo de los sitios de disposición de residuos sólidos asociados a eventos extremos, que podrían verse intensificados por el cambio climático?

## **2. Objetivo general**

- Caracterizar el riesgo de los sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío, ante eventos extremos asociados con el cambio climático.

## **3. Objetivos específicos**

- Examinar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición de residuos presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos.
- Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.
- Proponer lineamientos para la reducción del riesgo de desastres en los sitios de disposición de la Región del Biobío ante escenarios de cambio climático.

## II. Antecedentes

### 1. Sitios de disposición de residuos sólidos: Desafíos y consideraciones.

#### 1.1. Los sitios de disposición de residuos.

La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos (RSU) representa una problemática significativa en la actualidad, ya que estos pueden contaminar los tres principales compartimientos ambientales: atmósfera, litósfera e hidrósfera. Esta contaminación se propaga a través de dichos compartimientos y tiene un impacto, ya sea directo o indirecto, en los seres humanos, el entorno natural y el construido (Butt et al., 2008).

Brand y Spencer (2023), establecen que en los RSU se puede encontrar una diversidad de sustancias potencialmente peligrosas cuya movilización puede conllevar graves consecuencias para los ecosistemas terrestres y acuáticos. Entre las principales vías de contaminación destacan el a) desplazamiento de lixiviado los que pudieran contaminar aguas subterráneas y superficiales, b) el transporte de RSU a través de corrientes de agua, c) la erosión de suelos y sedimentos contaminados.

A esta compleja problemática se le suma la vulnerabilidad de los sitios de disposición de residuos ante eventos climáticos extremos. Las inundaciones, tormentas y otros fenómenos climáticos pueden causar dispersión de RSU, contaminando aún más su entorno y representando un peligro adicional para la salud pública. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la vulnerabilidad de estos sitios depende en gran parte del tipo de sitio de disposición (relleno sanitario en el caso de esta investigación), y los materiales utilizados durante su construcción y operación, así como de las condiciones hidrológicas y geomorfológicas donde estén ubicados (Brand y Spencer, 2023).

## **2. Evaluación de riesgo.**

### **2.1. Los factores de riesgos en los sitios de disposición de residuos.**

Los sitios de disposición de residuos sólidos se ven enfrentados a una variedad de eventos climáticos extremos, como precipitaciones intensas, inundaciones fluviales y subterráneas, sequía, olas de calor, entre otros. En los sitios, estos eventos pueden desencadenar la movilización y propagación de contaminantes, incrementando la exposición de las personas y el medio ambiente a sustancias nocivas (Kumar y Reddy, 2020).

Según lo indican Brand y Spencer (2023), precipitaciones intensas, frecuentes y/o prolongadas, además de inundaciones fluviales y subterráneas, pueden generar inundaciones en algunos sitios de disposición, lo que a su vez puede influir en la liberación de contaminantes. Si adicionalmente estos sitios se encuentran saturados, se compromete también su integridad estructural.

Por otra parte, señalan que sequías extremas pueden provocar el secado de los diques de contención y materiales de recubrimiento en los sitios, aumentando la probabilidad de que se agrieten y luego fallen en futuras inundaciones. Asimismo, existe el riesgo de dañar la integridad estructural de estos, lo que a su vez aumenta el riesgo de erosión y posterior liberación de RSU.

Finalmente, las olas de calor e incendios aumentan la volatilidad de los contaminantes, siendo estos potencialmente liberados a través de la incineración de residuos tóxicos o la emisión de subproductos de una combustión ineficiente (Kumar y Reddy, 2020).

### **2.2. Modelos para evaluar riesgo en los sitios de disposición de residuos.**

En el contexto de los sitios de disposición de residuos, es crucial emplear modelos específicos para evaluar el riesgo ante eventos climáticos extremos y otros peligros asociados. Estos modelos facilitan la toma de decisiones informadas para la planificación y gestión de los sitios de

disposición, proporcionando un marco estructurado para comprender cómo ciertos objetivos pueden verse afectados y analizar el riesgo en términos de consecuencias y probabilidades.

Es importante tener en cuenta que la evaluación de riesgos para sitios de disposición de residuos es una herramienta aún en desarrollo. Según Butt et al. (2008) y Yahaya et al. (2021), la bibliografía relacionada con la evaluación de riesgos medioambientales, y en particular la de los sitios de disposición, ha identificado una serie de limitaciones de conocimiento. Asimismo, Kumar y Reddy (2020) señalan que el tema de los impactos del cambio climático en los sitios de disposición no ha recibido una atención significativa en el mundo académico, y solo hay unas pocas publicaciones que hablen de la urgente necesidad de debatir e intervenir en ese sentido.

Sin embargo, existen modelos utilizados convencionales en el ámbito de los riesgos naturales, los que se muestran en la *Tabla 1*. Respecto a los sitios de disposición de residuos, es común emplear algunos de estos modelos para evaluar tanto sus impactos ambientales como su vulnerabilidad frente a eventos extremos (Simpson et. al., 2021).

**Tabla 1.**

Modelos de evaluación de riesgos naturales.

Modelo	Definiciones	Referencia
$R = A \times V$	<p><b>A (amenaza):</b> Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno peligroso en un tiempo y área dado.</p> <p><b>V (vulnerabilidad):</b> Estimado del grado de pérdidas y daños que pueden resultar de la ocurrencia de un fenómeno natural.</p> <p><b>R (riesgo):</b> Integración del análisis de peligros en un área, y su vulnerabilidad a ellos.</p>	OEA, 1933
$R = A \times E \times V$	<p><b>A (amenaza):</b> Análisis del peligro natural en sí.</p> <p><b>E (exposición):</b> Posición geográfica de una infraestructura o de la gente con relación a la amenaza.</p> <p><b>V (vulnerabilidad):</b> Consideración y grado de pérdidas y daño.</p>	Científicos de la Unión Europea, s.f.

$$R = \frac{A \times V}{CP}$$

**CP (capacidad de preparación)** = Conjunto de medidas que se toman antes de que ocurra un potencial peligro. Wilches-Chaux, 1993

*Fuente: Rojas & Martínez, 2011.*

De acuerdo con lo descrito en los puntos precedentes, se prevé que el riesgo que representan los sitios de disposición de residuos aumente con el cambio climático (Brand y Spencer, 2023). En este contexto, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su siglas en inglés) refuerza el modelo que da cuenta de la interacción de los factores del riesgo debido al clima, considerándolos como amenazas, y su relación con los otros factores de vulnerabilidad y la exposición de los sistemas humanos y naturales (IPCC, 2014). *Tabla 2.*

### Tabla 2.

Modelo de la interacción del riesgo implementado por el IPCC.

Modelo	Definición	Referencia
$R = A \times E \times V$	<p><b>Riesgo (R):</b> Potencial de consecuencias donde algo de valor está en juego y donde el resultado es incierto, reconociendo la diversidad de valores. Resulta de la interacción de vulnerabilidad, exposición y amenaza o peligro.</p> <p><b>Amenaza (A):</b> Eventos físicos relacionados con el clima o tendencias o sus impactos físicos.</p> <p><b>Exposición (E):</b> Presencia de personas, medios de vida, servicios y recursos ambientales, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente.</p> <p><b>Vulnerabilidad (V):</b> Propensión o predisposición a verse afectado negativamente. Abarca una variedad de conceptos y elementos, incluyendo la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontarlo y adaptarse.</p>	IPCC, 2014

*Fuente: IPCC, 2014.*

El cambio climático (CC) entra en juego como un factor crucial en la interacción entre los sitios de disposición de residuos y los factores de riesgo asociados a eventos extremos. Simpson et al. (2021) aborda el tema del riesgo desde una perspectiva más amplia, señalando que algunas

definiciones se centran únicamente en las amenazas o la vulnerabilidad, mientras que otras consideran de manera más integral la interacción entre sistemas humanos y medioambientales. Aunque las interacciones entre estos sistemas pueden involucrar eventos relacionados con el CC, aún no existe un marco común para evaluar los complejos riesgos asociados.

Los autores también destacan que, a menudo, las respuestas al riesgo se excluyen de los modelos de riesgo, a pesar de su papel crucial en los posibles resultados, relacionándose con términos como "capacidad de preparación" o de "adaptación". No obstante, en todas las perspectivas aplicadas al riesgo ante eventos extremos, existe un denominador común: la interacción de los determinantes del riesgo, como la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad.

### **3. Cambio climático, desastres y su relación con los sitios de disposición.**

#### **3.1. El cambio climático.**

Ante la situación descrita, los sitios de disposición de residuos deben considerar cuidadosamente los efectos del CC, desde su diseño, operación y mantenimiento, hasta el fin de su vida útil. Los eventos climáticos extremos representan una amenaza significativa para estas infraestructuras, ya que aumentan la probabilidad de desastres y la exposición de contaminantes peligrosos al entorno circundante. Ignorar estos aspectos podría conllevar consecuencias catastróficas y desastrosas (Kumar y Reddy, 2020). Numerosos estudios han investigado los efectos del CC en los sitios de disposición de residuos, utilizando diversos enfoques y metodologías para evaluar o determinar dichos impactos. *Tabla 3.*

Schneider et al. (2017) y Van Khanh (2019) enfocaron sus estudios en las zonas costeras de Vietnam, donde identificaron y evaluaron la interrelación entre el CC y los sitios de disposición de residuos. Por otro lado, aunque Yahana et al. (2021) y Brand y Spencer (2023) utilizaron metodologías cualitativas y diferentes áreas de estudio, respaldan los resultados obtenidos por los otros investigadores.

**Tabla 3.**

Extracción de enfoques y metodologías identificadas en revisión bibliográfica.

Objetivo	Área de estudio	Metodología	Referencia
Investigar la interrelación entre los efectos del CC y la gestión de residuos.	Ha Noi, Vietnam	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación de datos primarios de autoridades y secundarios de informes y estadísticas.</li> <li>Análisis causa-efecto (diagrama de Ishikawa).</li> <li>Balance hídrico a partir de modelo HELP 3.95d.</li> <li>Evaluación de sensibilidad del cambio climático.</li> </ul>	Schneider et al., 2017
Identificar y evaluar el impacto del CC y el aumento del nivel del mar en sitios de disposición.	Vietnam	<ul style="list-style-type: none"> <li>Probabilidad de fenómenos y eventos climáticos.</li> <li>Impacto de estos en las instalaciones.</li> <li>Vulnerabilidad e impacto del cambio climático en las instalaciones.</li> </ul>	Van Khanh, 2019
Utilizar proyecciones de CC en conjunto con un marco de modelado conceptual para la evaluación de impactos de los riesgos ante eventos extremos futuros en sitios de disposición.	Malasia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área de estudio, proyecciones climáticas y riesgos asociados.</li> <li>Modelo conceptual del sitio con enfoque fuente-trayecto-receptor-consecuencias.</li> <li>Incorporación de proyecciones de cambio climático (IPCC y estudios regionales).</li> </ul>	Yahaya et al., 2021
Análisis de los riesgos de contaminación asociados a los sitios de disposición, con foco en los potenciales impactos del CC en estos sitios.	Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis detallado de literatura de sitios de disposición, contaminación ambiental y cambio climático.</li> <li>Incorporación de proyecciones de cambio climático y posibles impactos.</li> <li>Evaluación de la vulnerabilidad de las instalaciones.</li> </ul>	Brand & Spencer, 2023

Fuente: Schneider et al., 2017; Van Khanh N., 2019; Yahaya et al., 2021; Brand J., & Spencer K., 2023.

De los estudios mencionados, se puede extraer que los sitios de disposición son altamente vulnerables a peligros climáticos, como cambios en las precipitaciones y desequilibrios hídricos que desencadenan inundaciones o sequías aumentadas. Los estudios también sugirieron que se deben adaptar las metodologías existentes y/o desarrollar nuevos enfoques para evaluar los riesgos en los sitios ubicados en entornos con presencia de agua dulce o costera. Asimismo, se enfatizó la importancia de fomentar la resiliencia climática, la identificación de medidas de adaptación y la mejora de los sistemas de monitoreo y alerta temprana.

### 3.2. El cambio climático y la disposición final de residuos en Chile.

En Chile existen diversas normas e instrumentos de gestión orientados a la prevención y respuesta ante eventos extremos y cambio climático. En el ámbito de los rellenos sanitarios, el Decreto Supremo N° 189/2008 del MINSAL (D.S. N°189), que aprueba el reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios, establece en su Título IV, artículo 42, que "todo Relleno Sanitario debe estar preparado para recibir residuos durante episodios climáticos extremos, manteniendo un sector especialmente habilitado para la disposición final de residuos en tales circunstancias". Para dar cumplimiento a esta normativa, se exige el diseño e implementación de planes de prevención y contención frente a riesgos ambientales que puedan afectar estas estructuras. Las medidas deben ir debidamente detalladas en los respectivos Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental de los rellenos sanitarios.

Respecto al cambio climático, se encuentra el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MMA, 2015), que entrega el marco conceptual y los lineamientos para la adaptación en Chile, y articula planes sectoriales de adaptación para siete sectores prioritarios, donde lamentablemente no se incluye el sector residuos. No obstante, desde el 2023 se encuentra vigente la tramitación del proyecto, que abarca una propuesta de instrumentos y medidas de mitigación enfocadas en

la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Entre las medidas se destacan algunas orientadas al compostaje, reciclaje y reducción de RSU (MMA, 2024).

Por último, la Guía Metodológica para la Consideración del Cambio Climático en el SEIA es el nexo que integra los rellenos sanitarios y el CC, ya que insta la necesidad de una metodología para la evaluación ambiental de proyectos en un contexto donde los componentes ambientales muestran nuevas amenazas y vulnerabilidades ante los efectos del CC. Al igual que el D.S. N° 189, establece que los proyectos deben presentar planes de prevención de contingencias y emergencias ante eventos tales como: Incendios forestales, remoción en masa, lluvias extremas e inundaciones, trombas marinas, marejadas ciclónicas y olas de calor.

Respecto a la vulnerabilidad, cabe mencionar que ninguno de estos sitios está exento a las amenazas representadas anteriormente. A modo de ejemplo, el vertedero en Morrompulli, en junio de 2023, a causa de lluvias invernales en la Región de Los Ríos se generó un deslizamiento de toneladas de basura desde el vertedero, cruzando un estero al final de uno de los cerros colindantes y bloqueando el curso de agua (Valdebenito, 2023).

Por su parte, en el vertedero Santa Marta en el año 2016, se produjo un deslizamiento de la masa de residuos traspasando el muro de contención, provocando que estos quedaran asentados por meses en el suelo, sin cobertura y ningún tipo de manejo. Producto de ello, la descomposición de dichos residuos generó gases tóxicos y altamente combustibles, que sumados a las altas temperaturas del momento, provocaron un incendio, liberando una nube tóxica sobre la comuna de Talagante en la Región Metropolitana. Esto generó malestar en la población, quienes reportaron picazón de garganta y ardor de ojos (El Mostrador, 2016; Lee, 2023). A raíz de este incidente, en el 2019 la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) exigió a los rellenos sanitarios actualizar sus planes de emergencia ante eventos de altas temperaturas, basándose en los informes de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y otras entidades que advertían un aumento histórico de las temperaturas durante el verano (Navarrete, 2019).

En este contexto, la vulnerabilidad de los sitios de disposición se podría ver agravada por el aumento de la temperatura media, que ha incrementado en 0.13°C por década, y por el déficit en las precipitaciones, que ha alcanzado un 22%, según el Reporte Anual de la Evolución del Clima en Chile (2023). Investigadores de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Veloso, 2021) advierten que las estimaciones de precipitación disminuirían en la zona centro-sur durante la temporada de verano, proyectando que la zona central sería una de las más afectadas. La persistente sequía y los eventos de olas de calor también han contribuido a un aumento en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales, lo que genera una mayor presión sobre las infraestructuras de disposición de residuos (DMC, 2023).

### 3.3. Los efectos del cambio climático en la Región del Biobío.

Actualmente, en la Región del Biobío, existen 4 sitios de disposición activos (SUBDERE, 2024a), de los cuales 3 son rellenos sanitarios (*Tabla 4*). Estos sitios, donde se enfocará la investigación debido a la disponibilidad de información, no han estado ajenos a accidentes asociados a eventos extremos. Como lo indica la norma (D.S. N° 189) cuentan con Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) aprobadas que incluyen planes de prevención y contingencia de riesgos ambientales (*Tabla 5*) en sus respectivos EIA (más detalles en *Anexo 1*).

**Tabla 4.**

Sitios de disposición final operativos en la Región del Biobío.

Nombre del sitio	Ubicación comuna	N° Autorización sanitaria	N° RCA
Relleno Sanitario Cemarc	Penco	RES. EX 3349/2006	RES. EX 183/2004
Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue	Curanilahue	SI	RCA 161/2003
Relleno Sanitario Los Ángeles	Los Ángeles	RES. EX 1895/2002	EIA RES. EX 252/2002

*Fuente: SUBDERE, 2024b.*

**Tabla 5.**

Riesgos ambientales considerados en planes de prevención y contingencia en los rellenos sanitarios de la Región del Biobío.

---

<b>Riesgo ambiental</b>	Infiltración de líquidos percolados.
	Derrames desde la planta de tratamiento de líquidos percolados.
	Incendio o explosión por emanaciones de gas.
	Riesgos naturales (lluvias intensas, avalanchas, derrumbes, erosión o eventos sísmicos).

---

*Fuente: EIA “Centro de Manejo de Residuos de Concepción”, 2003; ICE “Relleno Sanitario Arauco Curanilahue”, 2003; EIA “Relleno Sanitario Los Ángeles”, 2002.*

En la región del Biobío, los efectos del cambio climático se hacen cada vez más evidentes y preocupantes. Según la Dirección Meteorológica de Chile (2023) las proyecciones climáticas indican un aumento constante de la temperatura, similar a la tendencia nacional, que ha desencadenado un significativo incremento en los eventos de olas de calor en los últimos años. Este fenómeno presenta una variabilidad geográfica dentro de la región, con un mayor impacto en las zonas interiores en comparación con las áreas costeras, lo que sugiere que los efectos también serán diferenciados.

En este contexto, el Plan de Acción de Cambio Climático (PARCC), ha identificado las principales amenazas para la región, entre las que destacan el aumento de incendios forestales, sequía, erosión de suelos y contaminación ambiental (MMA, 2023).

Situaciones como esta se ven respaldadas por antecedentes regionales que demuestran cómo los eventos climáticos pueden representar una fuente de riesgo para estos espacios. Un ejemplo es el relleno sanitario Hidronor S.A., ubicado en Copiulemu, Región del Biobío, que en el año 2013, a raíz de intensas lluvias de invierno se generó un deslizamiento de tierra que colapsó un ducto de comunicación entre piscinas de RILes, contaminando un estero utilizado para consumo

humano. Lo que se repitió en el año 2019, donde se vio afectada la planta de tratamiento de lixiviados, causando la dispersión de sedimentos hacia la carretera y esteros cercanos, así como malos olores (SMA, 2013).

Otro caso, el relleno sanitario CEMARC, que en 2017 enfrentó cargos por una serie de incumplimientos constatados en fiscalizaciones realizadas en 2014 y 2015, que coinciden con eventos de lluvia intensa en época invernal. Entre las infracciones se incluyen derrames de líquidos lixiviados fuera de la zona estanca del relleno, superación del caudal máximo de diseño del sistema de tratamiento de lixiviados y el contacto de aguas lluvias con RSU sin tratamiento. Acciones que podrían generar un riesgo para la salud y seguridad de las poblaciones cercanas (SMA, 2017).

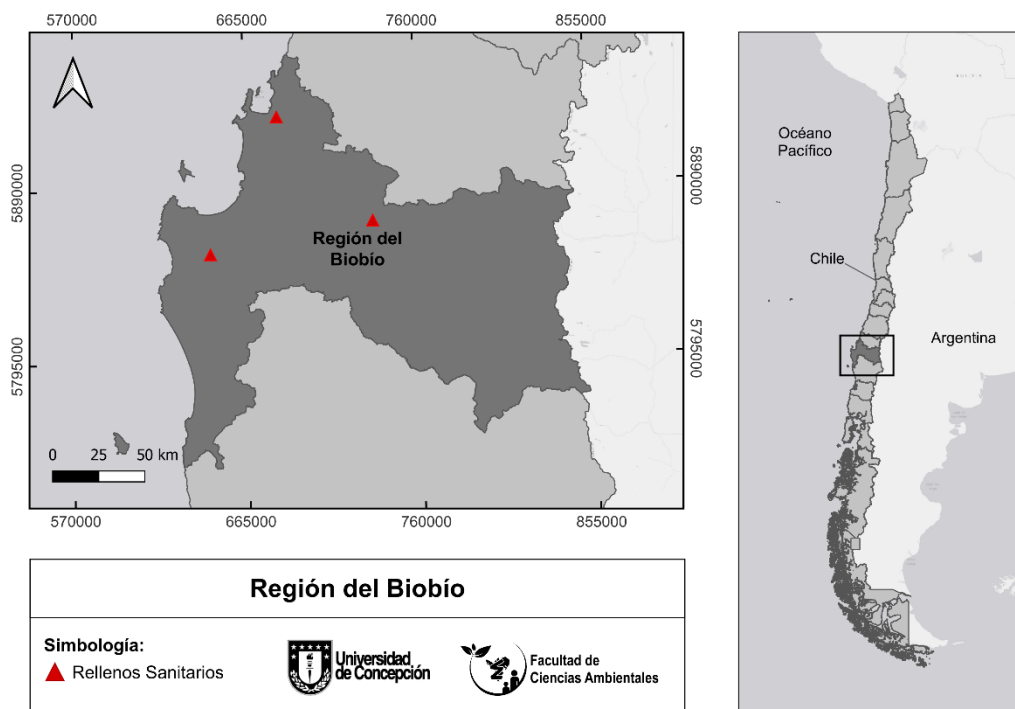
La falta de evaluación específica de los factores de riesgos destaca una brecha importante con relación a los sitios de disposición de residuos sólidos. En un contexto donde el cambio climático está intensificando la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como sequías y tormentas, es esencial integrar la caracterización del riesgo ante eventos extremos en la planificación y gestión de estos espacios. Esta integración permitiría identificar con mayor precisión las vulnerabilidades existentes y desarrollar estrategias de adaptación y mitigación adecuadas. Además, facilitaría la toma de decisiones informadas para mejorar la resiliencia de las infraestructuras de los sitios de disposición frente a los impactos del cambio climático.

### III. Metodología

#### 1. Área de estudio

##### Región del Biobío

La región del Biobío (*Figura 1*) está ubicada en el límite sur de la zona central de Chile, limitando al norte con la Región de Ñuble y al sur con la Región de La Araucanía. Su superficie es de 24.021 km<sup>2</sup>, lo que representa aproximadamente un 3,2% del territorio nacional (BCN, s.f.-b).



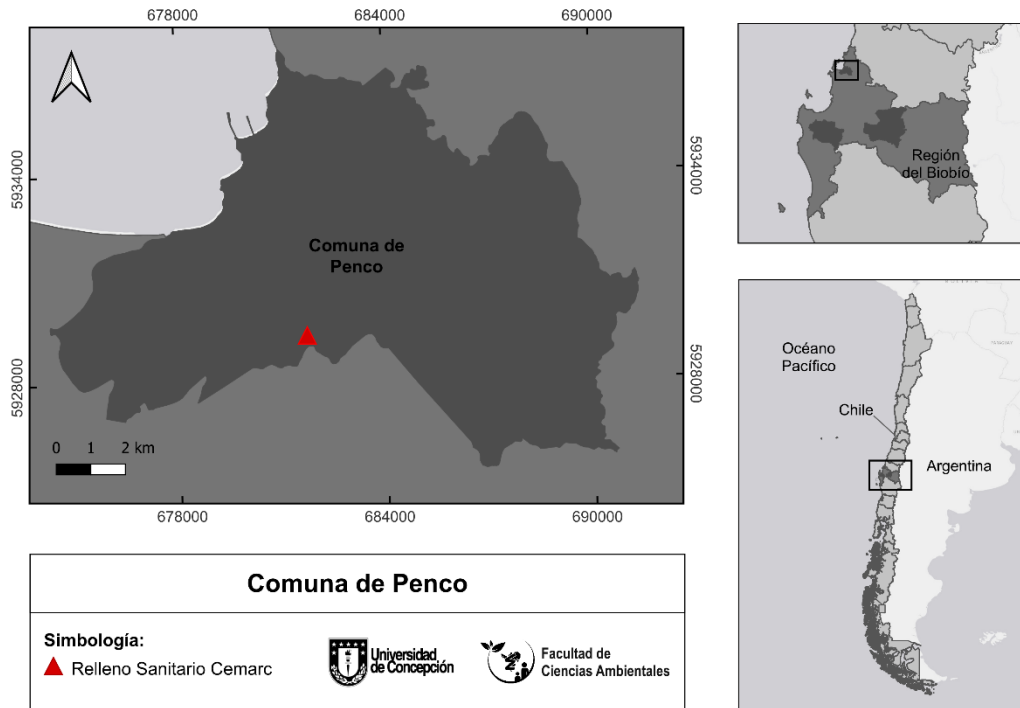
**Figura 1.** Mapa región del Biobío.

*Fuente: BCN, s.f.-b.*

Los sitios de disposición de residuos analizados en esta investigación se encuentran emplazados en las comunas de Penco, Curanilahue y Los Ángeles. A continuación, se presentan sus respectivas ubicaciones.

### Relleno Sanitario Cemarc:

El relleno sanitario Cemarc (Centro de Manejo de Residuos de Concepción) está ubicado en la provincia de Concepción, comuna de Penco (*Figura 2*), a 4 km al este de la ciudad de Penco, junto a la carretera Itata. El relleno sanitario abarca una superficie de 30,6 hectáreas y se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río Andalién. Según la clasificación climática de Köppen, la cuenca presenta un clima templado cálido con estaciones seca y lluviosa de longitud similar (Csb) (EIA, 2003; EIA, 2021).



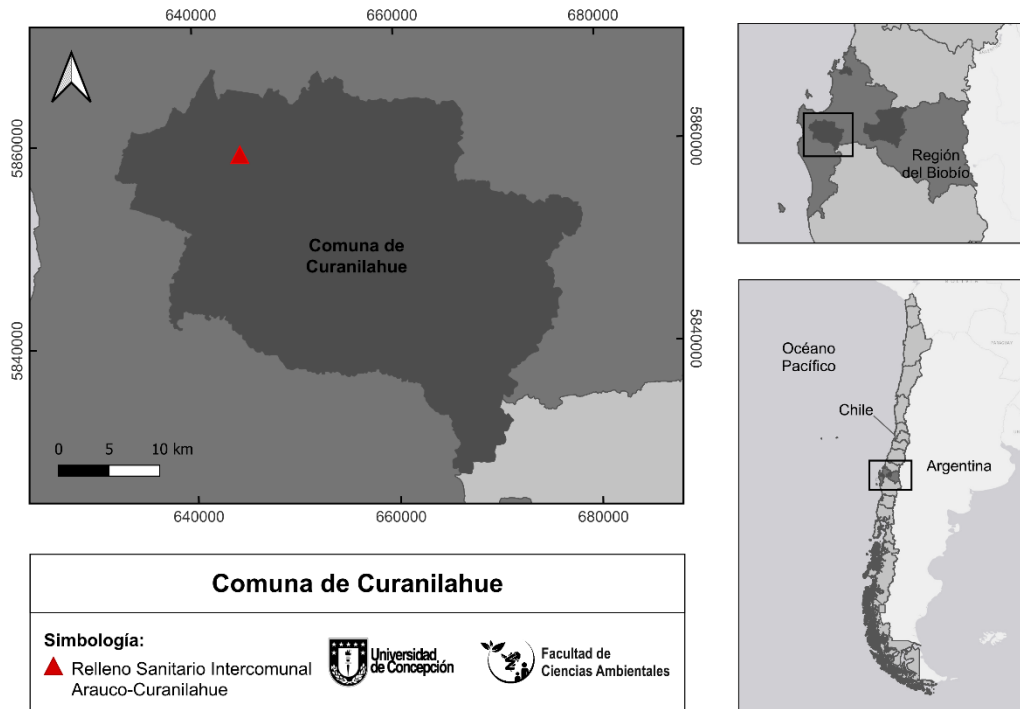
**Figura 2.** Mapa comuna de Penco.

*Fuente: BCN, s.f.-b.*

### Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue:

El relleno sanitario Arauco-Curanilahue se localiza en la provincia de Arauco, comuna de Curanilahue (*Figura 3*), en el sector La Colcha, a 3,5 km al suroeste de la localidad de Cólico. Su superficie es de 13,5 hectáreas y se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del río

Carampangue. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la cuenca presenta un clima templado cálido con veranos secos y frescos (Csb) (ICE, 2003).

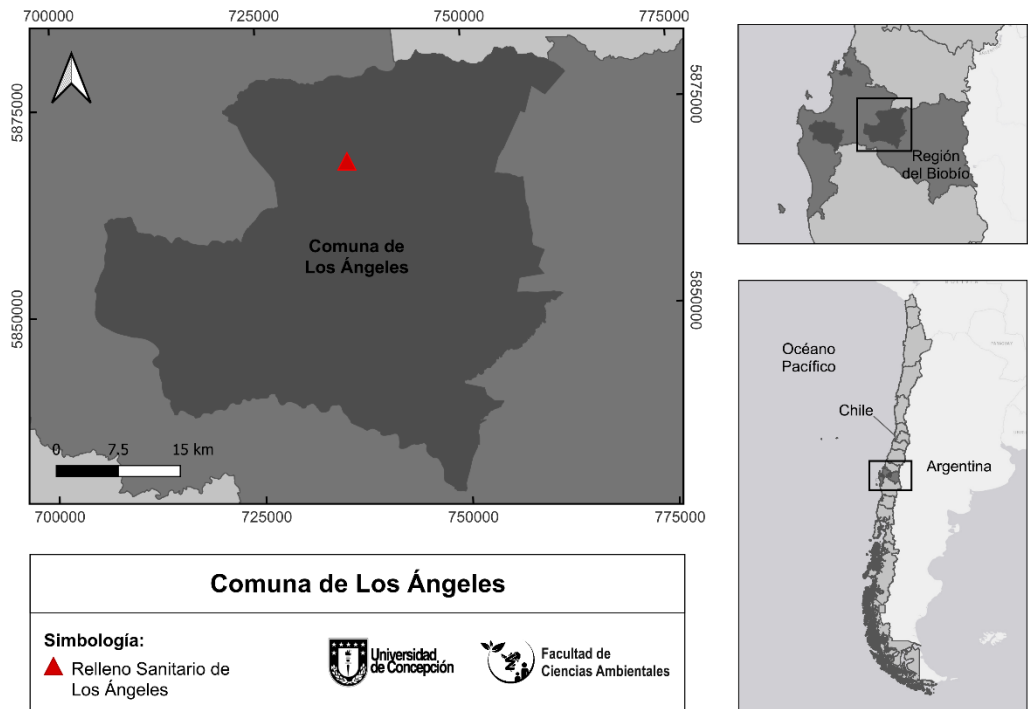


**Figura 3.** Mapa comuna de Curanilahue.

*Fuente: BCN, s.f.-b.*

Relleno Sanitario de Los Ángeles:

El relleno sanitario de Los Ángeles se ubica en la provincia del Biobío, comuna de Los Ángeles (Figura 4), en la subdelegación de Guanacos, a 22 km al norte de la ciudad de Los Ángeles, en el sector conocido como Laguna Verde. El relleno sanitario abarca una superficie aproximada de 574,3 hectáreas y se encuentra dentro de la hoya hidrográfica del río Biobío. Según la clasificación climática de Köppen, la cuenca presenta un clima templado cálido con lluvias invernales (Csb) (EIA, 2002).



**Figura 4.** Mapa Comuna de Los Ángeles.

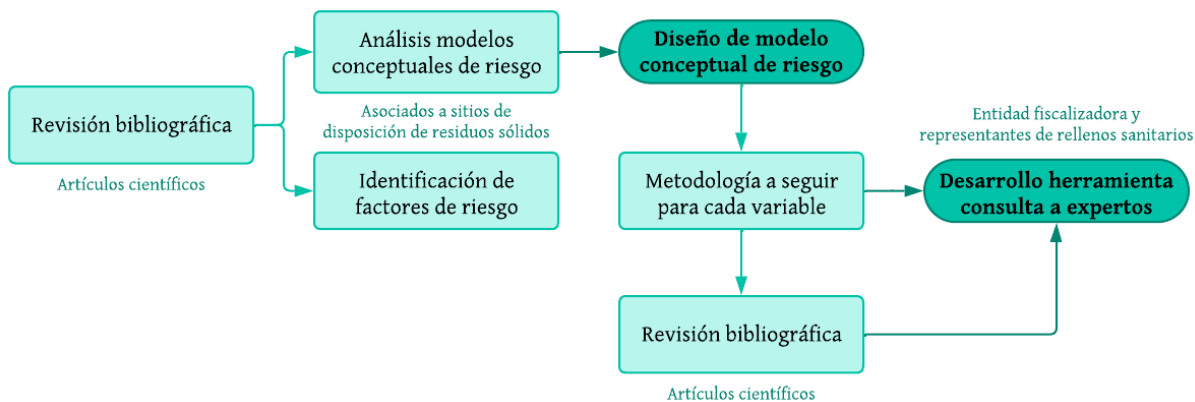
*Fuente: BCN, s.f.-b.*

## 2. Metodología

A continuación se presenta la metodología utilizada para cada uno de los objetivos específicos planteados.

### 2.1. Examinar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos.

La *Figura 5* presenta un esquema metodológico para el desarrollo del objetivo N°1.



**Figura 5.** Diagrama de flujo, objetivo N° 1.

*Fuente: Elaboración propia*

Para el desarrollo del primer objetivo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de estudios previos sobre eventos extremos asociados al cambio climático y su impacto en los sitios de disposición de residuos sólidos. La búsqueda de información se realizó en bases de datos académicas como Web of Science, Scielo y Google Scholar, utilizando palabras clave como “*risk assessment landfill disposa*”, “*climate change*”, entre otras. Este análisis permitió identificar factores de riesgo y modelos conceptuales aplicables a la gestión de residuos en escenarios riesgo frente al cambio climático. En este contexto, se entiende por escenario de riesgo la presuposición de la ocurrencia de un evento con determinadas características.

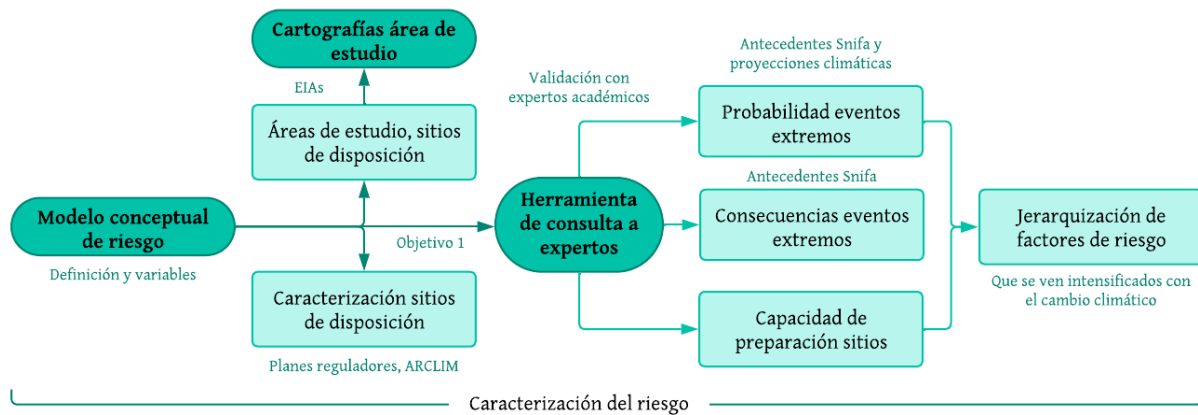
A partir de los modelos caracterizados en literatura, se diseñó un modelo conceptual<sup>1</sup> adaptado a esta investigación. Además, se definió la metodología de obtención de sus componentes e indicadores. Complementariamente, se llevó a cabo una segunda revisión bibliográfica, que incluyó:

- Guías para la evaluación y análisis del riesgo de desastres.
- Guías de evaluación del cambio climático.
- Guías para la construcción y operación de rellenos sanitarios.

1. Modelo conceptual: Proceso de estimación de las pérdidas y daños producidos en un sistema producto de la ocurrencia de un evento no deseado.

2.2. Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.

La *Figura 6* presenta un esquema metodológico para el desarrollo del objetivo N°2.



**Figura 6.** Diagrama de flujo, objetivo N° 2.

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez definidas las variables del modelo conceptual y la metodología para su obtención, se procedió a delimitar el área de estudio. Para cada una de las zonas y rellenos sanitarios seleccionados, se llevó a cabo una caracterización de los riesgos presentes, mediante el análisis de:

- Planes provinciales de emergencia
- Planes reguladores comunales.
- Estudios de impacto ambiental.

Adicionalmente, se desarrollaron cartografías específicas para cada área de estudio utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS y QGIS).

Asimismo, se consultó la plataforma ARCLim para analizar las amenazas climáticas proyectadas a futuro. Esta base de datos proporciona proyecciones de amenazas climáticas para el período

2035-2065, basadas en registros históricos (1980-2010) y en escenarios de altas emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 8.5) (MMA, 2020). Esto permitió evaluar la evolución de las amenazas a lo largo del tiempo, analizando si su frecuencia (regularidad con la que ocurre), su magnitud (intensidad o severidad del impacto) y su estacionalidad (variabilidad según la época del año) aumentarán o disminuirán en cada zona de estudio.

En paralelo con la determinación de los escenarios de riesgo, se diseñó una herramienta de consulta a expertos para obtener los indicadores de las variables del modelo y garantizar que la información recopilada fuera relevante y actual al contexto de la investigación. El instrumento fue una entrevista estructurada (*Anexo 2*) que se desarrolló en dos secciones, diferenciadas según el perfil del entrevistado:

- Primera sección: Dirigida a la entidad fiscalizadora de los rellenos sanitarios.
- Segunda sección: Aplicada a representantes de los rellenos sanitarios.

Para garantizar la validez y rigurosidad de la herramienta, esta fue sometida a un proceso de validación con expertos académicos en gestión del riesgo, gestión de residuos sólidos y ciencias sociales. Estos especialistas proporcionaron sugerencias clave sobre la formulación de las preguntas, la estructuración de las posibles respuestas y la inclusión de un espacio para respuestas abiertas, permitiendo así una recopilación de información más completa y actual, que abarcara todos los aspectos de la investigación. Este proceso contribuyó a fortalecer el diseño del instrumento y mejorar la precisión en la recolección de datos.

Las preguntas fueron diseñadas en torno a las principales amenazas identificadas en las áreas de estudio, priorizando aquellas de mayor significancia según los documentos estudiados, como inundaciones, remoción en masa e incendios forestales. Asimismo, se incorporaron aspectos relacionados con la gestión y mantenimiento de los rellenos sanitarios, con el propósito de

obtener una visión integral de su operación y resiliencia ante escenarios climáticos adversos e incorporarlos en el desarrollo de los lineamientos propuestos.

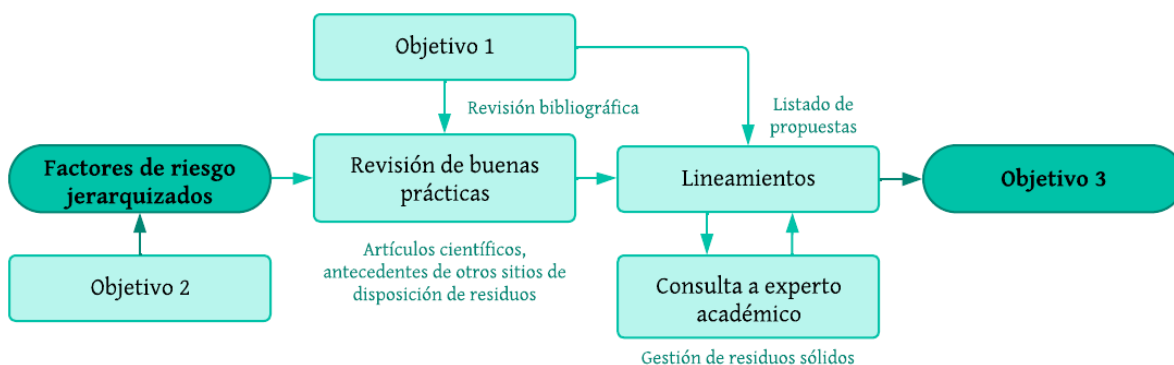
A partir de los resultados obtenidos y complementados con una revisión de antecedentes en el Sistema Nacional de Información y Fiscalización Ambiental (Snifa), se establecieron:

- La probabilidad de ocurrencia de los eventos extremos analizados.
- La posible variación de la probabilidad de ocurrencia en función de las proyecciones climáticas.
- Las consecuencias asociadas a cada evento.
- La capacidad de preparación de cada relleno sanitario frente a los impactos de estos eventos y de los eventos futuros.
- Factor de integración de los efectos del cambio climático en la capacidad de preparación.

Con todas las variables calculadas, se procedió al cálculo del nivel de riesgo y a la jerarquización de los factores de riesgo predominantes en cada relleno sanitario.

### 2.3. Proponer lineamientos para la gestión de riesgos en los sitios de disposición de la Región del Biobío

La *Figura 7* presenta un esquema metodológico para el desarrollo del objetivo N°3.



**Figura 7.** Diagrama de flujo, objetivo N° 3.

*Fuente: Elaboración propia.*

Con los factores de riesgo jerarquizados, se procedió a reevaluar los incidentes ocurridos en los sitios de disposición como consecuencia de eventos extremos, con el fin de identificar las brechas existentes en los rellenos sanitarios y determinar los ejes estratégicos sobre los cuales se establecerían los lineamientos propuestos.

Además, se realizó un análisis de estrategias y buenas prácticas a partir de estudios previos, identificando medidas implementadas con éxito en otros sitios de disposición, y revisando políticas públicas para la gestión de los RSU en la región.

Con base en la información recopilada, se formularon lineamientos estratégicos generales con actividades y responsables, estableciendo plazos de implementación. Finalmente, la propuesta fue sometida a validación por una experta académica en gestión de residuos, con el objetivo de asegurar su pertinencia y aplicabilidad.

#### **IV. Resultados y discusión**

##### **1. Examinar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos.**

Los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica destacan la diversidad de enfoques y modelos conceptuales utilizados para evaluar riesgos en sitios de disposición de residuos sólidos frente a eventos extremos (*Tabla 6, Tabla 7*). Evaluaciones como la propuesta por Jones (2001) o el marco conceptual de Simpson et al. (2021) evidencian la necesidad de un enfoque integral que abarque no solo las amenazas inmediatas en cualquier tipo de proyecto, sino también aquellas futuras.

Por su parte, Kumar y Reddy (2020) reafirman la carencia de estas variables en los modelos existentes y, en respuesta, desarrollan una evaluación de vulnerabilidad de los sitios de disposición ante eventos extremos. Sin embargo, su enfoque es limitado en términos geográficos, ya que sus estudios se centran en áreas costeras y, por ende, abordan de manera específica el riesgo de inundación, sin considerar otros tipos de amenazas climáticas.

Además, la mayoría de los estudios revisados relacionados a los sitios de disposición se enfocan en los impactos que los sitios generan en el medio ambiente y cómo contribuyen al cambio climático. Sin embargo, no incorporan explícitamente mecanismos asociados a los efectos del cambio climático en los sitios de disposición de manera preventiva.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la limitación de los enfoques tradicionales para considerar múltiples factores de riesgos de manera simultánea. Por ejemplo, el estudio de Neuhold y Nachtnebel (2011) considera solo inundaciones o impactos ambientales generales, sin incluir el efecto acumulativo de los fenómenos extremos intensificados por el cambio climático. De manera similar, el estudio de Arrieta et al., (2016) presenta la metodología EVIAVE, que se basa en un análisis causa-efecto para cuantificar, mediante índices, el impacto ambiental

de los sitios de disposición en función de su ubicación y características operativas. Aunque esta metodología resulta efectiva para el monitoreo y control ambiental de los rellenos sanitarios, no considera eventos extremos ni el cambio climático entre sus variables, lo que limita su aplicabilidad en contextos donde estos fenómenos son cada vez más frecuentes e intensos.

**Tabla 6.**

Modelos conceptuales de riesgo aplicables a sitios de disposición de residuos.

Referencia	Jones, 2001	Neuhold & Nachtnebel, 2011	Butt et al., 2016
<b>Objetivo</b>	Creación de un marco de evaluación/gestión de riesgos ambientales adaptado a la incertidumbre en proyecciones climáticas.	Evaluar cualitativamente el riesgo de inundación y los impactos en sitios de disposición.	Desarrollo de un marco conceptual para evaluar la exposición a lixiviados en rellenos sanitarios y sus impactos ambientales.
<b>Modelo conceptual de riesgo</b>	$R = P \times C$	$R = P \times C$	$R = P \times C$
<b>Amenaza analizada</b>	-	Riesgo de inundación.	Generación de lixiviados.
<b>Enfoque</b>	Marco de evaluación y gestión de riesgos medioambientales para evaluar los efectos del cambio climático en unidades de exposición.	Potencial contaminación ambiental debido eventos de inundación en sitios de disposición de residuos sólidos.	Riesgos asociados a todas las etapas del ciclo de vida de los sitios de disposición de residuos sólidos.
<b>Limitaciones</b>	Falta de metodología establecida y la alta incertidumbre en escenarios climáticos.	Escasa disponibilidad de datos. Incertidumbres significativas asociadas al enfoque cualitativo presentado.	Falta de integración entre disciplinas y escasez de datos en ciertas etapas del ciclo de vida del sitio de disposición. Se señala la necesidad de métodos más precisos para la agregación de riesgos.

*Fuente: Jones, 2001; Neuhold & Nachtnebel, 2011; Butt et al., 2016.*

Esta brecha resulta particularmente relevante en el contexto de la Región del Biobío, donde los efectos del cambio climático son cada vez más evidentes. La ausencia de un modelo que combine la evaluación del riesgo ante eventos extremos con las características propias de los sitios de disposición reduce la capacidad de anticipación y adaptación de estas infraestructuras frente a escenarios futuros.

No obstante, los modelos revisados presentan un potencial considerable para ser adaptados a las condiciones locales, especialmente en la caracterización de amenazas como inundaciones, incendios y deslizamientos de tierra. Entre ellos, el modelo de *Probabilidad por Consecuencia* ( $R=P \times C$ ) destaca como uno de los más utilizados para evaluar riesgos asociados a los sitios de disposición, así como para analizar riesgos relacionados con el cambio climático. Esto lo convierte en un candidato idóneo para su implementación en la presente investigación.

Además, es importante incorporar elementos de otros modelos que han comenzado a integrar la capacidad de preparación o respuesta (Simpson et al., 2021) de los sitios ante los riesgos identificados. Esta dimensión adicional permite evaluar no solo las amenazas y consecuencias, sino también la capacidad de las infraestructuras para resistir y recuperarse frente a eventos extremos, proporcionando una visión más integral para la gestión del riesgo.

**Tabla 7.**

Modelos conceptuales de riesgo aplicables a sitios de disposición de residuos.

Referencia	Arrieta et al., 2016	Kumar & Reddy, 2020	Simpson et al., 2021
<b>Objetivo</b>	Adaptar la metodología EVIAVE para el monitoreo y seguimiento del impacto ambiental de sitios de disposición.	Evaluar los impactos del cambio climático en la remediación de sitios contaminados y desarrollar estrategias resilientes.	Propuesta de un marco para evaluar riesgos ante eventos extremos mediante la interacción entre múltiples factores de riesgos.

<b>Modelo de evaluación de riesgo</b>	<b>Modelo EVIAVE Análisis causa-efecto</b>	<b>V = E x S</b>	<b>R = A x E x V (CR)</b>
<b>Amenaza analizada</b>	-	Tormentas, huracanes, inundaciones, precipitaciones extremas.	-
<b>Enfoque</b>	Impactos ambientales del tratamiento y eliminación final de residuos sólidos urbanos.	Impactos del cambio climático en sitios ubicados junto a regiones costeras y ecuatoriales.	Categorías de riesgos del cambio climático.
<b>Limitaciones</b>	El modelo original no considera flora y fauna como elementos que pueden verse afectados, ni el riesgo ambiental (R = A x V). Se enfoca en probabilidad de contaminación de distintos medios ambientales.	Falta de modelos específicos para el cambio climático en diseño de remediación. Desafíos en la disponibilidad de datos precisos.	Los enfoques tradicionales fragmentan los riesgos; se requieren evaluaciones multirriesgo.

---

*Fuente: Arrieta et al., 2016; Kumar & Reddt, 2020; Simpson et al., 2021.*

Es importante recordar que los riesgos resultan de la interacción de la amenaza, la vulnerabilidad, y la exposición, según la ecuación clásica o tradicional, manejada por Científicos de la Unión Europea (Rojas y Martínez, 2012) (*Tabla 1*):

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición} \quad \text{Ec.1}$$

Por otro lado, el modelo conceptual resultante para este estudio se ha definido como:

$$\text{Riesgo} = (\text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}) / (\text{Capacidad de preparación} / \text{Factor CC}) \quad \text{Ec.2}$$

La selección de este modelo se debe a que permite una interpretación más directa del riesgo ya que sintetiza elementos de amenaza, vulnerabilidad y exposición dentro de la evaluación de la probabilidad y la magnitud del impacto, contrario a lo que se observa en el modelo clásico (Ec. 1). En el contexto de esta investigación, los riesgos asociados a eventos extremos en los sitios de disposición dependen tanto de la probabilidad de ocurrencia de fenómenos climáticos extremos como de sus consecuencias.

El modelo favorece una evaluación más integral del problema, facilitando la identificación de estrategias de prevención, mitigación y adaptación al destacar la Capacidad de Preparación (CP) como un factor determinante en la reducción del impacto de eventos extremos. Al incorporar CP en el denominador de la ecuación (Ec. 2), se enfatiza que un mayor nivel de preparación disminuye significativamente los efectos de las amenazas y vulnerabilidades, fortaleciendo la resiliencia. Además, modelos similares han sido aplicados en evaluaciones de riesgos ante eventos extremos, particularmente en estudios que incorporan la capacidad de respuesta como un elemento esencial en la reducción del impacto (Simpson et al., 2021).

Por otro lado, a partir de resultados preliminares, se ha incorporado el Factor de Cambio Climático (FC), ya que permite asignar un mayor peso a los efectos del cambio climático. Esta inclusión resulta especialmente relevante en emplazamientos donde la capacidad de preparación ante eventos extremos es alta, pero el CC no ha sido considerado como un factor determinante en la planificación futura. En este contexto, a mayor integración del CC en las medidas de prevención, adaptación y mitigación, la CP se mantiene elevada. Sin embargo, si el CC es subestimado en la planificación, CP disminuiría progresivamente, al no alinearse con las proyecciones y desafíos climáticos futuros.

En este modelo, el riesgo se define como la probabilidad de que se produzca un evento no deseado y los impactos que genere dicho evento con relación a la capacidad del sistema para enfrentar, gestionar y superar las condiciones adversas en el corto y mediano plazo (CR<sup>2</sup>, 2018).

En relación con el modelo propuesto (*Ec.2*), las tres dimensiones principales del modelo tradicional (*Ec.1*) se corresponden con estos factores de la siguiente manera:

**Tabla 8.**

Correlación entre modelo propuesto y modelo clásico.

<b>Modelo propuesto</b>	<b>Modelo tradicional</b>	<b>Relación</b>
Probabilidad	Amenaza	Refleja la probabilidad de que un evento o peligro ocurra en un momento y lugar específicos.
Consecuencia	Vulnerabilidad Exposición	Se relaciona con los efectos. La exposición determina qué elementos se encuentran en riesgo, mientras que la vulnerabilidad refleja qué tan afectados podrían estar esos elementos.
Capacidad de preparación	Vulnerabilidad	Vulnerabilidad es, esencialmente, la falta de capacidad de adaptación de un sistema a la exposición a los peligros potenciales. Cuanto mayor sea la capacidad de preparación o adaptación, menor será la vulnerabilidad del emplazamiento al impacto del cambio climático.

*Fuente: Rojas y Martínez, 2012; CR2, 2018; Kumar y Reedy, 2020.*

En este contexto, en el modelo propuesto para la investigación, se asocia la probabilidad con la ocurrencia previa de amenazas. Los indicadores climáticos vinculados al CC, específicos de los sitios de disposición, entregarán la variación de la probabilidad de ocurrencia. Por otro lado, las consecuencias se vinculan a la superación de los límites del relleno sanitario frente a los efectos de las amenazas. Estas relaciones se categorizan según las *tablas 9 y 10* respectivamente.

**Tabla 9.**

Categorías en el análisis del nivel probabilidad de las amenazas.

<b>Estratificación</b>		<b>Descripción</b>
<b>Muy probable</b>	5	Ocurre más de una vez por año
<b>Bastante probable</b>	4	Ocurre una vez entre 1 y 10 años
<b>Probable</b>	3	Ocurre una vez entre 10 y 50 años

<b>Poco probable</b>	2	Ocurre una vez entre 50 y 100
<b>Improbable</b>	1	Ocurre cada 100 y más años

*Fuente: Subdere, 2011.*

**Tabla 10.**

Categorías en el análisis del nivel de consecuencias.

<b>Estratificación</b>		<b>Descripción</b>
<b>Muy alta</b>	5	Los efectos esperados en la componente son observables en la interrupción discontinua del servicio (a lo más una semana). Los efectos superan los límites operativos del sistema y se ven acompañados por impactos negativos significativos.
<b>Alta</b>	4	Los efectos esperados en la componente se observan en la interrupción temporal (minutos, horas) o discontinua del servicio. Los efectos superan los límites operativos del sistema, sin embargo, no existen impactos negativos significativos en los alrededores.
<b>Media</b>	3	Los efectos esperados en la componente se observan en la interrupción temporal o discontinua del servicio, sin embargo, los efectos se mantienen dentro de los límites operativos del sistema.
<b>Baja</b>	2	Los efectos esperados en la componente son observables en la interrupción temporal del servicio. No se observan efectos negativos.
<b>Muy baja</b>	1	El sistema funciona sin interrupciones. No se observan efectos negativos.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Subdere, 2011.*

La capacidad de preparación se define como un indicador compuesto por diversas subdimensiones. Entre las subdimensiones se incluyen: manejo de riesgos hidrológicos, de riesgos de remoción en masa y de riesgo de incendios. Asimismo, la gestión y mantenimiento de los sitios de disposición se establece para reforzar las subdimensiones anteriores (*Tabla 11*). La capacidad de preparación ante el manejo de riesgos y con relación a la gestión y mantenimiento de los sitios, se categorizan según las *Tablas 12 y 13*, respectivamente.

**Tabla 11.**

Subdimensiones de la capacidad de preparación.

<b>Subdimensión</b>	<b>Descripción</b>
Manejo de riesgos hidrológicos	Planes de prevención de contingencias y de emergencias. Adaptación de medidas de prevención a efectos del cambio climático. Frecuencia de actualización planes de prevención. Pruebas y simulacros de planes de prevención. Capacitación del personal respecto a riesgos hidrológicos.
Manejo de riesgos de remoción en masa/deslizamiento de residuos	Planes de prevención de contingencias y de emergencias. Adaptación de medidas de prevención a efectos del cambio climático. Frecuencia de actualización planes de prevención. Pruebas y simulacros de planes de prevención. Capacitación del personal respecto a riesgos de remoción en masa. Frecuencia de compactación y recubrimiento diario de residuos.
Manejo de riesgo de incendios	Planes de prevención de contingencias y de emergencias. Adaptación de medidas de prevención a efectos del cambio climático. Frecuencia de actualización planes de prevención. Pruebas y simulacros de planes de prevención. Capacitación del personal respecto a riesgo de incendios. Presencia de materiales inflamables en el área del proyecto.
Gestión y mantenimiento	Frecuencia de inspección y mantenimiento del sistema de intercepción de escorrentía superficial. Frecuencia de mantenimiento del sistema de control de lixiviados. Frecuencia de mantenimiento del sistema de control y manejo de biogás. Frecuencia rotación de personal. Integración al diseño de nuevas obras la resiliencia ante el cambio climático. Capacitación del personal en materia de cambio climático.

*Fuente: Elaboración propia a partir de Tchobanoglous et al., 1982; Tchobanoglous & Kreith, 2002; Minsal, 2008; SEA, 2023.*

Para el análisis del nivel de preparación ante manejo de riesgos, se consideraron cuatro criterios a cumplir en los planes de contingencias y emergencias:

- Los planes consideran los efectos del cambio climático.
- Los planes son sometidos a simulacros.
- Los planes se actualizan en períodos menores o igual a 5 años.
- Los planes cuentan con capacitación para el personal con respecto a los riesgos de las instalaciones y ante eventos climáticos extremos.

**Tabla 12.**

Categorías en el análisis del nivel de capacidad de preparación ante manejo de riesgos.

Estratificación		Descripción
<b>Muy alta</b>	5	El relleno sanitario presenta planes de contingencias y emergencias que cumplen con los cuatro criterios.
<b>Alta</b>	4	El relleno sanitario presenta planes de contingencias y emergencias que cumplen con tres de los cuatro criterios establecidos.
<b>Media</b>	3	El relleno sanitario presenta planes de contingencias y emergencias que cumplen con dos de los cuatro criterios establecidos.
<b>Baja</b>	2	El relleno sanitario presenta planes de contingencias y emergencias que cumple con uno de los cuatro criterios establecidos.
<b>Muy baja</b>	1	El relleno sanitario no presenta planes de contingencias y emergencias.

*Fuente: Elaboración propia.*

Para el análisis del nivel de preparación con relación a la gestión y mantenimiento de los sitios de disposición, se consideraron dos criterios a cumplir respecto al personal:

- La rotación del personal se mantiene estable, contribuyendo a la experiencia de este y un mejor manejo ante los riesgos presentes.

- El personal se encuentra capacitado en materia de cambio climático.

**Tabla 13.**

Categorías en el análisis del nivel de capacidad de preparación con relación a gestión y mantenimiento.

Estratificación		Descripción
<b>Muy alta</b>	5	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente al sistema de intercepción de escorrentía superficial, al sistema de control de lixiviados y al sistema de control de biogás. El personal cumple con los dos criterios establecidos. Se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.
<b>Alta</b>	4	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente a los tres sistemas. El personal cumple con al menos uno de los criterios establecidos. Se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.
<b>Media</b>	3	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente a al menos dos de los sistemas. El personal cumple con al menos uno de los criterios establecidos. No se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.
<b>Baja</b>	2	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente a al menos dos de los sistemas. El personal no cumple con ninguno de los criterios establecidos. No se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.
<b>Muy baja</b>	1	No se realiza inspección y mantenimiento frecuente los sistemas. La rotación de personal no se mantiene estable y estos no se encuentran capacitados en materia de cambio climático. No se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.

*Fuente: Elaboración propia.*

Dado que la capacidad de preparación es un indicador de construcción propia, su diseño considera la integración de criterios relevantes identificados en la literatura, así como aportes obtenidos a través de la validación con expertos. Su estructura se adapta a las particularidades de los sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío, asegurando su pertinencia y aplicabilidad en el contexto de esta investigación.

El factor de cambio climático se define como el factor de incorporación del cambio climático en las medidas asociadas a la capacidad de preparación de los sistemas. Su relación con CP es inversamente proporcional: mientras mayor sea FC, menor será CP (*Tabla 14*).

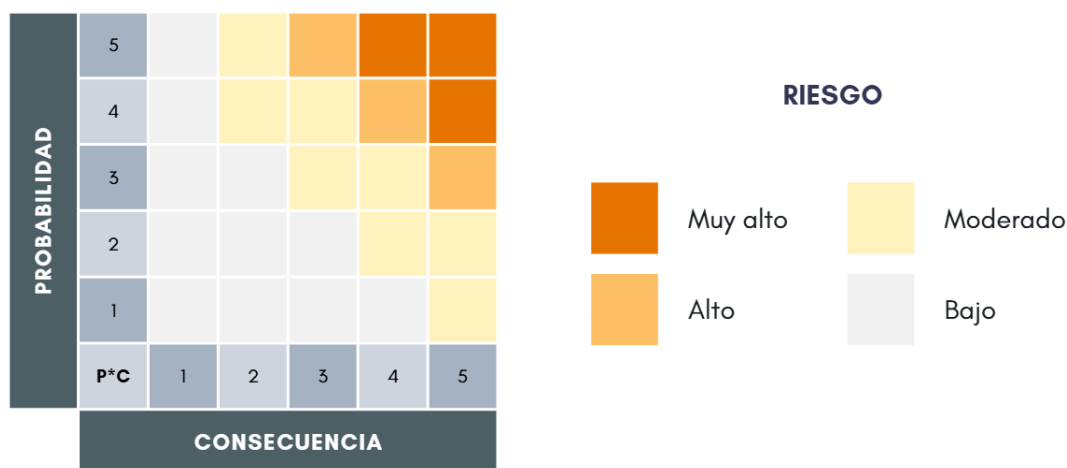
**Tabla 14.**

Categorías en el análisis del factor de cambio climático.

Estratificación		Descripción
<b>Alta</b>	2	No se incorporan los efectos del cambio climático en las medidas de prevención, adaptación y mitigación del relleno sanitario.
<b>Baja</b>	1	Se incorporan los efectos del cambio climático en las medidas de prevención, adaptación y mitigación del relleno sanitario.

*Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente, la estratificación del nivel riesgo se establece a partir de la *Figura 8*, contenida en la Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial (2011). Esta matriz propone un enfoque cualitativo para el análisis del riesgo mediante la asociación de la probabilidad y las consecuencias. Una vez definidos los escenarios de amenaza, se procede a analizar el comportamiento de los sistemas frente a estas, lo que permite avanzar hacia la elaboración de la tabla de análisis.



**Figura 8.** Matriz de riesgo.

*Fuente: Subdere, 2011.*

## **2. Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.**

### **2.1. Escenarios de riesgo de los sitios de disposición y cambio climático.**

Para evaluar los escenarios de riesgo en los sitios de disposición de residuos sólidos, se llevó a cabo una revisión de las principales amenazas a diferentes escalas: provincial, comunal y a nivel de estudios específicos. Este análisis permitió identificar los factores de riesgo asociados a eventos extremos y su relación con el cambio climático.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los sitios de disposición estudiados, considerando su ubicación, contexto ambiental y las amenazas identificadas.

#### **2.1.1. Relleno Sanitario Cemarac**

La provincia de Concepción está expuesta a diversos riesgos de desastres, tanto de origen natural como antrópico, entre ellos incendios forestales, inundaciones, anegamientos, tsunamis y remoción en masa (GORE Biobío, 2024).

Según el Plan Regulador Comunal de Penco (2005), los principales riesgos están asociados a los procesos de remoción en masa, especialmente en el área rural. Esto se debe a la cobertura vegetal y el uso predominante del suelo, que en el borde urbano es mayormente silvícola, lo que brinda escasa protección a las laderas durante su crecimiento. Además, se identifican inundaciones fluviales, que ocurren de manera episódica en sectores cercanos a canales, ríos y esteros, principalmente en invierno. También se registra un alto riesgo de anegamiento en las llanuras aluviales que bordean los esteros, debido a la intensidad de las precipitaciones y la limitada capacidad del suelo para infiltrar el agua. Finalmente, Penco, al ser una comuna preferentemente forestal, presenta un alto riesgo de incendios, el cual se intensifica en la temporada estival dadas las condiciones climáticas de la época.

Aunque la localidad presenta riesgo de inundación, el Estudio de Impacto Ambiental (2003) del relleno sanitario señala que la superficie no está expuesta a la eventualidad de inundaciones producto de crecidas o escurrimientos superficiales importantes. Esto debido a la ausencia de cuerpos de agua superficiales cercanos y a la inclinación del terreno, que impide el almacenamiento de aguas pluviales. Además, no se identifican resurgimientos ni vertientes en las proximidades del sitio.

Respecto a la erosión y remoción en masa, el mismo estudio indica que no existen riesgos asociados, ya que la zona cuenta con una baja disponibilidad de agua de escorrentía superficial y carece de pendientes que favorezcan el arrastre de materiales o el desprendimiento de rocas. El riesgo de incendios forestales no se menciona, lo que podría representar una omisión importante considerando las características de la comuna.

Es importante destacar que la información presentada en el Estudio de Impacto Ambiental no considera los efectos del cambio climático, lo que podría modificar drásticamente los escenarios de riesgo que fueron evaluados en el momento de la aprobación del proyecto.

Según el Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClím), las proyecciones para el futuro mediano (2035-2065), basadas en datos históricos (1980-2010), indica que, bajo un escenario pesimista de emisiones de gases con efecto invernadero (RCP8.5), la comuna de Penco experimentaría un aumento de 1.43°C en la temperatura máxima diaria promedio. Este incremento sería más pronunciado en verano (+1.56°C), cuando la combinación de una estación seca más prolongada (+17% respecto a la referencia histórica), el aumento de las olas de calor (con aproximadamente 24 días adicionales sobre los 25°C en temporada estival) y la presencia de plantaciones, elevaría significativamente el riesgo de incendios forestales.

Por otro lado, en cuanto a precipitaciones máximas, se proyecta una disminución en época invernal (-2.71% respecto a la referencia histórica). Como consecuencia, el riesgo de

inundaciones y anegamientos disminuiría, y a su vez el riesgo de remoción en masa por precipitaciones intensas. A modo resumen, la interacción entre las amenazas y el cambio climático puede evidenciarse en la *Tabla 15*.

**Tabla 15.**

Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario Cemarc.

Amenaza	Grado de asociación con el cambio climático	Hipótesis de cambio		
		Frecuencia	Magnitud	Estacionalidad
Inundaciones	Directa/fuerte	+/-	+/-	-
Remoción en masa	Indirecta/débil	+/-	+/-	n/a
Incendios forestales	Directa/fuerte	+	+	+

*Fuente: ARCLim, 2025.*

Se estima que la frecuencia y magnitud del riesgo de inundaciones y remociones en masa se mantendrían (+/-), con una leve tendencia a la disminución. En el caso de las inundaciones, no se observa variación en la estación en que habitualmente ocurre la amenaza (-). En contraste, el riesgo de incendios aumentaría tanto en frecuencia como en magnitud (+), con una extensión de la temporada de incendios más allá del verano, lo que indicaría una mayor variabilidad en su estacionalidad (+).

### 2.1.2. Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue

La provincia de Arauco presenta una fuerte recurrencia histórica respecto a diversas amenazas, tanto naturales como antrópicas. Entre ellas, los incendios forestales constituyen una de las principales, debido a las condiciones climáticas favorables para su propagación y la presencia de extensas áreas forestales (MININTERIOR, 2023a).

Según el Plan Regulador Comunal de Curanilahue (2013), la comuna se encuentra en una zona de relieves elevados, caracterizados por la geomorfología de la Cordillera de la Costa, compuesta

por cordones graníticos y geoformas de plataforma litoral. En esta área, se ha identificado el riesgo de remoción en masa, cuyo principal factor detonante es la exposición de las laderas a precipitaciones intensas, aunque también puede desencadenarse por sismos de gran magnitud. En contraste, las zonas de relieve bajo corresponden al valle fluvial del río Curanilahue. Esta configuración hidrográfica explica las situaciones de riesgo de inundación fluvial, especialmente en sectores históricamente afectados. Además de los peligros naturales, se identifican riesgos asociados a actividades antrópicas, como los incendios forestales, debido a la intensa ocupación de plantaciones forestales en los relieves altos de la comuna.

El Informe Consolidado de la Evaluación (2003) del Estudio de Impacto Ambiental “Relleno Sanitario Intercomunal Arauco Curanilahue”, señala que el sitio de disposición se emplaza en una plataforma elevada, sin afluentes de escurrimiento superficial y fuera de zonas con peligro de inundaciones. Asimismo, el documento indica que el sitio no se localiza en áreas con fallas geológicas, ni dentro de zonas de riesgo geológico como deslizamientos, derrumbes o avalanchas. Por lo tanto, no existiría la posibilidad de verse afectado por crecidas o escurrimientos superficiales. El informe no menciona el riesgo de incendios forestales, a pesar de que se encuentra en una concentrada área de actividad forestal.

La identificación de riesgos del proyecto se realizó sin consideración de los efectos del cambio climático, lo que podría modificar sustancialmente los escenarios que fueron previstos al momento de su aprobación.

De acuerdo con ARCLim, bajo un escenario pesimista de emisiones (RCP8.5), se proyecta que la comuna de Curanilahue experimentará un incremento de 1.35°C en la temperatura máxima diaria promedio. Este aumento sería más pronunciado en verano (+1.48°C), cuando la combinación de una estación seca más prolongada (+17% respecto a la referencia histórica), el aumento de las olas de calor (con aproximadamente 14 días adicionales sobre los 25°C en

temporada estival) y la alta presencia de plantaciones elevarían significativamente el riesgo de incendios forestales.

En cuanto a las precipitaciones máximas, se proyecta un leve aumento del 1.04% respecto a la referencia histórica en época invernal. Como resultado, el riesgo de inundaciones y anegamientos podría incrementarse ligeramente, lo que a su vez podría intensificar los procesos de remoción en masa por efecto de precipitaciones intensas. A modo resumen, la interacción entre las amenazas y el cambio climático puede evidenciarse en la *Tabla 16*.

**Tabla 16.**

Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue.

Amenaza	Grado de asociación con el cambio climático	Hipótesis de cambio		
		Frecuencia	Magnitud	Estacionalidad
Inundaciones	Directa/fuerte	+/-	+/-	-
Remoción en masa	Indirecta/débil	+/-	+/-	n/a
Incendios forestales	Directa/fuerte	+	+	+

*Fuente: ARCLim, 2025.*

Se estima que la frecuencia y magnitud del riesgo de inundaciones y remociones en masa se mantendrían (+/-), con una leve tendencia a aumentar. En el caso de las inundaciones, no se observa variación en la estación en que habitualmente ocurre la amenaza (-). En contraste, el riesgo de incendios aumentaría tanto en frecuencia como en magnitud (+), con una extensión de la temporada de incendios más allá del verano, lo que indicaría una mayor variabilidad en su estacionalidad (+).

### 2.1.3. Relleno Sanitario de Los Ángeles

La provincia del Biobío no queda exenta de las amenazas en la región. Considerando que se encuentra ubicada entre la depresión central y la cordillera principal, se encuentra expuesta a amenazas de tipo antrópico y natural (MININTERIOR, 2023b).

El Plan Provincial de Emergencia (2023) señala que, debido a la alta cobertura vegetal, la presencia de plantaciones forestales y la variabilidad climática extrema en la provincia, existe una alta exposición a incendios forestales, especialmente durante el verano. En esta temporada, las altas temperaturas, la baja humedad y la sequía en algunas zonas favorecen la generación y propagación de estos eventos. En contraste, durante el invierno, la provincia puede verse afectada por otros tipos de amenazas, como inundaciones por desbordes fluviales. Las comunas cercanas a cuerpos de agua son las más vulnerables, ya que el aumento del caudal puede provocar anegamientos severos. Estos eventos pueden, a su vez, dar paso a remociones en masa.

El Plan Regulador Comunal de Los Ángeles (2005) refuerza estos antecedentes al indicar que, debido a las características morfométricas y topográficas del territorio, el riesgo de deslizamientos y derrumbes es bajo. Sin embargo, la comuna presenta una mayor susceptibilidad a inundaciones, atribuida a su extensa red hidrográfica y a la presencia de sectores con napas freáticas superficiales.

El riesgo de anegamiento en la comuna de Los Ángeles está directamente asociado a dos factores: la presencia de la napa freática superficial; y la existencia de afloramientos laháricos, que provoca la acumulación natural del agua lluvia, especialmente en áreas de baja pendiente.

En cuanto a los incendios forestales, la alta probabilidad de ocurrencia de debe a la combinación de dos factores. Un factor físico, relacionado a las condiciones climáticas de la comuna, como son la existencia de una prolongada estación seca, las altas temperaturas estivales y la alta absorción de calor de los suelos arenosos, unido al predominio de vientos fuerte de sur favorecen

la ocurrencia de incendios forestales. Y la existencia en la comuna de una importante masa de plantaciones forestales, que constituyen en su conjunto, riesgo de incendios de grandes proporciones.

El Estudio de Impacto Ambiental (2002) señala que el sitio de disposición se emplaza en una plataforma elevada con un desnivel de a lo menos 12 metros, sin afluentes de escurrimiento superficial y fuera de zonas con peligro de inundaciones. Asimismo, el documento indica que a lo anterior se le agrega la ausencia de un relieve superior que pueda aportar materiales de arrastre y desprendimiento, localizando el proyecto fuera de zonas de riesgo de deslizamientos. El estudio no menciona el riesgo de incendios forestales, a pesar de la fuerte presencia de plantaciones en el entorno.

La identificación de riesgos se realizó sin consideración de los efectos del cambio climático, lo que podría modificar sustancialmente los escenarios que fueron previstos en el momento de su aprobación.

Según ARCLim, bajo un escenario pesimista de emisiones (RCP8.5), se proyecta que la comuna de Los Ángeles experimentará un incremento de 1.64°C en la temperatura máxima diaria promedio. Este aumento sería más pronunciado en verano (+1.89°C), cuando la combinación de una estación seca más prolongada (+16% respecto a la referencia histórica), el aumento de olas de calor (+30 días sobre los 25°C en temporada estival) y la amplia cobertura de plantaciones forestales elevarían significativamente el riesgo de incendios. Cabe destacar que, a diferencia de las zonas (mayormente costeras) analizadas previamente, Los Ángeles se encuentra en una zona más interior del país, lo que contribuye a un aumento más marcado tanto en la temperatura como en la frecuencia de olas de calor.

Por otro lado, en cuanto a precipitaciones máximas, se proyecta una reducción del 1.18% en invierno, lo que disminuiría el riesgo de inundaciones y anegamientos. Como consecuencia, se

reduciría el riesgo de remoción en masa asociado a precipitaciones intensas. A modo resumen, la interacción entre las amenazas y el cambio climático puede evidenciarse en la *Tabla 17*.

**Tabla 17.**

Amenazas y cambio climático, Relleno Sanitario de Los Ángeles.

Amenaza	Grado de asociación con el cambio climático	Hipótesis de cambio		
		Frecuencia	Magnitud	Estacionalidad
Inundaciones	Directa/fuerte	+/-	+/-	-
Remoción en masa	Indirecta/débil	+/-	+/-	n/a
Incendios forestales	Directa/fuerte	+	+	+

*Fuente: ARClím, 2025.*

Se estima que la frecuencia y magnitud del riesgo de inundaciones y remociones en masa se mantendrían (+/-), con una leve tendencia a la disminución. En el caso de las inundaciones, no se observa variación en la estación en que habitualmente ocurre la amenaza (-). En contraste, el riesgo de incendios aumentaría tanto en frecuencia como en magnitud (+), con una extensión de la temporada de incendios más allá del verano, lo que indicaría una mayor variabilidad en su estacionalidad (+).

## 2.2. Evaluación del riesgo.

### 2.2.1. Herramienta de consulta a expertos.

Para obtener los indicadores de las variables del modelo conceptual propuesto para la investigación (probabilidad, consecuencia y capacidad de preparación) en los sitios de disposición de residuos sólidos, se diseñó y validó una herramienta de consulta a expertos en forma de entrevista estructurada (*Anexo 2*), que se desarrolló en dos secciones, diferenciadas según el perfil del entrevistado.

Las preguntas fueron diseñadas en torno a las principales amenazas identificadas en las áreas de estudio y se incorporaron aspectos relacionados con la gestión y mantenimiento de los rellenos sanitarios, con el propósito de obtener una visión integral de su operación y resiliencia ante escenarios climáticos adversos.

### 2.2.2. Probabilidad de ocurrencia y consecuencias.

Para evaluar la probabilidad de ocurrencia y consecuencias de las amenazas de cada relleno, se realizaron entrevistas a la autoridad sanitaria responsable de la fiscalización de los sitios de disposición (Seremi de Salud), así como a representantes de los rellenos sanitarios activos en la Región del Biobío.

Como resultado de lo anterior, en conjunto a la revisión de los antecedentes de cada relleno (Snifa), se obtuvo lo siguiente (*Tabla 18*):

**Tabla 18.**

Nivel de probabilidad y consecuencias ante eventos extremos.

Relleno	Amenaza	P		C	
Cemarc	Inundaciones	3	Probable	4	Alta
	Remoción en masa	2	Poco probable	1	Muy baja
	Incendios forestales	4	Bastante probable	3	Media
Intercomunal Arauco-Curanilahue	Inundaciones	5	Muy probable	5	Muy alta
	Remoción en masa	2	Poco probable	1	Muy baja
	Incendios forestales	4	Bastante probable	1	Muy baja
Los Ángeles	Inundaciones	4	Bastante probable	2	Baja
	Remoción en masa	2	Poco probable	1	Muy baja
	Incendios forestales	4	Bastante probable	1	Muy baja

*Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas, registros en Snifa, planes reguladores.*

A continuación se encuentran los detalles pertinentes a cada resultado:

a) **Relleno Sanitario Cemarc**

**Manejo de riesgos hidrológicos:**

Tanto Seremi de Salud como el representante del relleno sanitario Cemarc indicaron que, si bien se han registrado eventos históricos de inundaciones en áreas cercanas al emplazamiento, este no se ha visto afectado de manera significativa. Atribuyen esta situación a la efectividad de los planes de manejo de emergencias implementados.

Sin embargo, una revisión detallada de los registros disponibles revela que, desde el inicio de sus operaciones en 2006, el relleno sanitario ha experimentado dos eventos en los que se superó el caudal máximo de diseño del sistema de tratamiento de lixiviado y aguas lluvia estuvieron en contacto con RSU sin tratamiento (SMA, 2017a).

Según el Snifa, en julio de 2014 se produjo el ingreso de aguas lluvias al depósito, lo que desencadenó una salida no controlada de residuos líquidos percolados. Estos escurrimientos sobrepasaron los taludes del relleno, fluyendo superficial y lateralmente fuera del área de confinamiento, aunque sin salir del perímetro del proyecto. Si bien se identificó un riesgo potencial de infiltración en el suelo y afectación de acuíferos subterráneos, este no se concretó.

Un año después, en julio de 2015, se produjo un evento similar, con escurrimiento de residuos líquidos fuera del área estanca de contención, formando una cárcava en la cara externa del dique de anclaje de la geomembrana. En esta ocasión, los residuos alcanzaron terrenos fuera de la propiedad del relleno sanitario, aunque sin generar impactos significativos en la salud de la población ni en el medio ambiente, dado el trayecto que siguió el derrame.

A pesar de la ocurrencia del evento en dos años consecutivos, se considera un hecho aislado, manteniendo su ocurrencia como “probable”. Las proyecciones de escenarios de riesgo para Penco sugieren que la probabilidad se mantendrá.

No obstante, el nivel de consecuencias puede categorizarse como “alto”, ya que, si bien no se observaron impactos negativos severos, los eventos superaron los límites del sistema de contención.

#### **Manejo de riesgos de remoción en masa (deslizamiento de residuos):**

Tanto la información recopilada en las entrevistas como los registros en el Snifa confirman que no se han reportado eventos de remoción en masa desde el inicio de las operaciones del relleno sanitario.

El Estudio de Impacto ambiental (2003) señala que el riesgo es bajo y las proyecciones futuras indican que esto podría mantenerse. En este contexto el nivel de las consecuencias se considera muy bajo.

La baja probabilidad de remoción en masa se debe, en gran medida, a lo establecido en el Decreto Supremo N° 189, que exige que los rellenos sanitarios se ubiquen en terrenos estables, sin exposición a remociones, deslizamientos o derrumbes. Además, el riesgo de deslizamiento de RSU se minimiza mediante la compactación y recubrimiento diario, garantizando la estabilidad del material depositado.

#### **Manejo de riesgo de incendios:**

Seremi de Salud advirtió que el riesgo de incendios en el área del proyecto es alto, con una frecuencia de un evento entre 1 y 10 años. Por su parte el representante del relleno indicó que el último incendio significativo ocurrió hace tres años, afectando una masa boscosa cercana al relleno.

Adicionalmente, Seremi mencionó un incidente en el que las líneas de transporte de lixiviados se vieron afectadas por un incendio, considerándose esta infraestructura crítica.

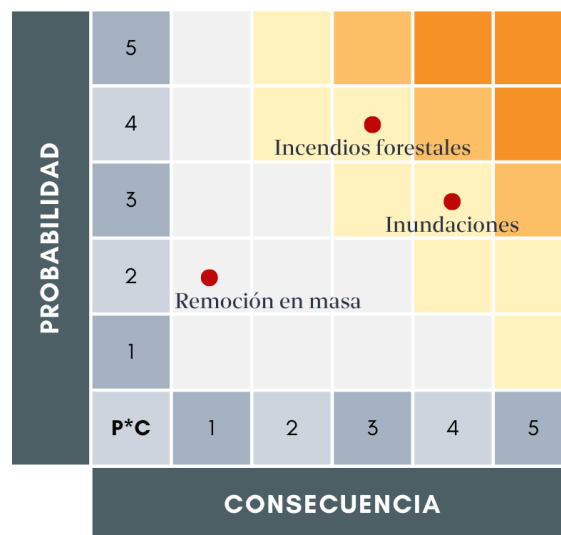
Dado el aumento proyectado de temperaturas y la prolongación de la estación seca, el riesgo de incendios forestales en la zona seguirá en ascenso. En este contexto resulta fundamental que el relleno sanitario cuente con planes de prevención y respuesta de alta capacidad.

**Gestión y mantenimiento:**

La gestión y mantenimiento de los sistemas está estrechamente relacionada con la capacidad de preparación ante las distintas amenazas analizadas, por lo que resulta relevante analizar los inconvenientes que puedan derivarse de estos procesos.

En este caso, no se registran eventos relacionados con fallas en la gestión y mantenimiento en los registros del Snifa. Tanto Seremi como el representante del relleno confirmaron que no han ocurrido problemas en estos ámbitos.

Finalmente, la matriz de probabilidad por consecuencia resultante para el Relleno Sanitario Cemarc quedaría de la siguiente manera (*Figura 9*):



**Figura 9.** Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario Cemarc.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **b) Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue**

### **Manejo de riesgos hidrológicos:**

Seremi de Salud advirtió que el riesgo de inundaciones en el área de emplazamiento es alto, con una frecuencia superior a un evento por año. Por su parte, el representante del relleno sanitario Arauco-Curanilahue indicó que los últimos eventos significativos tuvieron lugar en 2023 y 2024, aunque aclaró que estos no permiten establecer una frecuencia estadística definida.

Durante estos episodios, las intensas lluvias provocaron el sobrepaso de las celdas de disposición de residuos sólidos domiciliarios, así como el rebalse de las piscinas de tratamiento biológico y la piscina de homogenización de lixiviados. Además, los fuertes vientos asociados a estos frentes climáticos críticos generaron cortes de energía eléctrica, afectando la operación del relleno sanitario tanto en el ámbito administrativo como operacional. Adicionalmente, Seremi de Salud informó que en 2024 se produjo contaminación de las napas subterráneas en el sector, a raíz de estos eventos.

Las proyecciones climáticas para la comuna de Curanilahue indican que el riesgo de inundaciones en el relleno sanitario se mantendrá, debido a que los cambios en los patrones de precipitación son leves.

### **Manejo de riesgos de remoción en masa (deslizamiento de residuos):**

Tanto la información recopilada en las entrevistas como los registros en el Snifa confirman que no se han reportado eventos de remoción en masa desde el inicio de las operaciones del relleno sanitario, en 2015.

Por otro lado, el Informe Consolidado de Evaluación (2003) indica que el riesgo es bajo, y las proyecciones futuras sugieren que podría mantenerse. En este contexto, el nivel de las consecuencia se considera muy bajo.

La baja probabilidad de remoción en masa se debe, en gran medida, a lo establecido en el Decreto Supremo N° 189, que exige que los rellenos sanitarios se ubiquen en terrenos estables, sin exposición a remociones, deslizamientos o derrumbes. Además, el riesgo de deslizamiento de RSU se minimiza mediante la compactación y recubrimiento diario, garantizando la estabilidad del material depositado.

### **Manejo de riesgo de incendios:**

Si bien los registros del Snifa no evidencian incidentes de incendios forestales en el área del proyecto, y tanto Seremi como el representante del relleno confirmaron que no han ocurrido eventos relevantes en este ámbito, las proyecciones climáticas indican un incremento en las temperaturas y una prolongación de la estación seca, lo que aumentará la probabilidad de incendios en la zona. Además, el sitio se encuentra en un área de actividad forestal, manteniendo la probabilidad alta.

### **Gestión y mantenimiento:**

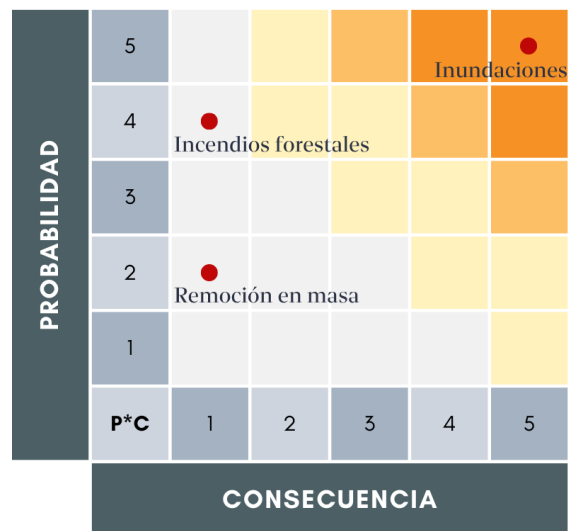
Seremi de Salud señaló que los incidentes derivados debido a fallas en la gestión y falta de mantenimiento en el área del proyecto es recurrente.

El representante del relleno mencionó que los inconvenientes presentados en 2023 y 2024, asociados a lluvias intensas, también están vinculados a deficiencias en el mantenimiento de las celdas de almacenamiento de RSU ya cerradas, ya que estas no fueron adecuadamente impermeabilizadas.

Además, los registros del Snifa evidencian un incidente similar en julio de 2015, cuando la ausencia de un sistema de recirculación de líquidos percolados y de control de nivel en la laguna de homogenización provocó un derrame no controlado de residuos líquidos. El escurrimiento se dirigió hacia un canal de aguas lluvias en un camino forestal paralelo al recinto. Este evento fue

atendido oportunamente, por lo que no se reportaron impactos negativos significativos en el medio ambiente ni en la salud de la población (SMA, 2017b).

Finalmente, la matriz de probabilidad por consecuencia resultante para el Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue quedaría de la siguiente manera (Figura 10):



**Figura 10.** Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario Arauco-Curanilahue.

*Fuente: Elaboración propia.*

**c) Relleno Sanitario de Los Ángeles**

**Manejo de riesgos hidrológicos:**

Seremi de Salud indicó que no recuerda eventos significativos en el relleno sanitario. Sin embargo, el representante del relleno sanitario de Los Ángeles señaló que en 2007 y 2024, a raíz de lluvias intensas, se observó un incremento considerable en el acopio de líquidos en las piscinas y celdas.

No se reportaron impactos negativos significativos derivados de estos eventos, ni se registraron excedencias en los límites del sistema.

Las proyecciones climáticas para la comuna de Los Ángeles indican que el riesgo de inundaciones podría mantenerse, dada la leve reducción de las precipitaciones en la zona.

### **Manejo de riesgos de remoción en masa (deslizamiento de residuos):**

Tanto la información recopilada en las entrevistas como los registros en el Snifa confirman que no se han reportado eventos de remoción en masa desde el inicio de las operaciones del relleno sanitario, en 2002.

El Estudio de Impacto ambiental (2002) señala que este riesgo es bajo, y las proyecciones futuras sugieren que eso podría mantenerse. En este contexto, el nivel de las consecuencias se considera muy bajo.

La ausencia del riesgo de remoción en masa se debe, en gran medida, a lo establecido en el D.S. N° 189, el cual exige que los rellenos sanitarios estén ubicados en terrenos estables, no expuestos a este tipo de eventos, ni a deslizamientos o derrumbes.

### **Manejo de riesgo de incendios:**

Si bien los registros del Snifa no evidencian eventos de incendios forestales, y tanto Seremi de Salud como el representante del relleno confirmaron que no han ocurrido problemas en este ámbito, las proyecciones climáticas sugieren que el aumento de temperaturas y la prolongación de la estación seca incrementarán el riesgo de incendios en la zona.

### **Gestión y mantenimiento:**

Seremi de Salud y el representante del relleno afirmaron que no han ocurrido problemas recientes en la gestión y mantenimiento.

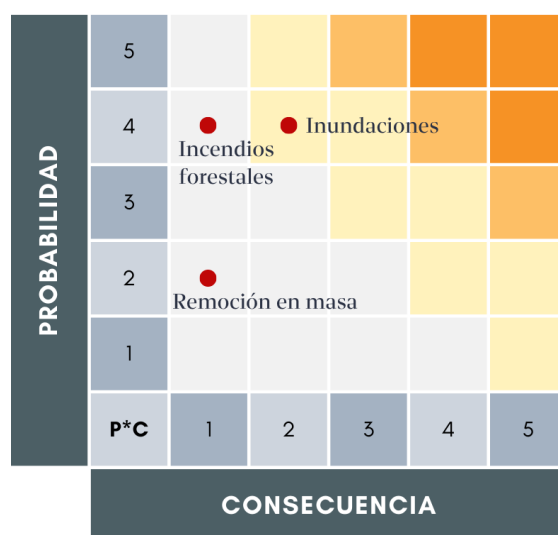
Sin embargo, los registros del Snifa evidencian que en 2014 se presentaron cargos contra el titular del relleno, debido a la falta de cobertura diaria de los residuos, lo que generó pendientes inestables con riesgo de deslizamiento. Además, se constató la ausencia de un canal perimetral

para la interceptación de aguas lluvias, lo que incrementaba el riesgo de anegamiento (SMA, 2015).

Asimismo, en 2017, se detectó que el relleno sanitario realizaba recirculación y reinyección de lixiviados crudos, incluso durante días con precipitaciones, lo que aumentaba el riesgo de rebalse de las piscinas en invierno, debido a un flujo entrante superior al flujo de diseño (SMA, 2018).

Si bien estos riesgos no se concretaron, reflejan una tendencia a incumplimientos normativos y a la sobrecarga del sistema, lo que resalta la necesidad de fortalecer el cumplimiento de la normativa vigente y mejorar las medidas de control y monitoreo.

Finalmente, la matriz de probabilidad por consecuencia resultante para el Relleno Sanitario de Los Ángeles quedaría de la siguiente manera (*Figura 11*):



**Figura 11.** Matriz probabilidad por consecuencia de las amenazas, Relleno Sanitario de Los Ángeles.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.2.3. Capacidad de preparación.

La evaluación de la Capacidad de Preparación de los sitios de disposición se realizó mediante la herramienta de entrevista previamente desarrollada, dirigida a sus representantes.

Las preguntas se estructuraron en torno a las cuatro subdimensiones establecidas en la sección anterior: manejo de riesgos hidrológicos, de riesgos de remoción en masa (deslizamiento de residuos) y de riesgo de incendios, así como la gestión y mantenimiento de los sitios de disposición. De manera transversal, se consideraron las implicaciones del cambio climático en cada uno de estos aspectos.

A continuación, se presentan los resultados por relleno sanitario, destacando los principales riesgos identificados.

**a) Relleno Sanitario Cemarc**

A través de la entrevista realizada al representante del relleno sanitario Cemarc, se evidencia que el relleno cuenta con planes de prevención de contingencias y de emergencias actualizados y adaptados al cambio climático, los cuales se someten regularmente a simulacros. Asimismo, el personal se encuentra capacitado ante todos los eventos consultados.

La gestión del relleno incorpora inspecciones y mantenimientos periódicos en infraestructura crítica (*Anexo 3*). Sin embargo, se identifica una brecha en esta dimensión debido a la alta rotación del personal, dificultando que este tenga la experiencia necesaria para hacer frente a ciertos eventos.

Con los datos recopilados, se determina que el relleno posee una muy alta o alta capacidad de preparación frente a los eventos estudiados, con una integración significativa de los efectos del cambio climático, como se muestra en la *Tabla 19*.

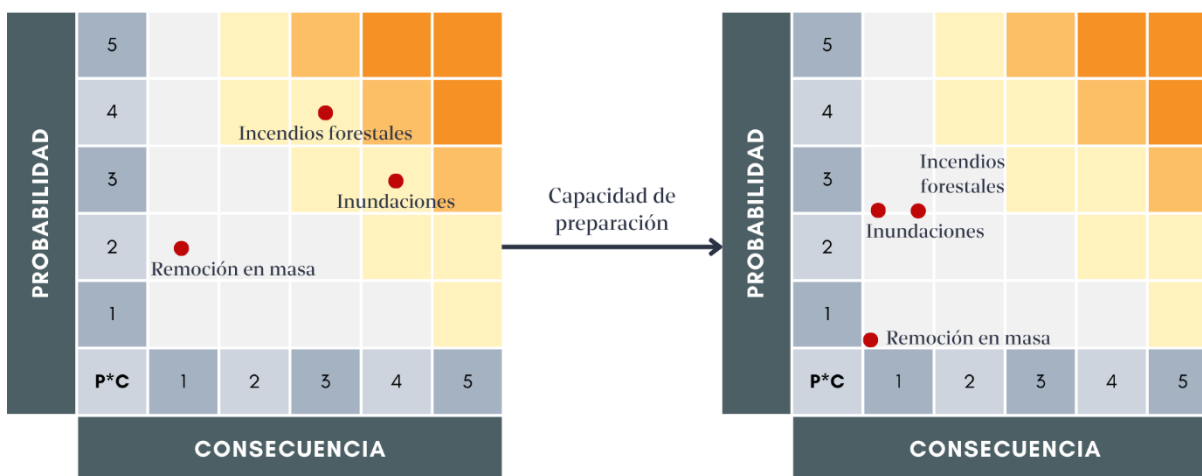
**Tabla 19.**

Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario Cemarc.

<b>Dimensión</b>	<b>Categoría CP</b>	<b>Categoría FC</b>	<b>Justificación</b>
Manejo de riesgos hidrológicos	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.
Manejo de riesgos de remoción en masa	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.
Manejo de riesgo de incendios	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.
Gestión y mantenimiento	Alta (4)	Baja (1)	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente a los tres sistemas. El personal cumple con al menos uno de los criterios establecidos. Se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.

*Fuente: Entrevista a representante de Centro de Manejo de Residuos Concepción S.A.,  
"Relleno Sanitario Cemarc"*

Los resultados obtenidos evidencian una disminución en el nivel de riesgo previamente establecido en el punto 2.2.2. En consecuencia, los riesgos se presentan de la siguiente manera (Figura 12):



**Figura 12.** Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario Cemarc.

*Fuente: Elaboración propia.*

**b) Relleno Sanitario Aruco-Curanilahue**

A partir de la entrevista realizada al representante del relleno sanitario Arauco-Curanilahue, se identificó que los planes de emergencia para inundaciones e incendios existen y son sometidos a prueba, pero a pesar de estar actualizados no incluyen medidas adaptadas a los efectos del cambio climático. Asimismo, el personal solo se encuentra capacitado para eventos de incendios, no existe una capacitación formal previa a esta investigación en temas de inundaciones.

En cuanto a los incendios, a pesar de que el relleno sanitario está físicamente rodeado por predios forestales, hasta la fecha no se han presentado emergencias. Esto debido a que existe una coordinación incorporada en el plan de emergencia con Forestal Arauco, cuya base de control de incendios se encuentra a menos de 2 km del sitio, facilitando la gestión.

Respecto a los eventos de remoción en masa, no existen planes de prevención de contingencias ni de emergencias. Dicha temática no ha sido abordada en los 8 años de funcionamiento del relleno sanitario debido a lo joven operacionalmente hablando de este, sin embargo, debido a los eventos climáticos ocurridos en la provincia de Arauco durante el 2024, se hizo visible la

necesidad de enfrentar e incluir este tipo de emergencias dentro del plan de emergencia ambiental, por lo que se encuentra en desarrollo.

La información recopilada permite determinar que el relleno sanitario posee un nivel disparaje en cuanto a las capacidades de preparación asociadas a cada evento, tal como se evidencia en la *Tabla 20*.

**Tabla 20.**

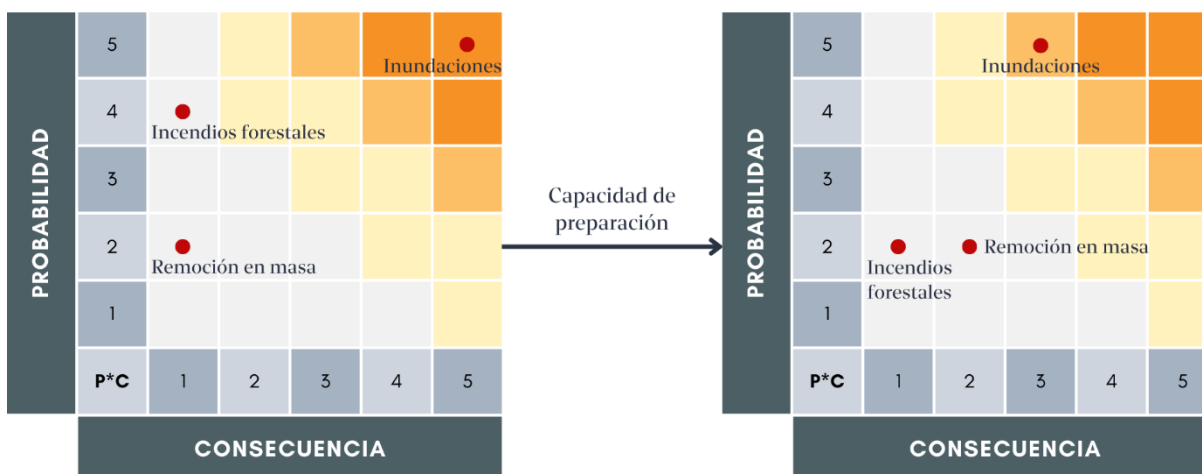
Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario Arauco-Curanilahue.

<b>Dimensión</b>	<b>Categoría CP</b>	<b>Categoría FC</b>	<b>Justificación</b>
Manejo de riesgos hidrológicos	Media (3)	Alta (2)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que cumplen con dos de los cuatro criterios establecidos.
Manejo de riesgos de remoción en masa	Muy baja (1)	Alta (2)	El relleno sanitario no presenta planes de contingencia y emergencia.
Manejo de riesgo de incendios	Alta (4)	Alta (2)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que cumplen con tres de los cuatro criterios establecidos.
Gestión y mantenimiento	Media (3)	Baja (1)	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente a al menos dos de los sistemas. El personal cumple con al menos uno de los criterios establecidos. A pesar de que se integra el cambio climático, permanece como categoría 3 debido a la frecuencia de inspección y mantenimiento, que es menor a lo esperado.

*Fuente: Entrevista a representante de Asociación de municipalidades Arauco Curanilahue "Relleno Sanitario Arauco-Curanilahue".*

Los resultados obtenidos evidencian una leve disminución en el nivel de riesgo previamente establecido para inundaciones e incendios forestales (Punto 2.2.2). No obstante, en el caso de

las remociones en masa, el riesgo muestra un aumento debido a la ausencia de planes de contingencia y emergencia, así como a la falta de consideración de los efectos del cambio climático. En consecuencia, los riesgos se presentan de la siguiente manera (Figura 13):



**Figura 13.** Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario Intercomunal Arauco-Curanilahue.

*Fuente: Elaboración propia.*

**c) Relleno Sanitario de Los Ángeles**

Según lo señalado en la entrevista por el representante del relleno sanitario de Los Ángeles, este cuenta con planes de emergencia actualizados y adaptados al cambio climático, los cuales se someten regularmente a simulacros. Asimismo, el personal se encuentra capacitado ante todos los eventos consultados.

En el sitio se realiza seguimiento periódico de todas las variables de operación mediante la certificación de las normas ISO 9001/2015, 14001/2015 y 45001/2018, considerando seguimientos diarios, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales o cada vez que ocurra un evento. Además, la baja rotación de personal permite que gracias a su experiencia, en conjunto a lo anterior, se identifiquen situaciones constitutivas de riesgo de manera oportuna, controlando y minimizando la ocurrencia de eventos de magnitud.

Se realiza de forma mensual control topográfico de asentamiento y quincenal una inspección visual de grietas y estado de diques de perimetrales, de manera que se logre detectar cualquier posible riesgo de desplazamiento de RSU o fugas de líquidos. A la vez, se realizan monitoreos diarios de niveles de piscinas y canales perimetrales.

En cuanto al manejo de riesgo de incendios, se han implementado estrategias preventivas como la disposición de acopios de tierra en distintos puntos del relleno y la disponibilidad de un cambiión aljibe equipado para la extinción de fuego.

En base a lo anterior, se logra determinar que el relleno sanitario posee una alta capacidad de preparación ante eventos extremos, incluso si estos se ven incrementados por acción del cambio climático, ya que posee planes de emergencia que contemplan todas las posibles aristas del problema (*Tabla 21*).

**Tabla 21.**

Capacidad de preparación y factor de cambio climático ante eventos extremos, Relleno Sanitario de Los Ángeles.

<b>Dimensión</b>	<b>Categoría CP</b>	<b>Categoría FC</b>	<b>Justificación</b>
Manejo de riesgos hidrológicos	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.
Manejo de riesgos de remoción en masa	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.

Manejo de riesgo de incendios	Muy alta (5)	Baja (1)	El relleno sanitario presenta planes de contingencia y emergencia que consideran los efectos del cambio climático, son sometidos a prueba y se actualizan en períodos menores o igual a 5 años. El personal se encuentra capacitado.
Gestión y mantenimiento	Muy alta (5)	Baja (1)	Se realiza inspección y mantenimiento frecuente al sistema de intercepción de escorrentía superficial, al sistema de control de lixiviados y al sistema de control de biogás. La rotación del personal se mantiene estable y se encuentra capacitado en materia de cambio climático. Se integra el cambio climático al diseño de nuevas obras.

Fuente: Entrevista a representante de KDM S.A., Relleno Sanitario de Los Ángeles.

Los resultados obtenidos evidencian una disminución en el nivel de riesgo previamente establecido en el punto 2.2.2. En consecuencia, los riesgos se presentan de la siguiente manera (Figura 14):

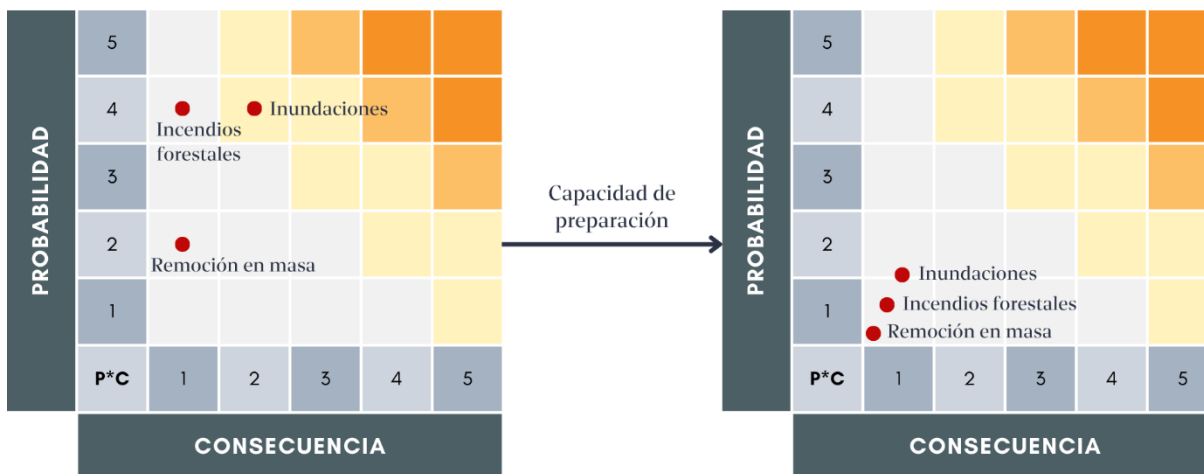


Figura 14. Riesgo antes y después de (CP/FC), Relleno Sanitario de Los Ángeles.

Fuente: Elaboración propia.

A modo de resumen, la *Tabla 22* indica la variabilidad del nivel de riesgo de los sitios de disposición ante eventos extremos, teniendo en cuenta su capacidad de preparación.

**Tabla 22.**

Variabilidad del nivel de riesgo luego de incorporación de CP.

<b>Relleno sanitario</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Variación del riesgo con CP</b>
Cemarc	Inundaciones	Disminuye significativamente
	Remoción en masa	Disminuye parcialmente
	Incendios forestales	Disminuye significativamente
Intercomunal Arauco-Curanilahue	Inundaciones	Disminuye parcialmente
	Remoción en masa	Aumenta parcialmente
	Incendios forestales	Disminuye parcialmente
Los Ángeles	Inundaciones	Disminuye significativamente
	Remoción en masa	Disminuye parcialmente
	Incendios forestales	Disminuye parcialmente

*Fuente: Elaboración propia.*

### 2.3. Jerarquización factores de riesgo.

A partir del análisis de los registros mencionados anteriormente y la información recopilada en las entrevistas, se elaboraron matrices de probabilidad por consecuencia para cada relleno sanitario. No obstante, al incorporar la capacidad de preparación ante los efectos del cambio climático como variable determinante, se observó un cambio significativo en el nivel de riesgo asociado a cada amenaza. Como resultado, se priorizaron los riesgos para cada relleno sanitario en función de esta capacidad, estableciendo un orden ajustado a las condiciones específicas de cada sitio (*Tabla 23*).

**Tabla 23.**

Priorización de los amenazas.

Relleno sanitario	Amenazas	P*C	R	(P*C)/(CP/FC)	Priorización
Cemarc	Inundaciones	12	5	2,4	Alta
	Remoción en masa	2	5	0,4	Baja
	Incendios forestales	12	5	2,4	Alta
Arauco-Curanilahue	Inundaciones	25	1,5	16,7	Alta
	Remoción en masa	2	0,5	4	Media
	Incendios forestales	4	2	2	Baja
Los Ángeles	Inundaciones	8	5	1,6	Alta
	Remoción en masa	2	5	0,4	Baja
	Incendios forestales	4	5	0,8	Media

*Fuente: Elaboración propia.*

Es importante señalar que esta priorización no se basa en el nivel de riesgo asociado, sino que está determinada por la relevancia específica para cada sitio de disposición en estudio.

Por otro lado, los factores de riesgo en los sitios de disposición, exacerbados por el cambio climático, se reducen principalmente a aquellos relacionados con los incendios forestales. En menor medida, también se consideran los factores de riesgo vinculados a las inundaciones y las remociones en masa. La jerarquización de estos factores se presenta a continuación (*Tabla 24*).

**Tabla 24.**

Jerarquización de los factores de riesgo.

Factores de riesgo	Variación con cambio climático	Jerarquización
Promedio temperatura máxima diaria	+	Alta
Olas de calor > 28°C	+	Media alta
Frecuencia de sequía	+	Media
Precipitaciones máximas diarias	+/-	Baja

*Fuente: Municipalidad de Penco, 2005; Municipalidad de Curanilahue, 2013; Municipalidad de Los Ángeles, 2005; ARCLim, 2025.*

Cabe recalcar que, si bien la variación en las precipitaciones máximas diarias no es significativa, se observa una ligera tendencia a la disminución en las comunas de Penco y Los Ángeles, mientras que en la comuna de Curanilahue la tendencia apunta a un leve aumento.

### **3. Proponer lineamientos para la reducción del riesgo de desastres en los sitios de disposición de la Región del Biobío ante escenarios de cambio climático.**

A partir del análisis de los registros históricos, evaluaciones técnicas y entrevistas a los representantes de los rellenos sanitarios Cemar, Arauco-Curanilahue y Los Ángeles, se identificaron diversas problemáticas críticas.

Uno de los principales desafíos es que la evaluación de riesgos ante eventos extremos debe ser un proceso dinámico y en constante actualización, ya que los factores de riesgo pueden evolucionar e interactuar entre sí, modificando las condiciones de vulnerabilidad de los rellenos sanitarios.

En los rellenos sanitarios Cemar y Arauco-Curanilahue, se ha evidenciado que eventos hidrometeorológicos extremos, como precipitaciones intensas, han provocado el desborde de lixiviados, lo que representa un riesgo potencial de contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas.

Asimismo, el incremento de las temperaturas, en combinación con otros factores, ha elevado el riesgo de incendios en todos los sitios de disposición, especialmente en aquellos cercanos a plantaciones forestales.

Por otro lado, en los rellenos sanitarios de Los Ángeles y Cemar, se han detectado incumplimientos normativos en la gestión de lixiviados y la cobertura de residuos, lo que aumenta el riesgo de contaminación ambiental y afecta la operación de estos sitios.

Finalmente, los problemas en materia de gestión de riesgos en el área de residuos se pueden resumir en 6 grandes ejes (*Tabla 25, Tabla 26*).

**Tabla 25.**

Enfoque de ejes propuestos.

<b>Eje</b>	<b>Enfoque</b>
1. Integración de gestión de riesgos y residuos en políticas públicas.	Preventivo
2. Evaluación y actualización de riesgos climáticos.	Preventivo
3. Gestión y mantenimiento de los sitios de disposición.	Preventivo
4. Infraestructura resiliente y manejo de riesgos hidrológicos.	Adaptativo
5. Infraestructura resiliente y manejo de riesgos de remoción en masa.	Adaptativo
6. Infraestructura resiliente y manejo de riesgo de incendios.	Adaptativo

*Fuente: Elaboración propia a partir de GORE Biobío, 2023.*

**Tabla 26.**

Lineamientos para la reducción del riesgo de desastres en los sitios de disposición de residuos sólidos en la Región del Biobío.

<b>Eje</b>	<b>Lineamientos</b>	<b>Acciones</b>	<b>Responsable</b>	<b>Plazo</b>
1. Integración de gestión de riesgos y residuos en políticas públicas.	1.1 Fortalecer la colaboración entre proyectos.	1.1.1 Actualización del nuevo reglamento con enfoque en buenas prácticas para la reducción de riesgos de desastres.	Estado	Largo plazo
		1.1.2 Establecer mesas de trabajo con actores clave de la gestión de residuos para fomentar el intercambio de buenas prácticas.	Estado	Largo plazo
2. Evaluación y actualización de riesgos ante eventos extremos.	2.1 Desarrollar un plan de adaptación ante los riesgos asociados al cambio climático.	2.1.1 Evaluación periódica del plan de adaptación, para identificación de brechas. Con actualización periódica cada 5 años o menos.	Dueño del relleno sanitario	Largo plazo
		2.1.2 Incorporar los modelos climáticos en el desarrollo de la infraestructura de los rellenos sanitarios.	Dueño del relleno sanitario	Largo plazo
	2.2 Fortalecer la capacidad de adaptación ante eventos extremos	2.2.1 Adaptar planes de emergencia considerando los escenarios climáticos proyectados.	Dueño del relleno sanitario	Mediano plazo
		2.2.2 Implementar simulacros periódicos de planes de emergencia, mínimo 2 veces al año.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
		2.2.3 Establecer protocolos de emergencia para la identificación de riesgos emergentes y respuestas rápidas.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
2.2.4 Capacitar al personal en la identificación de riesgos emergentes y respuestas rápidas.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo		
2.2.5 Propiciar la investigación para la implementación de nuevas tecnologías de manejo de RSU, ante eventos climáticos extremos.	Gobierno Regional	Mediano plazo		

3. Gestión y mantenimiento de los sitios de disposición.	3.1 Implementar planes de mantenimiento periódico y control ambiental.	de	3.1.1 Realizar auditorías internas para evaluar el estado de infraestructura crítica.	Dueño del relleno sanitario	Mediano plazo	
			3.1.2 Aplicar tecnologías de monitoreo remoto para detectar fallas en los sistemas de disposición.	Dueño del relleno sanitario	Mediano plazo	
	3.2 Asegurar el cumplimiento normativo y la actualización de planes de gestión.		3.2.1 Promover la integración de normativas climáticas en la regulación de los sitios de disposición.	Seremi de Salud	Largo plazo	
4. Infraestructura resiliente y manejo de riesgos hidrológicos	4.1 Mejorar los sistemas de drenaje y contención de lixiviados.	de	4.1.1 Impulsar proyectos de inversión enfocados en el fortalecimiento de infraestructura resiliente en los rellenos sanitarios existentes.	Estado	Largo plazo	
			4.1.2 Incorporar criterios de resiliencia climática en pautas de evaluación de proyectos de inversión financiados por el Estado.	Estado	Largo plazo	
			4.1.3 Fortalecer el mantenimiento de los sistemas de drenaje y contención, sobre todo en sitios con antecedentes de escurrimientos.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo	
			4.1.4 Establecer protocolos de mantenimiento periódicos, mensuales.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo	
	4.2 Reducir la vulnerabilidad a inundaciones y remoción en masa	la	a	4.2.1 Instalar barreras de contención y refuerzos estructurales en rellenos con alto riesgo de erosión.	Dueño del relleno sanitario	Largo plazo
				4.2.2 Actualizar normativa de rellenos sanitarios con estándares de resiliencia climática.	Ministerio de Salud	Largo plazo

5. Infraestructura resiliente y manejo de riesgos de remoción en masa.	5.1 Minimizar el riesgo de remoción en masa mediante el fortalecimiento de la estabilidad estructural.	5.1.1 Fomentar y garantizar el cumplimiento de la compactación y recubrimiento diario de residuos.	Seremi de Salud	Corto plazo
		5.1.2 Realizar inspecciones topográficas de forma mensual para detectar signos de inestabilidad.	Dueño del relleno sanitario	Mediano plazo
		5.1.3 Fiscalizar el cumplimiento del plan de operación del relleno sanitario.	Seremi de Salud	Corto plazo
6. Infraestructura resiliente y manejo de riesgo de incendios.	6.1 Reducir la exposición de los rellenos a incendios forestales.	6.1.1 Garantizar la implementación de zonas de cortafuegos de mínimo 10 metros de ancho alrededor de los rellenos con alta presencia de vegetación.	Seremi de Salud	Corto plazo
		6.1.2 Garantizar la implementación de sistemas de detección temprana y vigilancia ante incendios, sobre todo en época de verano.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
		6.1.3 Regular la presencia de materiales inflamables ajenos a los residuos dentro del emplazamiento.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
	6.2 Fortalecer la capacidad de respuesta ante incendios.	6.2.1 Establecer protocolos prevención y extinción de incendios.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
		6.2.2 Capacitar al personal en protocolos de prevención y extinción de incendios.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
		6.2.3 Garantizar la implementación de equipamiento adecuado para la respuesta inmediata.	Dueño del relleno sanitario	Corto plazo
		6.2.3 Coordinar con brigadas forestales y organismos de emergencia para acciones conjuntas.	Dueño del relleno sanitario	Mediano plazo

*Fuente: Elaboración propia a partir de Jones, 2001; Kumar y Reddy, 2020; GORE Biobío, 2023.*

## V. Conclusiones

La presente investigación permitió responder a la pregunta ¿Cuáles son los factores de riesgo de los sitios de disposición de residuos sólidos asociados a eventos extremos, que podrían verse intensificados por el cambio climático? A partir del análisis de los rellenos sanitarios Cemarc, Arauco-Curanilahue y de Los Ángeles, se identificaron como principales amenazas los incendios forestales, seguidos por inundaciones y remociones en masa, fenómenos que pueden comprometer la estabilidad estructural y operativa de estos sitios.

Uno de los factores de riesgo más críticos es el aumento de la temperatura máxima diaria y la frecuencia de olas de calor, lo que incrementa la probabilidad de incendios, especialmente en rellenos sanitarios rodeados de plantaciones forestales (en el caso del estudio, todos los sitios de disposición de residuos analizados presentar cierto grado de vulnerabilidad). Asimismo, la frecuencia de sequías impacta la estabilidad del suelo, favoreciendo la erosión y comprometiendo la integridad estructural de los sitios de disposición ante eventos de inundación. Por otro lado, aunque las precipitaciones máximas tienden a disminuir, los eventos de lluvia extrema aún pueden ocasionar desbordes de lixiviados, afectando la calidad del suelo y de las aguas subterráneas.

Como resultado del primer objetivo específico, se incorporó una adaptación al modelo conceptual de evaluación de riesgos comúnmente utilizado en sitios de disposición de residuos, basado en la fórmula  $R = P \times C$  (Riesgo = Peligro x Consecuencia). Esta investigación añadió al modelo la capacidad de preparación (CP) y un factor de cambio climático (FC) como medidas atenuantes, con el fin de mejorar la representación del riesgo frente a escenarios actuales y futuros.

El proceso de evaluación de riesgos debe incorporar inherentemente la posible variabilidad de los escenarios climáticos y sus impactos. En este sentido, las estrategias de adaptación deben optimizarse no solo para abordar la resiliencia a los efectos del cambio climático a lo largo del ciclo de vida del proyecto, sino también para garantizar su mitigación a largo plazo. Sin embargo,

aunque los registros resaltan la importancia de la interacción de los factores de riesgo asociados a eventos extremos y la interrelación entre múltiples amenazas, hasta la fecha, estos riesgos se han evaluado de forma incompleta e incoherente, lo que dificulta la implementación de medidas de adaptación efectivas.

En el caso de los rellenos sanitarios analizados, se identificó que algunos sitios presentan una mayor exposición a amenazas específicas, mientras que otros enfrentan desafíos operacionales derivados de la gestión de RSU y la capacidad de respuesta ante emergencias. La falta de infraestructura resiliente, así como deficiencias en el monitoreo y mantenimiento, incrementan la vulnerabilidad de estos emplazamientos. Además, la ausencia de una planificación adecuada frente a eventos extremos dificulta la implementación de respuestas eficaces y oportunas.

Los procedimientos propuestos no solo deben identificar los elementos ambientales afectados, sino también analizar las características específicas de cada relleno sanitario que pueden generar mayores impactos. Contar con este conocimiento detallado facilita la toma de decisiones por parte de diseñadores, constructores, operadores y autoridades ambientales involucradas en la gestión de estos sitios. La gestión de RSU debe avanzar hacia un modelo sostenible y resiliente, en el cual la adaptación y mitigación del cambio climático sean elementos fundamentales. Esto implica la integración de tecnologías innovadoras, medidas de reducción de riesgos y políticas públicas actualizadas que permitan abordar estos desafíos de manera integral.

Los lineamientos propuestos en esta investigación representan un punto de partida para la implementación de estrategias de reducción del riesgo de desastres en los rellenos sanitarios de la Región del Biobío. Su aplicación permitiría minimizar los efectos negativos del cambio climático, fortalecer la gestión ambiental de los RSU y mejorar la capacidad de respuesta y recuperación ante eventos extremos. En un contexto de cambio climático acelerado, garantizar la resiliencia de los sitios de disposición es una tarea ineludible para proteger los ecosistemas, la salud de las comunidades y la sostenibilidad de la gestión de RSU en la región.

## VI. Contribución a los ODS

Tabla 27.

Contribución de la investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ODS	Justificación
Salud y bienestar	<p>La investigación aborda los riesgos de los sitios de disposición de residuos sólidos bajo el impacto del cambio climático. Al identificar y caracterizar estos riesgos, se pueden desarrollar lineamientos respecto a la gestión de RSU, brindando la oportunidad de reducir la exposición de las comunidades a los efectos adversos asociados.</p> <p><b>Contribuye a la meta 3.9:</b> Reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.</p>
Ciudades y comunidades sostenibles	<p>Una gestión adecuada de RSU es esencial para el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles. La investigación colaboraría con la comprensión de los impactos negativos derivados de las malas prácticas de disposición, y promovería prácticas más seguras y resilientes frente al cambio climático.</p> <p><b>Contribuye a la meta 11.b:</b> Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles</p>
Acción por el clima	<p>Al centrarse en cómo el cambio climático exacerba los riesgos en los sitios de disposición, la investigación apoya la exploración de estrategias de adaptación y mitigación. Esto contribuye a la resiliencia climática y a la reducción de los impactos adversos del cambio climático.</p> <p><b>Contribuye a las metas 13.1:</b> Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.</p> <p><b>Y la meta 13.3:</b> Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.</p>

*Fuente: ONU, Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2015.*

## **VII. Glosario**

### **Basural**

Lugar de disposición de residuos, en forma espontánea o programada, sin control sanitario ni ambiental.

### **Cambio Climático (CC)**

Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

### **Disposición final**

Se define como la actividad de depósito definitivo de los residuos, con o sin tratamiento previo.

### **Escenario de riesgo**

Presuposición de la ocurrencia de un evento con determinadas características. Puede ser definido producto de la probabilidad de ocurrencia o magnitud, u otras relaciones entre estas variables.

### **Gestión**

Operaciones de manejo y otras acciones de política, de planificación, normativas, administrativas, financieras, organizativas, educativas, de evaluación, de seguimiento y fiscalización.

### **Gestión del riesgo**

El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales.

### **Mitigación**

Comprende las medidas dirigidas a reducir los riesgos existentes, evitar la generación de nuevos riesgos y limitar los impactos adversos o daños a las personas, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente producidos por las amenazas.

### **Modelo conceptual de riesgo**

Pretende, a través de un proceso de evaluación, estimar las pérdidas y daños producidos en un sistema producto de la ocurrencia de un evento no deseado. Representación esquemática o descriptiva de un sistema ambiental donde ocurren eventos de contaminación. Permite la valoración de riesgos potenciales y facilita la toma de decisiones preventivas y correctivas.

**Reducción del riesgo de desastres**

La actividad orientada a la prevención de nuevos riesgos de desastres, la reducción de los riesgos de desastres existentes y a la gestión del riesgo residual, todo lo cual contribuye al desarrollo sostenible del país.

**Relleno sanitario**

Sistema de disposición final de residuos sólidos diseñado, construido y operado para reducir riesgos sanitarios y ambientales. Las instalaciones cumplen las disposiciones del D.S. N° 189.

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU)**

También referido como Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) o Residuos Sólidos Municipales (RSM). Residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también aquellos residuos generados en actividades comerciales o productivas que por su naturaleza o composición resultan similares a los anteriores, que son considerados en el trayecto de recolección.

**Resiliencia**

Da cuenta de un proceso dinámico asociados a la capacidad de un sistema y de sus componentes, tales como población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente, entre otros, para anticipar, resistir, absorber, adaptar y recuperarse de los efectos de un evento, de manera integral, oportuna y eficaz, incluso garantizando la preservación, restauración o mejora de sus estructuras y funciones básicas.

**Sistema de alerta temprana**

Comprende la suma de las políticas, estrategias, instrumentos y acciones particulares referidos a: la identificación y monitoreo de las amenazas, vulnerabilidades y riesgo; el diseño e implementación de alertas o alarmas relacionadas con el desarrollo inminente de eventos peligrosos; y los preparativos para la respuesta ante emergencias.

**Vertedero**

Lugar de disposición de residuos, planificado para ese uso. Sin embargo, no cuenta con las medidas sanitarias mínimas establecidas en el D.S. N° 189. Presenta problemas sanitarios y ambientales como vectores y olores.

## VIII. Referencias bibliográficas

Arrieta, G., Requena, I., Toro, J., Zamorano, M. (2016). Adaptation of EVIAVE methodology for monitoring and follow-up when evaluating the environmental impact of landfills. *Environmental Impact Assessment Review* 56, 168-179.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.-a). Región del Biobío. Recuperado el 29 de junio de 2024, de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.-b). Mapas vectoriales. Mapoteca. Recuperado el 2 de febrero de 2025, de [https://www.bcn.cl/siit/mapas\\_vectoriales/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html)

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). Región del Biobío. Mapoteca. Recuperado el 9 de julio de 2024, de [https://www.bcn.cl/siit/mapoteca/region\\_view?dato=Región%20del%20Biobío&cod\\_unidad=8](https://www.bcn.cl/siit/mapoteca/region_view?dato=Región%20del%20Biobío&cod_unidad=8)

Brand, J.H., Spencer, K.L. (2023). Potential pollution risks of historic landfills in England: Further analysis of climate change impacts. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Water*, 17.

Butt, T.E., Lockley, E., Oduyemi, K.O.K. (2008). Risk assessment of landfill disposal sites – State of the art. *Waste Management* 28, 952-964.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup>. (2018). Marco de evaluación de la vulnerabilidad. Recuperado el 21 de agosto de 2024, de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/05/Marco-de-evaluacion-de-vulnerabilidad.pdf>

Díaz, F. (2021). El silencioso auge de Hidronor: cómo es vivir junto al principal relleno sanitario de Concepción. *Biobiochile.cl*. Recuperado el 10 de mayo de 2024, de <https://www.biobiochile.cl/especial/reportajes/2021/07/09/el-silencioso-auge-de-hidronor-como-es-vivir-junto-al-principal-relleno-sanitario-de-concepcion.shtml>

Dirección Meteorológica de Chile. (2023). Reporte Anual de la Evolución del Clima en Chile. Recuperado el 20 de abril de 2024, de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/05/reporteEvolucionClima2022.pdf>

Dirección de Extensión y Servicios Externos. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2024). Consultoría para la evaluación de la imagen objetivo del plan regulador metropolitano de Concepción. Recuperado el 10 de octubre de 2024 de <https://static1.squarespace.com/static/655f9c9f448c840d9d9a97b2/t/66749db96dc3a06a20d85388/1718918625739/Informe+Diagnóstico+Metropolitano+Etapa+2+Subsanado+2+compresed+%281%29.pdf>

Estudio de Impacto Ambiental (EIA) «Centro de Manejo de Residuos de Concepción» (2003). Recuperado el 22 de abril de 2024, de [https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id\\_documento=2128938708](https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id_documento=2128938708)

Estudio de Impacto Ambiental (EIA) «Continuidad Operacional Centro de Manejo de Residuos de Concepción» (2021). Recuperado el 12 de marzo de 2025, de [https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id\\_documento=2153787309](https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id_documento=2153787309)

Estudio de Impacto Ambiental (EIA) «Relleno Sanitario Los Ángeles» (2002). Recuperado el 22 de abril de 2024, de [https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id\\_expediente=5261&idExpediente=5261](https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id_expediente=5261&idExpediente=5261)

El Mostrador. (2016). Incendio en vertedero Santa Marta provoca nube tóxica que se cierne sobre Santiago. El Mostrador. Recuperado el 07 de julio de 2024, de <https://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2016/01/19/incendio-en-vertedero-santa-marta-provoca-nube-toxica-que-se-cierne-sobre-santiago/>

Gichamo, T., Gökçekuş, H. (2019). Interrelation between climate change and solid waste. J. Environ. Pollut. Control 2, 104.

Gobierno Regional del Biobío. (2023). Política pública regional para la gestión de los residuos sólidos domiciliarios. Región del Biobío. 2024 – 2035. Recuperado 24 de febrero de 2025, de <https://gorebiobio.cl/wp-content/uploads/2024/02/POLITICA-PUBLICA-REGIONAL-PARA-LA-GESTION-DE-LOS-RESIDUOS-SOLIDOS-DOMICILIARIOS-2024-2035.pdf>

Gobierno Regional del Biobío, Ministerio de Urbanismo y Vivienda, EULA Chile. (2024). Riesgo de desastres en un escenario de cambio climático, provincia de Concepción. Recuperado el 10 de octubre de 2024 de <https://static1.squarespace.com/static/655f9c9f448c840d9d9a97b2/t/667dab9016a20f257ea23826/1719511955320/PPT+Riesgos.pdf>

Gobierno Regional del Biobío, Ministerio de Urbanismo y Vivienda, EULA Chile. (2024). Riesgo de desastres en un escenario de cambio climático, provincia de Concepción. Recuperado el 10 de octubre de 2024 de <https://static1.squarespace.com/static/655f9c9f448c840d9d9a97b2/t/667dab9016a20f257ea23826/1719511955320/PPT+Riesgos.pdf>

Gobierno Regional del Biobío. (2024). Resolución Exenta N° 2220/2024. Evaluación Ambiental Estratégica del Plan Regulador Metropolitano de Concepción. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de [https://gorebiobio.cl/wp-content/uploads/2024/10/01.RES\\_EX\\_N°2220\\_22.07.2024\\_GORE\\_BIOBIO\\_DA\\_INICIO\\_EAE\\_PPMC.pdf](https://gorebiobio.cl/wp-content/uploads/2024/10/01.RES_EX_N°2220_22.07.2024_GORE_BIOBIO_DA_INICIO_EAE_PPMC.pdf)

Informe Consolidado de la Evaluación (ICE) del Estudio de Impacto Ambiental «Relleno Sanitario Intercomunal Arauco Curanilahue». (2003). Recuperado el 22 de abril de 2024, de [https://seia.sea.gob.cl/archivos/2015/07/28/02/EIA\\_5603\\_DOC\\_2130661219\\_445.pdf](https://seia.sea.gob.cl/archivos/2015/07/28/02/EIA_5603_DOC_2130661219_445.pdf)

IPCC. (2014). Climate Change 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Recuperado el 03 de julio de 2024, de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf)

Jones, R.N. (2001). An environmental risk assessment/management framework for climate change impact assessments. *Natural hazards* 23, 197-230.

Kumar, G., Reddy, K.R. (2020). Addressing Climate Change Impacts and Resiliency in Contaminated Site Remediation. *Journal of Hazardous Toxic and Radioactive Waste* 24, 13.

Lee L. (2023). Ruiz Pérez, Benucci Torrealba y Ruiz-Tagle García-Huidobro: los perdedores del fallo del Tribunal Ambiental por el incendio del vertedero Santa Marta en Talagante. *Interferencia*. Recuperado el 07 de julio de 2024, de <https://interferencia.cl/articulos/ruiz-perez-benucci-torrealba-y-ruiz-tagle-garcia-huidobro-los-perdedores-del-fallo-del>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININTERIOR). (2023a). Plan Provincial de Emergencia. Provincia de Arauco. Región del Biobío. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de [https://bibliogrd.senapred.gob.cl/bitstream/handle/1671/6749/PEmer\\_Provincia%20Arauco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliogrd.senapred.gob.cl/bitstream/handle/1671/6749/PEmer_Provincia%20Arauco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININTERIOR). (2023b). Plan Provincial de Emergencia. Provincia de Biobío. Región del Biobío. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://bibliogrd.senapred.gob.cl/handle/1671/6750>

Ministerio del Medio Ambiente. (2015). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Recuperado el 10 de julio de 2024, de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). La Gestión de Residuos y el Cambio Climático se han convertido en la principal preocupación ambiental de los chilenos. Recuperado el 26 de marzo de 2025, de [https://santiagorecicla.mma.gob.cl/la-gestion-de-residuos-y-el-cambio-climatico-se-han-convertido-en-la-principal-preocupacion-ambiental-de-los-chilenos/?utm\\_source=chatgpt.com](https://santiagorecicla.mma.gob.cl/la-gestion-de-residuos-y-el-cambio-climatico-se-han-convertido-en-la-principal-preocupacion-ambiental-de-los-chilenos/?utm_source=chatgpt.com)

Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Marco Metodológico ARCLim. Atlas de Riesgos Climáticos. Recuperado el 29 de junio de 2024, de [https://arclim.mma.gob.cl/media/learning/Metodologia\\_ARCLIM.pdf](https://arclim.mma.gob.cl/media/learning/Metodologia_ARCLIM.pdf)

Ministerio del Medio Ambiente. (2023a). Octavo Reporte del Estado del Medio Ambiente. Recuperado el 14 de junio de 2024, de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2023/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2023b). Comienza diseño del Plan de Acción Regional de Cambio Climático en el Biobío. Recuperado el 21 de abril de 2024, de <https://mma.gob.cl/comienza-diseno-del-plan-de-accion-regional-de-cambio-climatico-en-el-biobio/>

Ministerio del Medio Ambiente. (2024). Proyecto: Propuesta de instrumentos y medidas de mitigación para el sector residuos. Recuperado el 7 de septiembre de 2024, de [https://degreyd.minsal.cl/wp-content/uploads/2023/12/20240126\\_InformeFinal\\_V3\\_ImplementaSur.pdf](https://degreyd.minsal.cl/wp-content/uploads/2023/12/20240126_InformeFinal_V3_ImplementaSur.pdf)

MINSAL. (2008). Decreto Supremo 189. Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios. Recuperado el 21 de abril de 2024, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>

Municipalidad de Curanilahue. (2013). Memoria. Modificación Plan Regulador Comunal de Curanilahue. Anexo N°1 Estudio de Riesgos. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://instrumentosdeplanificacion.minvu.cl/files/maps/2100/4.27b12e2.08205.pdf>

Municipalidad de Los Ángeles. (2005). Plan Regulador Comunal de Los Ángeles. Memoria Explicativa. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de [https://www.losangeles.cl/wp-content/uploads/2021/05/N38b-01-2011-MEMORIA\\_EXPLICATIVA\\_PLAN-REGULADOR-COMUNAL-DE-LOS-ANGELES.pdf](https://www.losangeles.cl/wp-content/uploads/2021/05/N38b-01-2011-MEMORIA_EXPLICATIVA_PLAN-REGULADOR-COMUNAL-DE-LOS-ANGELES.pdf)

Municipalidad de Penco. (2005). Plan Regulador Comunal de Penco. Memoria Explicativa. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://instrumentosdeplanificacion.minvu.cl/files/maps/2159/4.1200b07m.08107.pdf>

Navarrete J. (2019). Superintendencia exige a rellenos sanitarios actualizar planes de emergencia por altas temperaturas. La Tercera. Recuperado el 07 de julio de 2024, de <https://www.latercera.com/nacional/noticia/superintendencia-exige-rellenos-sanitarios-actualizar-planes-emergencia-altas-temperaturas/951322/>

Neuhold, C., Nachtnebel, H. (2011). Assessing flood risk associated with waste disposals: methodology, application and uncertainties. Natural hazards 56, 359-370.

Organización de las Naciones Unidas. (s. f.). Datos sobre la acción climática. Naciones Unidas. Recuperado el 20 de abril de 2024, de <https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings#collapseOne>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 29 de junio de 2024, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

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

Rojas, S. (2023). Amplían hasta el 30 de abril cierre de Hidronor: municipios trabajan para solucionar el problema de su basura. *Diario Concepción*. Recuperado el 10 de mayo de 2024, de <https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2023/03/19/amplian-hasta-el-30-de-abril-cierre-de-hidronor-municipios-trabajan-para-solucionar-el-problema-de-su-basura.html>

Samson, A., Oluwatoyin, O. (2012). Challenges of waste management and climate change in Nigeria: Lagos State metropolis experience. *African Journal of Scientific Research* Vol 7.

Schneider, P., Lämmel, A., Schmitt, A., Nam, N.P., Anh, L.H. (2017). Current and future solid waste management system in Northern Viet Nam with focus on Ha Noi: climate change effects and landfill management. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 19, 1106-1116.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA. Recuperado el 5 de septiembre de 2024, de <https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-y-criterios/guia-metodologica-para-la-consideracion-del-cambio-climatico-en-0>

Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Seneviratne, S., Strongin, S., van Aalst, M., Totin, E., Trisos, C.H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4, 489-501.

SMA. (2013). Superintendencia del Medio Ambiente. Formulación de Cargo que indica a Hidronor Copiulemu S.A. ORD. U.I.P.S. N° 1120.

SMA. (2015). Superintendencia del Medio Ambiente. Formulación de Cargo que indica a DEMARCO S.A. Res. Ex. N°1/ ROL D-070-2015.

SMA. (2017a). Superintendencia del Medio Ambiente. Formulación de Cargo que indica a CEMARC S.A. Res. Ex. N°1/ ROL D-086-2017.

SMA. (2017b). Superintendencia del Medio Ambiente. Formulación de Cargo que indica a Ilustre Municipalidad de Arauco y a Ilustre Municipalidad de Curanilahue. Res. Ex. N°1/ ROL F-050-2017.

SMA. (2018). Superintendencia del Medio Ambiente. Formulación de Cargo que indica a KMD S.A. Res. Ex. N°1/ ROL D-081-2018.

SUBDERE. (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial. Recuperado el 06 de diciembre de 2024, de [https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/libro\\_guia\\_de\\_analisis\\_de\\_riesgos\\_naturales\\_para\\_el\\_ordenamiento\\_territorial\\_.pdf](https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/libro_guia_de_analisis_de_riesgos_naturales_para_el_ordenamiento_territorial_.pdf)

SUBDERE. (2024a). Informe Diagnóstico y Catastro Nacional de Residuos Sólidos Domiciliarios. Síntesis Nacional. Recuperado el 21 de abril de 2024, de [https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Sintesis%20Nacional\\_Diagnóstico%20y%20Catastro%20Nacional%20de%20RSD%20Marzo\\_2024\\_0.pdf](https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/Sintesis%20Nacional_Diagnóstico%20y%20Catastro%20Nacional%20de%20RSD%20Marzo_2024_0.pdf)

SUBDERE. (2024b). Diagnóstico y Catastro Regional de Residuos Sólidos Domiciliarios. Región del Biobío. Recuperado el 21 de abril de 2024, de [https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/VIII%20Region%20del%20Biobío%20RSD%20Marzo\\_2024\\_0.pdf](https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/VIII%20Region%20del%20Biobío%20RSD%20Marzo_2024_0.pdf)

Tchobanoglous, G., Theissen, H., Eliassen, R. (1982). Desechos sólidos. Principios de ingeniería y administración. Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16. 431-511.

Tchobanoglous, G., Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. Second edition. McGraw Hill Handbooks.

Valdebenito R. (2023). Vecinos indignados por deslizamiento de basura en Morrompulli. Diario de Valdivia. Recuperado el 07 de julio de 2024, de <https://www.diariodevaldivia.cl/noticia/actualidad/2023/06/vecinos-indignados-por-deslizamiento-de-basura-en-morrompulli>

Van Khanh, N. (2019). Identify and assess the impact of climate change and sea level rise to the system of landfills and solid waste treatment facilities in the central coast region of Vietnam, Waste Management and Resource Efficiency: Proceedings of 6th IconSWM 2016. Springer, pp. 195-208.

Veloso, L. (2021). Temperaturas en Chile subirán más de 6° y precipitaciones bajarán 60% en próximos años según estudio. Biobiochile.cl. Recuperado el 10 de mayo de 2024, de <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2021/03/23/temperaturas-en-chile-subiran-mas-de-6-y-precipitaciones-bajaran-60-en-proximos-anos-segun-estudio.shtml>

Yahaya, N.S., Pereira, J.J., Taha, M.R. (2021). Using best available information to conduct impact assessment of future climatic hazards on a landfill. Climatic Change 165, 68.

## IX. Anexos

### 1. Anexo 1.

**Tabla 28.**

Planes de prevención y contingencia de riesgos ambientales en los rellenos sanitarios de la Región del Biobío.

Riesgo ambiental	Plan de prevención	Plan de contingencia
Infiltración de líquidos percolados.	Sistema gravitacional de captación y drenaje de líquidos percolados. Impermeabilización basal del relleno.	Suspensión del riego de la superficie del relleno. Cubierta de superficie del relleno con lámina de plástico. Reparación del sector dañado. Monitoreo de la calidad de aguas subterráneas y superficiales.
Derrames desde la planta de tratamiento de líquidos percolados.	Compactación y recubrimiento de residuos para evitar aporte de aguas lluvia. Impermeabilización de piscinas con geomembrana de HDPE.	<b>Eventos de lluvias extremas:</b> Acumulación de efluentes en primera laguna. Recirculación de líquidos desde laguna de retención hacia relleno mediante bomba. Tratamiento de efluentes de segunda laguna. <b>Crecidas mayores:</b> Cierre de salida del sistema de captación de líquidos percolados. <b>Rebalse de una laguna, descarga de efluentes finales:</b> Bombeo de líquidos desde piscina con riesgo de rebalse a otra con capacidad de retención. En caso extremo, cierre de válvulas de paso en las cámaras de control del relleno. Reparación del sector dañado.
Incendio o explosión por emanaciones de gas.	Recubrimiento diario de residuos. Sistema de captación de gases. Instalación de extintores portátiles. Zona de cortafuego.	Apagado del fuego mediante extintores, tapado con tierra y/o solicitando ayuda a bomberos o personal de brigadas contra fuego. En caso de fuga de gas, se impermeabilizará el sector. Medición de la emanación del gas en toda la superficie del relleno y sus alrededores.
Riesgos naturales (lluvia intensa, avalancha, derrumbes, erosión o eventos sísmicos).	Sistema de manejo y drenaje de aguas superficiales para un periodo de retorno de 100 años. Diseño del dique perimetral con inclinaciones de 1:3 para evitar derrumbes. Consideración de NCh 433 para el Diseño Sísmico de Edificios.	<b>Lluvias intensas:</b> Inspección y reparaciones pertinentes. Recubrimiento de zona de operación del relleno para evitar colmatación y eventual rebalse. Apertura de zanjas de desvío de aguas de escorrentía superficial para proteger al relleno de la erosión. <b>Movimiento sísmico:</b> Inspección y reparaciones pertinentes. Aviso a organismos competentes en caso de fuga de líquidos percolados. Muestreo de aguas y monitoreo de estaciones ubicadas aguas abajo para verificar la propagación de líquidos percolados y evaluar la propagación de contaminantes.

Fuente: ICE "Centro de Manejo de Residuos de Concepción", 2004; ICE "Relleno Sanitario Arauco Curanilahue", 2003; ICE "Relleno Sanitario Los Ángeles", 2002.

2. Anexo 2.

**Tabla 29.**

Extracto herramienta de encuesta aplicada a expertos.

Categoría	Experto	Pregunta																											
Probabilidad y consecuencias	Autoridad Sanitaria (Seremi de Salud)	1) ¿Con qué frecuencia ha observado impactos en un relleno sanitario debido a eventos de <u>inundaciones</u> ?																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Frecuencia</th> <th>Más de 1 vez al año</th> <th>Una vez entre 1 y 10 años</th> <th>Una vez entre 10 y 50 años</th> <th>Una vez entre 50 y 100 años</th> <th>Cada 100 y más años</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Relleno Sanitario</td> <td>Cemarc</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arauco-Curanilahue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Los Ángeles</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia		Más de 1 vez al año	Una vez entre 1 y 10 años	Una vez entre 10 y 50 años	Una vez entre 50 y 100 años	Cada 100 y más años	Relleno Sanitario	Cemarc						Arauco-Curanilahue						Los Ángeles						
		Frecuencia		Más de 1 vez al año	Una vez entre 1 y 10 años	Una vez entre 10 y 50 años	Una vez entre 50 y 100 años	Cada 100 y más años																					
		Relleno Sanitario	Cemarc																										
Arauco-Curanilahue																													
Los Ángeles																													
2) ¿Ha ocurrido un evento destructivo o de gran impacto debido a <u>inundaciones</u> en los últimos 5 años?																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Frecuencia</th> <th>Sí</th> <th>No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Relleno Sanitario</td> <td>Cemarc</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arauco-Curanilahue</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Los Ángeles</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia		Sí	No	Relleno Sanitario	Cemarc			Arauco-Curanilahue			Los Ángeles																	
Frecuencia		Sí	No																										
Relleno Sanitario	Cemarc																												
	Arauco-Curanilahue																												
	Los Ángeles																												
		3) Asociado al último evento de <u>inundación</u> que recuerda, ¿Con qué frecuencia ocurre un evento de tal magnitud?																											
		4) ¿Qué consecuencias se han observado con mayor frecuencia en los rellenos sanitarios a causa de un evento de <u>inundación</u> de gran impacto?																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Consecuencias</th> <th colspan="3">Relleno sanitario</th> </tr> <tr> <th>Cemarc</th> <th>Arauco-Curanilahue</th> <th>Los Ángeles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Interrupción temporal del servicio (minutos/horas).</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 Interrupción de forma discontinua a lo más una semana y sujeto a reparaciones menores.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 Interrupción del servicio, con efectos dentro de los límites operativos del sistema.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 Interrupción del servicio, con efectos fuera de los límites del sistema. Sin impactos negativos significativos en los alrededores.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5 Pérdida total de funcionalidad, con efectos fuera de los límites del sistema acompañados por impactos negativos significativos.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Consecuencias	Relleno sanitario			Cemarc	Arauco-Curanilahue	Los Ángeles	1 Interrupción temporal del servicio (minutos/horas).				2 Interrupción de forma discontinua a lo más una semana y sujeto a reparaciones menores.				3 Interrupción del servicio, con efectos dentro de los límites operativos del sistema.				4 Interrupción del servicio, con efectos fuera de los límites del sistema. Sin impactos negativos significativos en los alrededores.				5 Pérdida total de funcionalidad, con efectos fuera de los límites del sistema acompañados por impactos negativos significativos.			
Consecuencias	Relleno sanitario																												
	Cemarc	Arauco-Curanilahue	Los Ángeles																										
1 Interrupción temporal del servicio (minutos/horas).																													
2 Interrupción de forma discontinua a lo más una semana y sujeto a reparaciones menores.																													
3 Interrupción del servicio, con efectos dentro de los límites operativos del sistema.																													
4 Interrupción del servicio, con efectos fuera de los límites del sistema. Sin impactos negativos significativos en los alrededores.																													
5 Pérdida total de funcionalidad, con efectos fuera de los límites del sistema acompañados por impactos negativos significativos.																													
		Otro: _____																											

6) Seleccione la o las consecuencias observadas con mayor frecuencia en la estructura del relleno sanitario a raíz de eventos de inundación de gran magnitud:

Consecuencia	Relleno sanitario		
	Cemarc	Arauco-Curaniñahue	Los Ángeles
Filtración de lixiviados.			
Daño a los sistemas de control de lixiviados.			
Desborde de sistemas de contención.			

Otro: \_\_\_\_\_

Capacidad de  
preparación

Representante  
relleno  
sanitario

1) ¿Existe un plan de prevención de contingencias y de emergencias ante eventos de inundaciones?

- a) Sí
- b) No

2) Si la respuesta anterior es no, ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

3) ¿Las medidas proponen una adaptación al efecto del cambio climático acorde con la incertidumbre de los escenarios de cambio climático?

- a) Sí
- b) No

4) Si la respuesta anterior es no, ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

5) ¿Con qué frecuencia se actualizan los planes?

- a) Cada 5 o menos años
- b) Cada más de 5 años

6) ¿Los planes son sometidos a prueba? (Simulacros)

- a) Sí
- b) No

7) Si la respuesta anterior es no, ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

8) ¿El personal se encuentra capacitado en materia de inundaciones?

- a) Sí
- b) No

9) Si la respuesta anterior es no, ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

10) ¿Ha ocurrido un evento destructivo o de gran impacto debido a inundaciones en los últimos 5 años?

- a) Sí
- b) No

11) Asociado al último evento que recuerda, ¿Con qué frecuencia ocurre un evento con consecuencias de tal magnitud?

\_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Anexo 3.

**Tabla 30.**

Infraestructura crítica rellenos sanitarios.

<b>Infraestructura</b>	<b>Descripción</b>
Sistemas de manejo y control de lixiviados	Barreras impermeables en la base del relleno sanitario y estructuras de drenaje que evitan la infiltración de lixiviado hacia las aguas subterráneas. Recirculación de lixiviados.
Gestión de gases	Sistemas de ventilación y quema de metano para manejo de los gases producidos por la descomposición de residuos orgánicos, reduciendo riesgos de explosión y emisiones.
Estructuras de contención y capas de recubrimiento	Protegen los residuos de la exposición al ambiente y controlan la dispersión de olores y plagas. Deben mantenerse en buen estado para evitar filtraciones y fuga de gases.
Sistema de drenaje superficial y control de inundaciones	Sistemas diseñados para redirigir el agua de lluvia y prevenir acumulaciones de agua en la superficie del relleno.
Equipo de emergencia y protección contra incendios	Es fundamental contar con equipos para controlar incendios y humedecer los desechos, ya que pueden ocurrir combustiones espontáneas.

*Fuente: Tchobanoglous et al., 1982; Tchobanoglous y Kreith, 2002; MINSAL, 2008.*

4. Anexo 4.

**Tabla 31.**

Cronograma de actividades.

Actividades	Meses																							
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Objetivo 1: Analizar los modelos de riesgo aplicados en sitios de disposición presentes en la literatura científica asociados a eventos extremos.</b>																								
1. Revisión bibliográfica																								
2. Análisis de factores de riesgo																								
3. Análisis de modelos conceptuales de riesgo																								
<b>Objetivo 2: Determinar los escenarios y jerarquizar los factores de riesgo en sitios de disposición de acuerdo con proyecciones de eventos extremos.</b>																								
1. Definición de modelo conceptual de riesgo																								
2. Definición de variables del modelo propuesto																								
3. Determinación de área de estudio																								
4. Determinación de escenarios de riesgo																								
5. Análisis de amenazas locales																								
6. Desarrollo herramienta de entrevista a expertos																								
7. Aplicación herramienta de entrevista a expertos																								
8. Análisis resultados entrevistas																								
9. Determinación de probabilidad y consecuencia																								
10. Determinación de capacidad de preparación																								
11. Jerarquización del riesgo y factores de riesgo																								
<b>Objetivo 3: Proponer lineamientos para la gestión de riesgos en los sitios de disposición de la Región del Biobío.</b>																								
1. Revisión de buenas prácticas																								
2. Propuesta de lineamientos																								
3. Validación de expertos																								
4. Desarrollo de lineamientos																								
<b>Presentación de avances</b>																								

