

Pablo Andrés Baraño Díaz
Ingeniero Civil UC, Perito Judicial
José de Moraleda 4909, Las Condes, Santiago
pablo.baranao@gmail.com
Cel: +56-962083659

INFORME TÉCNICO PERICIAL
VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL VERTEDERO CLAUSURADO DE AGRÍCOLA CORCOVADO
EN DALCAHUE Y SU POTENCIALIDAD DE GENERAR RIESGOS SOBRE LA SALUD HUMANA O
EL MEDIO AMBIENTE

Informe : PB-P-34/2019
Fecha : 12/06/2019

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
2.1. ANTECEDENTES SOBRE EL VERTEDERO CORCOVADO	4
2.2. ASPECTOS GENERALES DE LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS EN VERTEDEROS O RELLENOS SANITARIOS.....	5
2.3. FACTORES DE RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD HUMANA	7
2.4. FACTORES DE RIESGO POTENCIAL PARA EL MEDIO AMBIENTE	8
2.5. PARÁMETROS DE RELEVANCIA AMBIENTAL	9
3. BASES Y REFERENCIAS DE ESTE INFORME TÉCNICO PERICIAL.....	20
3.1. LISTADO DE ANTECEDENTES REVISADOS.....	20
3.2. METODOLOGÍA DE LA PERICIA	20
4. RESULTADOS.....	21
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LO OBSERVADO EN LA INSTALACIÓN	21
4.2. PUNTOS DE MEDICIÓN DE GASES	22
4.3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE GASES	24
4.4. ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE GASES Y DETERMINACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE.....	24
4.5. RESULTADOS DEL MONITOREO DEL AGUA CONTENIDA EN LA PISCINA DE LIXIVIADOS.....	26
4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS	26
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	28
6. REFERENCIAS.....	30

RESUMEN EJECUTIVO

Pablo A. Baraño Díaz, Ingeniero Civil de la P. Universidad Católica de Chile, Máster en Ingeniería Ambiental de la U. de British Columbia, Canadá, y perito judicial en diversas áreas de la ingeniería y ante diversas Cortes de Apelaciones de nuestro País, incluyendo la I. Corte de Apelaciones de Puerto Montt como Perito Ingeniero Civil e Ingeniero Ambiental, presenta el siguiente Informe Técnico Pericial sobre el estado sanitario y ambiental del vertedero industrial denominado "Vertedero Corcovado", en especial sobre su potencialidad de generar riesgos para la salud de la población y/o sobre el medio ambiente.

Este Informe Técnico Pericial fue realizado a solicitud de Agrícola Corcovado S.A., en base a la amplia experiencia técnica de este profesional en materias ambientales, incluyendo aquéllos asociados a sitios de disposición final de residuos sólidos, a las metodologías aceptadas técnicamente y a los conocimientos científicos afianzados.

La metodología se basó en la revisión de los antecedentes técnicos del vertedero Corcovado, las especificaciones técnicas de su cierre y mejoramiento, una visita a terreno para verificar el estado general de la instalación, y la medición de los principales parámetros ambientales que pudieran poder en riesgo la salud humana y/o el medio ambiente.

Los parámetros ambientales monitoreados en terreno fueron los siguientes: amoníaco en aire (NH_3), ácido sulfhídrico en aire (H_2S), monóxido de carbono en aire (CO), explosividad como indicador de presencia de biogás en el aire (% LEL), y pH en la piscina de líquidos lixiviados.

Tanto los resultados de los monitoreos de variables ambientales como la revisión del estado general del vertedero el día de la visita arrojaron como conclusión la ausencia de riesgos para la salud de la población y/o para el medio ambiente como consecuencia de la presencia del vertedero Corcovado en su estado y condición actual.

Adicionalmente, se identificaron algunas oportunidades de mejora, es decir, situaciones que permitan asegurar una adecuada gestión, evitando potenciales riesgos en el futuro. Las principales oportunidades de mejora identificadas fueron las siguientes:

- a) Liberación controlada del biogás acumulado bajo algunas geomembranas de zanjas de lodos.
- b) Reemplazo de geomembranas, geotextiles y/o cubiertas plásticas dañadas, sin perjuicio que se pudo verificar que ellas mantienen su impermeabilidad como un todo.
- c) Mejoramiento de los sistemas de recolección y canalización de aguas lluvia, en especial de aquéllas que caen sobre las antiguas zanjas de lodos.
- d) Realizar un monitoreo más detallado del líquido contenido en la piscina de lixiviados, para evaluar una adecuada gestión de los lixiviados de la torta de residuos.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa Agrícola Corcovado S.A. operó un vertedero de residuos industriales en el sector de Mocopulli, comuna de Dalcahue, durante el período 2000 – 2011, el que inició su proceso de cierre durante 2011 y 2012. En esta instalación se dispusieron residuos inertes industriales (redes de pesca, plásticos y otros inertes) en una “torta” de residuos, así como lodos de la planta de tratamiento de aguas servidas de la sanitaria local, estos últimos en zanjas de aproximadamente 10 metros de profundidad, excavadas en el terreno natural e impermeabilizadas con una geomembrana.

Como consecuencia de fiscalizaciones de la autoridad sanitaria realizadas durante el mes de mayo de 2019, se detectaron algunos aspectos del cierre que han carecido de un adecuado mantenimiento, así como de otros que han evolucionado de manera distinta a la contemplada en su diseño.

Por lo tanto, resulta de interés evaluar si estos últimos aspectos tienen el potencial de poner en riesgo la salud de la población y/o el medio ambiente, lo cual constituyó el objetivo central del presente informe técnico pericial.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Antecedentes sobre el Vvertedero Corcovado

El Relleno Industrial de Residuos Inorgánicos Corcovado se encuentra operando bajo Resolución del Servicio de Salud N° 0493 del 12 de abril de 1996 y modificada bajo resolución N° PA 1551 del 7 de octubre de 2004 (Anexo II). El Vvertedero Corcovado se ubica en el sector Mocopulli, al Oeste de la Ruta 5 y a 13 Km al norte de la ciudad de Castro, comuna de Dalcahue, Isla de Chiloé.

El acceso al interior del predio es a través de un camino que empalma con la Ruta 5 de una longitud de 950 m y 6 m de ancho. La ubicación geográfica del Vvertedero Corcovado se presenta en la Figura 1. Actualmente un tramo del camino de acceso sufrió un socavón, siendo habilitado un camino alternativo que permite el acceso al predio.

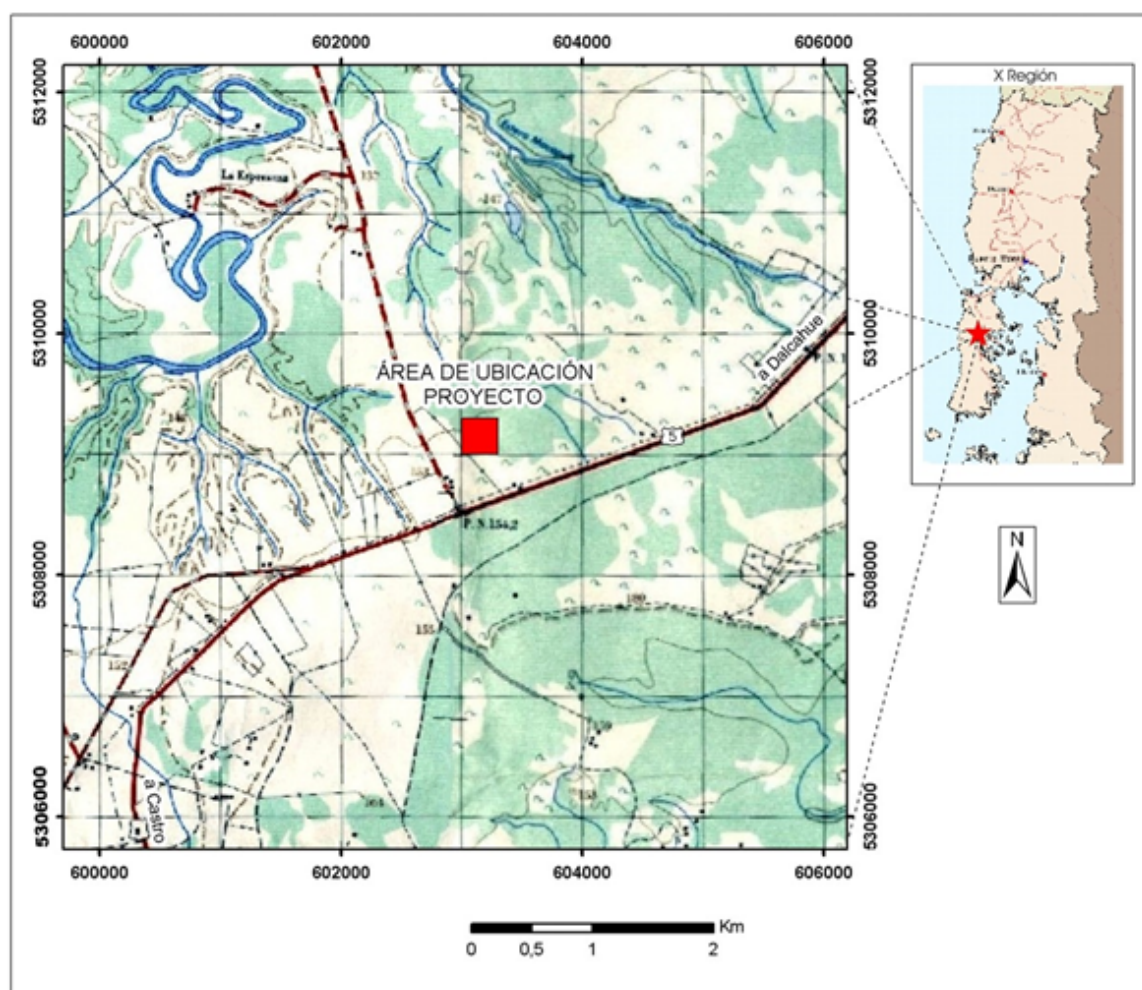


Figura 1: Ubicación geográfica del Vvertedero Corcovado (Fuente: DIA del Proyecto)

2.2. Aspectos generales de la disposición de residuos en vertederos o rellenos sanitarios

La gestión de residuos sólidos ha evolucionado en el tiempo desde soluciones con un bajo nivel de control de sus aspectos ambientales hasta otras con alto nivel de control y gestión sanitaria. Dentro de las primeras técnicas se encuentran los comúnmente denominados “basurales”, los cuales consisten en disponer la basura sobre un terreno sin mayor tratamiento. En el otro grupo se encuentran los “rellenos sanitarios”, soluciones de ingeniería que buscan disponer los residuos sólidos y controlar al mismo tiempo los impactos ambientales que se generen a partir de esta disposición. Dichas metodologías se detallan brevemente a continuación:

Basural: disposición libre de los residuos domiciliarios que en la mayoría de los casos se hace sin control alguno, ubicándose usualmente próximos a las urbes (orillas de cauces, terrenos boscosos, orillas de vías públicas, excavaciones abandonadas, minas antiguas, etc). Esta forma de disposición incontrolada acarrea serios problemas como la presencia de insectos y roedores que pueden transformarse en plagas, riesgo de incendio por emanación de gases inflamables, los que también generan malos olores, contaminación del agua y el aire, perjuicio estético y degradación de la calidad del medio ambiente (Orozco et al., 2013). Según el Ministerio de Medio Ambiente (2011) los basurales se diferencian de los rellenos sanitarios porque no cumplen con la legislación vigente, aunque para funcionar deben tener una autorización sanitaria según la Resolución N° 2.444.

Relleno Sanitario: dado los problemas que acarrearán los basurales no controlados, con los años se han desarrollado mejores soluciones para disponer la basura, tratar los residuos y establecer metodologías para su apilamiento. La solución aceptable más común se conoce como ‘relleno sanitario’ y consiste en una serie de etapas, desde la selección del sitio, su operación y su posterior cierre. En una primera etapa se evalúa la idoneidad del terreno para ser empleado como relleno y, una vez seleccionado, durante la operación de ésta la basura es dispuesta en capas, que se van cubriendo con tierra para fomentar su degradación al terminar las operaciones de cada día (Orozco et al., 2013). La mejor compactación de la basura, una superficie menor a utilizar, la canalización de los lixiviados (aguas filtradas desde el relleno) y una vigilancia del sitio son procesos y controles que conlleva esta solución. Según el Ministerio de Medio Ambiente (2011), los rellenos sanitarios sí cumplen con la legislación vigente correspondiente a la Autorización Sanitaria, de acuerdo al D.S. N° 189, más una Resolución de Calificación Ambiental si comenzaron su operación después de la entrada en vigencia de la Ley de Bases del Medio Ambiente.

El término “vertedero” es un concepto informal que, en ocasiones, se usa para referirse a un “basural”, mientras que en otras se utiliza para referirse a un “relleno sanitario” que da cumplimiento a los requisitos legales aplicables.

Aunque los rellenos sanitarios son una mejor solución versus un vertedero o basural, ambos implican ciertos aspectos ambientales a tener en consideración que deben ser tratados (Glynn y Heinke, 1999):

Lixiviación: cuando se entierran los residuos sólidos, la materia orgánica que poseen se comienza a descomponer primeramente en condiciones aeróbicas, porque aún hay oxígeno presente, lo que sucede durante las primeras semanas en zonas húmedas o durante el primer año en zonas más secas. Mientras estos residuos se degradan, parte del agua que contienen, más la que ingresa producto de la filtración de aguas subterráneas y/o de la lluvia, genera un líquido denominado 'lixiviado'. Este líquido, altamente contaminante en un comienzo, con sustancias orgánicas, sólidos disueltos y otros componentes potencialmente peligrosos, puede ocasionar un perjuicio a la salud humana si alcanza los acuíferos, especialmente si cerca de la zona del vertedero o relleno existen pozos para el abastecimiento de agua (Glynn y Heinke, 1999). Dado el riesgo que representan estos lixiviados, es necesario su minimización, recolección y tratamiento. En primer lugar, se sugiere evitar la filtración de aguas subterráneas o superficiales, diseñando canales que redirijan estas aguas en el perímetro del sitio. Finalmente, se debe acopiar el agua contaminada y los lixiviados que se vayan generando para tratarlos y descontaminarlos (Sillero, 2012). Los lixiviados van disminuyendo su carga contaminante con el paso del tiempo, a medida que los residuos dispuestos se van estabilizando.

Malos olores: la descomposición de la basura es una fuente conocida de generación de malos olores, los cuales incluso pueden ser tóxicos y constituir una condición de riesgo para la población cercana (Sillero, 2012).

Vectores: La presencia de residuos trae consigo la aparición de plagas como aves carroñeras, roedores y/o insectos, los cuales utilizan esta basura como alimento. Estos animales son conocidos como 'vectores', pues tienen la potencialidad de transmitir contaminantes o gérmenes a la población humana circundante (Sillero, 2012). Es decir, estas aves, roedores o insectos pueden ser portadoras de enfermedades desde los residuos a las personas.

Generación de biogás: cuando se acaba el oxígeno presente en los residuos comienza una descomposición anaeróbica de estos, es decir, en ausencia de oxígeno, la que genera principalmente metano y dióxido de carbono como consecuencia de la degradación de las sustancias orgánicas presentes en la basura. Estos gases son peligrosos, ya que en función de la etapa de descomposición el metano puede llegar a representar un 60% del gas que emana de un vertedero o relleno, el cual es inflamable y sin olor, más liviano que el aire y explosivo cuando está presente en el aire a una concentración de 5-15%. Por su parte, el dióxido de carbono, al mezclarse con el agua, genera un medio ácido en que los elementos como calcio, magnesio, hierro, cadmio, plomo y zinc que pueden estar en la basura o en el suelo, se disuelven y se mueven hacia las napas freáticas, donde los metales pueden ocasionar toxicidad para las personas (Glynn y Heinke, 1999).

Consideraciones estéticas: el perjuicio más evidente de la presencia de un relleno o basural lo constituyen los papeles y plásticos arrastrados por el viento, polvo en suspensión producto de las faenas, y la presencia de vectores que perjudican el paisaje (Glynn y Heinke, 1999).

2.3. Factores de riesgo potencial para la salud humana

2.3.1. Olores

Los malos olores de vertederos, especialmente de aquéllos en plena actividad, pueden causar problemas de salud a vecinos cercanos, en caso de existir. Si bien los gases responsables de los malos olores suelen ser percibidos a concentraciones muy inferiores a aquéllas que tienen el potencial de causar problemas a la salud de las personas, actualmente se ha aceptado que la salud es más que la ausencia de enfermedad, y se relaciona con el bienestar general de la persona humana, condición que puede ser afectada negativamente por la ocurrencia persistente de malos olores desde este tipo de instalaciones.

2.3.2. Acumulación de biogás

El Dto. 189/2008 que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios establece en su art. 16 que *“Todo proyecto de Relleno Sanitario deberá contemplar un sistema de manejo de biogás diseñado en base a una proyección de la cantidad de biogás que se generará en éste y que garantice condiciones de seguridad adecuadas tanto al interior de la instalación como en sus alrededores”*.

El biogás debe ser sometido a un proceso que garantice el control del riesgo de formación de mezclas explosivas tanto en el interior como en el exterior de la instalación.

2.3.3. Lixiviados

Dentro de un relleno sanitario, los lixiviados son producto de la transferencia de agua a través de los residuos sólidos y de la lixiviación de componentes desde el sólido al líquido. Son considerados como un residuo líquido con impacto ambiental, por su significativa concentración de amonio, materia orgánica y sales. Sin embargo, la composición de estos varía dependiendo de la naturaleza de los residuos, características del suelo, patrones de lluvia y, en gran parte, a la edad del relleno.

Los lixiviados jóvenes tienen una alta concentración de materia orgánica biodegradable (ácidos grasos volátiles), que disminuye conforme aumenta la edad del relleno, debido a la descomposición

anaeróbica. Además, poseen altas demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO), que determinan el índice de biodegradabilidad (DBO_5/DQO) del lixiviado.

Los lixiviados pueden generar riesgos en caso de ser descargados sin un adecuado tratamiento a cursos de agua que sean utilizados como fuente de agua potable, o en caso que infiltren a napas subterráneas que sean asimismo usadas para el abastecimiento de agua para la población.

2.4. Factores de riesgo potencial para el medio ambiente

2.4.1. Generación de lixiviados

Los lixiviados constituyen uno de los aspectos ambientales relevantes a considerar en un basural o relleno sanitario (Glynn y Heinke, 1999). Según Orozco et al. (2013), los compuestos orgánicos biodegradables presentes en la basura se degradan inicialmente a través de procesos aeróbicos, y cuando se acaba el oxígeno la descomposición se efectúa en condiciones anaeróbicas. La condición anaeróbica (ausencia de oxígeno) es consecuencia de la compactación natural producida por la gravedad, o bien por las máquinas que van apisonando los residuos, junto con el agua que utiliza los espacios vacíos desplazando el aire. El tiempo en que cada una de estas etapas dura depende de las características particulares del basural o relleno. En general es posible distinguir cuatro etapas principales:

- Fase inicial aerobia: La etapa aerobia, o aeróbica, es de corta duración dada la presencia limitante de oxígeno y que la materia orgánica se degrada fácilmente. En esta etapa es posible hallar en los lixiviados sólidos arrastrados, sales disueltas y bajas cantidades de especies orgánicas provenientes de la degradación aeróbica.
- Fase ácida inicial: Una vez que comienza a disminuir la disponibilidad de oxígeno comienza la fase ácida inicial, donde el proceso de descomposición pasa a realizarse en condiciones anaeróbicas. De duración indefinida, primero se evidencia una alta actividad química en el vertedero o relleno, liberándose gases y compuestos volátiles. En el lixiviado aparecen compuestos solubles y metales pesados en algunos casos.
- Fase metanogénica: La fase metanogénica se caracteriza por un aumento del pH (el medio se pone más alcalino) y se reduce la emanación de compuestos orgánicos volátiles. Los compuestos orgánicos de la etapa anterior mutan a dióxido de carbono y metano (gas inflamable) producto de la acción de microorganismos llamados metanogénicos.
- Fase post-metanogénica: los residuos presentes en el vertedero están ya transformados en metano y dióxido de carbono principalmente, por lo que baja la actividad química. Existe una relativa re-oxigenación de la zona superficial del basural o relleno. La materia orgánica que queda es en parte húmeda, lo que hace que se difícil de degradar y, por ende, el

oxígeno que hay tiende a mantenerse estable. De la misma forma, el pH tendrá un valor constante.

2.4.2. Generación de gases

La producción de gases evoluciona de manera similar a la generación de lixiviado, como consecuencia de las mismas reacciones químicas (Orozco et al., 2013). Por ende, la composición de gases y su presencia variará según las fases del vertedero, y dependerá de factores como los tipos de residuos, la presencia de nutrientes, la cantidad de humedad y el nivel de compactación inicial.

- Fase inicial de ajuste: una vez colocados los residuos en el vertedero empieza la degradación biológica de los componentes orgánicos en presencia de oxígeno. Existe una alta concentración de nitrógeno, una leve baja de oxígeno y surge el dióxido de carbono.
- Fase de transición: en esta etapa comienza a bajar la concentración de oxígeno y aparecen condiciones anaeróbicas, a lo que se le suma un aumento sustancial de dióxido de carbono, una baja de nitrógeno y aparece la presencia de hidrógeno.
- Fase ácida: se acrecienta la actividad de microorganismos en condiciones anaeróbicas de la fase anterior, generándose gran cantidad de ácidos orgánicos y de hidrógeno. El gas del vertedero o relleno en esta fase está compuesto principalmente por dióxido de carbono, disminuye el hidrógeno y aparece el metano.
- Fase de fermentación metánica: el ácido acético de la fase anterior se convierte en metano y dióxido de carbono a través de la acción de microorganismos metanogénicos que trabajan en condiciones anaeróbicas, lo que determina que el gas que se produce sea principalmente metano y dióxido de carbono.
- Fase de maduración: última etapa en la generación de gas, la velocidad del proceso se ralentiza ya que lo que queda en el vertedero es de lenta degradación. Los gases principales de esta etapa son metano y dióxido de carbono aun produciéndose desde la etapa anterior. Así mismo baja la actividad biológica de gas en el vertedero o basural.

El vertedero se encuentra en una etapa avanzada de maduración, con baja emisión de metano y dióxido de carbono, como consecuencia de una baja actividad biológica.

2.5. Parámetros de relevancia ambiental

2.5.1. Antecedentes sobre el Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)

- a) Orígenes y fuentes

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es un gas incoloro y con olor distintivo a huevo podrido (IVHHN, 2018). Es soluble en varios líquidos, incluido el agua y el alcohol, y posee una densidad de $1,39 \text{ kg/m}^3$ (Lide, 2003), esto es, 1,2 veces más denso que el aire ambiental (IVHHN, 2018), por lo que en condiciones atmosféricas estables puede acumularse en áreas bajas (EHD, 2009).

Se puede formar en condiciones anaeróbicas, en presencia de material orgánico y sulfato (OMS, 2000). El H_2S se produce naturalmente en algunos ambientes, como manantiales de azufre, pantanos y marismas salados, y a menudo se asocia con la descomposición de material orgánico (EHD, 2009).

Dado que corresponde a un gas presente naturalmente, en un reporte se registró el nivel promedio de sulfuro de hidrógeno en el aire ambiente en $0,3 \mu\text{g/m}^3$ (0,0002 ppm) (OMS, 1981). Las actividades humanas también pueden liberar H_2S natural en el ambiente. Por ejemplo, algunos depósitos de gas natural contienen hasta 42% de sulfuro de hidrógeno.

El sistema respiratorio es la ruta principal de exposición humana al sulfuro de hidrógeno tanto en los lugares de trabajo como en el aire ambiente.

b) Efectos sobre la salud

Los efectos sobre la salud dependen de la cantidad de H_2S que se respire y el período de exposición. De acuerdo a lo indicado por la OMS el nivel más bajo de efectos adversos del sulfuro de hidrógeno es 15 mg/m^3 (10 ppm), cuando se produce irritación ocular. El primer efecto perceptible a bajas concentraciones es su olor desagradable (OMS, 2000).

La exposición de 50 ppm durante 1 hora puede causar conjuntivitis con dolor ocular, lagrimeo y fotofobia; lo que puede progresar a queratoconjuntivitis y daño del epitelio corneal (2000, Collins, J., et al.). El H_2S afecta los nervios sensoriales en la conjuntiva, por lo que el dolor disminuye rápidamente y el daño a los tejidos es mayor (OMS, 2000). Otros síntomas han sido descritos por la OSHA, de acuerdo a lo detallado en la Tabla 1.

Tabla 1. Síntomas y efectos agudos (de corto plazo) por exposición a H_2S (OSHA, 2018)

Concentración (ppm)	Síntomas/Efectos
0,00011-0,00033	Concentraciones típicas de fondo.
0,01-1.5	Umbral de olor (cuando el olor a huevo podrido se nota por primera vez para algunos). El olor se vuelve más ofensivo entre 3-5 ppm. Sobre 30 ppm, olor descrito como dulce o asquerosamente dulce.
2-5	La exposición prolongada puede causar náuseas, lagrimeo, dolores de cabeza (cefalea) o

	pérdida de sueño. Problemas de las vías respiratorias (constricción bronquial) en algunos pacientes con asma.
20	Posible fatiga, pérdida de apetito, dolor de cabeza, irritabilidad, mala memoria, mareos.
50-100	Conjuntivitis leve e irritación del tracto respiratorio después de 1 hora. Puede causar malestar digestivo y pérdida de apetito.
100	Tos, irritación ocular, pérdida de olfato después de 2-15 minutos (fatiga olfativa). Alteración respiratoria, somnolencia después de 15-30 minutos. Irritación de la garganta después de 1 hora. Aumento gradual de la gravedad de los síntomas durante varias horas. La muerte puede ocurrir después de 48 horas.
100-150	Pérdida del olfato (fatiga olfativa o parálisis).
200-300	Conjuntivitis marcada e irritación del tracto respiratorio después de 1 hora. El edema pulmonar puede ocurrir por exposición prolongada.
500-700	Tambaleo, colapso en 5 minutos. Daño grave a los ojos en 30 minutos. Muerte después de 30-60 minutos.
700-1.000	Inconsciente, "caída" o colapso inmediato en 1 a 2 respiraciones, la respiración se detiene, la muerte en minutos.
1.000-2.000	Muerte instantánea.

c) Límites

Los límites permisibles de hidrógeno de sulfuro varían de acuerdo a la normativa local, y a las concentraciones aceptables y recomendables de cada jurisprudencia.

De acuerdo a recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, con el fin de evitar quejas sustanciales sobre la molestia del olor entre la población expuesta, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno no debiesen exceder los $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un período promedio de 30 minutos (OMS, 2000).

El estándar de 0,03 ppm (30 ppb) de sulfuro de hidrógeno durante una hora basado en el olor está muy por debajo de los niveles NOAEL de experimentos con animales donde la exposición duró de

semanas a meses, incluido el período de desarrollo intrauterino. Sin embargo, es mayor que el Nivel de Exposición de Referencia (REL) crónico de la

Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud Ambiental de EE.UU (OEHHA) de 8 ppb, que se basa en cambios histológicos en el área nasal de los ratones. La REL crónica se compara con la concentración promedio anual de H₂S. Idealmente, ninguno de estos dos niveles de referencia debe excederse por la concentración promediada adecuadamente. (2000, Collins et al.)

Otros límites de exposición están asociados a los lugares de trabajo y dependen del rubro. Además, varían según los tiempos de exposición, de acuerdo a como se expone en la Tabla 2.

Tabla 2. Diferentes límites de exposición de H₂S

Referencia	Límite	Concentración	
		ppm	mg/m ³
Chile Fuente: DS 594/1999 MINSAL	Límite para una jornada diaria	8	11,2
	Promedio máximo en 15 minutos	15	21
OSHAS (NIOSH) Fuente: OSHA 2018	Límite de exposición recomendado (REL) en 10 min	10	
	Límite de exposición permisible (PEL) industria general	20	
	Límite de exposición general hasta 10 minutos	50	
	Límite de exposición Astillero 8 hrs.	10	
	Límite de exposición Construcción 8 hrs.	10	
Comisión Europea Fuente: SCOEL, 2011	VLA-ED (valor límite ambiental de exposición diaria)	5	7
	VLA-EC (valor de referencia para la Exposición de Corta Duración)	10	14

En términos de límites asociados a la calidad del aire, muchos países no tienen niveles de calidad de aire para H₂S, ya que no es percibido como problema en la mayoría de las regiones. En la Tabla 3 se mencionan las principales jurisdicciones que sí las tienen.

Tabla 3. Indicaciones de calidad de aire para H₂S

País/Institución	Nivel	Nivel	Tiempo promedio	Tipo de guía	Fecha de implementaci
------------------	-------	-------	-----------------	--------------	-----------------------

	(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			ón
Nueva Zelanda ¹	-	7	1 hora	-	Mayo 2002
OMS ²	-	150	24 horas	-	1997
Estado de Hawái, EEUU	0,025	35	1 hora	Standard del Estado	-
Estado de California, EEUU	0,03	-	1 hora	Standard del Estado	1969; conservada en 1984

2.5.2. Antecedentes sobre los gases combustibles (LEL)

a) Orígenes y fuentes

Un gas combustible es uno que se quema cuando se mezcla con aire (u oxígeno) y se enciende. Las mezclas combustibles de gas y aire pueden quemarse en un amplio rango de concentraciones (Delphian, 2018). Ese límite inferior de explosión (LEL) está definido como la concentración (indicada en Vol%) de una mezcla de gas combustible y aire que bajo condiciones estandarizadas puede inflamarse y continuar ardiendo. El LEL de todos los gases y vapores inflamables conocidos está en el rango de aproximadamente 0,5 a 15 Vol% (Proin-pinilla, 2018).

Por debajo de este nivel, la mezcla es demasiado "pobre" para quemar. La concentración máxima de un gas o vapor que se quemará en el aire se define como el Límite explosivo superior (UEL). Por encima de este nivel, la mezcla es demasiado "rica" para quemar. El rango entre el LEL y el UEL se conoce como el rango inflamable para ese gas o vapor (Werner Sölken, 2018). Cuanto más bajo es el límite inferior de explosión (LEL), más peligrosos son (Proin-pinilla, 2018).

La limitación de concentración es una práctica preventiva para la protección contra la explosión: como un gas por debajo de su concentración LEL no puede inflamarse, la protección contra explosión puede ser realizada continuamente midiendo la concentración de gas y asegurando mediante medidas adecuadas que por ejemplo la mitad del LEL (= 50% LEL) no sea sobrepasado.

¹ Medido a 0° C 1 atm de presión. Basado en molestias olfativas y tal vez inconveniente en un área geotérmica (IVHHN, 2018).

² Nivel por irritación ocular (IVHHN, 2018).

Tabla 4. Límites inflamables/explosivos de varios gases y vapores (medido en % de volumen de aire)

Tipos	Compuestos	LEL (%)
Alcohol	Metanol	6,7
	Etanol	3,3
	Propanol	2,2
Hidrocarburos	Metano	5,0
	Propano	2,1
	Butano	1,8
	Hexano	1,2
	Heptano	1,05
	Acetileno	2,5
	Gasolina (sin plomo)	1,2
	Combustible de Aviones (JP-4)	1,3
	Nafta	1,7
	Trementina	0,7
Gases Inorgánicos	Monóxido de Carbono	12,5
	Sulfuro de Hidrógeno	4,0
	Amoníaco	15
	Hidrógeno	4

Fuente: Delphian, 2018

b) Efectos sobre la salud

Los gases combustibles cambian la cantidad de oxígeno disponible, ya que generalmente desplazan el oxígeno respirable. A medida que respira menos oxígeno, se puede comenzar a desarrollar síntomas.

Algunos de los síntomas que pueden generarse debido a la exposición a gases combustibles son:

- Dolor de cabeza;
- Mareo;
- Náusea;
- Irritación de ojos y garganta;
- Fatiga;
- Problemas respiratorios;

- Piel pálida o ampollas, que solo ocurren si la piel entra en contacto con gas comprimido o líquido.

2.5.3. Antecedentes sobre el amoníaco (NH_3)

a) Orígenes y fuentes

El amoníaco (NH_3) es un gas incoloro, de olor muy penetrante, bastante soluble en agua, y en estado líquido es fácilmente evaporable. Se caracteriza porque es una base fuerte, corrosiva y que reacciona violentamente con ácidos, oxidantes fuertes y halógenos (PRTR, 2007). Esta forma del amoníaco se conoce también como amoníaco gaseoso. El olor del amoníaco es generalmente perceptible sobre los 50 ppm de concentración (EPA, 1995).

Una fuente significativa de emisión proviene de la degradación de residuos animales, basuras y del uso de fertilizantes nitrogenados, que provoca una elevada concentración de nitratos de las aguas superficiales (PRTR, 2007).

El amoníaco no se moviliza mucha distancia en el ambiente y permanece en el aire aproximadamente una semana (ATSDR, 2016).

Debido a que el amoníaco ocurre naturalmente en el ambiente, la población se encuentra expuesta rutinariamente a bajos niveles de amoníaco en el aire, el suelo y el agua. El amoníaco existe naturalmente en el aire en niveles entre 1 y 5 partes en un billón de partes de aire (ppb). Se encuentra comúnmente en el agua de lluvia. Los niveles de amoníaco en ríos y bahías generalmente son menores de 6 partes por millón (ppm; 6 ppm = 6,000 ppb) (ATSDR, 2016).

A nivel industrial, los focos de contaminación más significativos tienen lugar en los procesos de fabricación y tratamiento de textiles, plásticos, explosivos, pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, refrigerantes y otros productos (PRTR, 2007). La mayor parte del amoníaco emitido se genera a partir de la gestión de residuos ganaderos y la producción de fertilizantes, que comprende aproximadamente el 90% de las emisiones totales de amoníaco (EPA, 1995).

b) Efectos sobre la salud

El amoníaco es fácilmente biodegradable, las plantas lo absorben con mucha facilidad eliminándolo del medio, de hecho, es un nutriente muy importante para su desarrollo, aunque la presencia de elevadas concentraciones en las aguas superficiales, como todo nutriente, puede causar efectos en los seres vivos, ya que interfiere en el transporte de oxígeno por la hemoglobina (ECHA, 2018)

Sin embargo, la exposición a bajas concentraciones igualmente puede causar tos e irritación de nariz y garganta. A altas concentraciones de amoníaco en el aire, puede producir quemaduras

graves en la piel, ojos, garganta y pulmones, y en casos extremos puede provocar ceguera, daño en el pulmón (edema pulmonar) e incluso la muerte (ECHA, 2018).

Otros efectos que pueden presentarse por exposición al amoníaco se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Efectos del amoníaco en la salud (Atta, 2018)

Concentración (ppm)	Síntomas/Efectos
24 – 50	Irritación de nariz y garganta después de diez minutos de exposición.
72 – 134	Irritación de la nariz y la garganta después de cinco minutos de exposición.
700	Irritación inmediata y severa del sistema respiratorio.
5.000	Espasmos respiratorios, asfixia rápida.
> 10.000	Edema pulmonar, acumulación potencialmente fatal de líquido en los pulmones y muerte.

c) Límites

Los límites permisibles de hidrógeno de sulfuro varían de acuerdo con la normativa local, y las concentraciones aceptables y recomendables de cada jurisprudencia. En la Tabla 6 se presentan algunos valores referenciales nacionales y internacionales asociados a límites de exposición para salud ocupacional.

Tabla 6. Diferentes límites de exposición de NH₃

Referencia	Límite	Concentración	
		ppm	mg/m ³
Chile	Límite para una jornada diaria	20	14
Fuente: DS 594 1999	Promedio máximo en 15 minutos	35	24
OSHAS (NIOSH)	Límite de exposición a corto plazo (STEL) de 15 minutos	35	27

Fuente: OSHA 2018	Límite de exposición recomendado (REL) en TWA ³	25	18
	Límite de exposición general permisible (PEL) en 5 minutos	50	35
Alberta Canadá	Límite para una jornada diaria (8 horas)		25
Fuente: Atta, 2018	Límite para un máximo en 15 minutos		21
Comisión Europea	VLA-ED (valor límite ambiental de exposición diaria)	20	14
Fuente: SCOEL, 2011	VLA-EC (valor de referencia para la Exposición de Corta Duración)	50	36

2.5.4. Antecedentes sobre el monóxido de carbono (CO)

a) Orígenes y fuentes

El monóxido de carbono (CO), también denominado óxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico cuando se inhala en grandes cantidades (EPA, 2018). Es un subproducto principalmente de una combustión incompleta o ineficiente (Dellinger, 2008). El CO se produce por procesos naturales y antropogénicos (NAP, 2010).

Las mayores fuentes de CO para el ambiente son los automóviles, camiones y otros vehículos o maquinaria que queman combustibles fósiles. Una variedad de artículos del hogar, tales como calentadores de queroseno y gas sin ventilación, chimeneas y hornos con fuga, y estufas de gas también liberan CO y pueden afectar la calidad del aire en el interior (EPA, 2018).

Una vez inhalado, el CO pasa por los pulmones a la sangre, donde se une a la hemoglobina, formando COHb; y por lo tanto hace que la molécula de hemoglobina sea menos capaz de unirse al oxígeno. Debido a este mecanismo, el transporte de oxígeno por la sangre y la liberación de oxígeno unido a los tejidos disminuyen. El daño tisular es el resultado de la hipoxia local. Los órganos con un alto requerimiento de oxígeno, como el corazón y el cerebro, son especialmente sensibles a estos efectos (NAP, 2010).

b) Efectos sobre la Salud

Respirar aire con una alta concentración de CO reduce la cantidad de oxígeno que se puede transportar en la corriente sanguínea a órganos críticos como el corazón y el cerebro (EPA, 2018).

³ TWA: una concentración promedio ponderada en el tiempo para un día laboral de hasta 10 horas durante una semana laboral de 40 horas.

En niveles muy altos, que son posibles en interiores o en otros entornos cerrados, el CO puede causar mareos, confusión, pérdida del conocimiento y la muerte (EPA, 2018).

Niveles muy altos de CO no es probable que ocurran al aire libre. Sin embargo, cuando los niveles de CO se elevan al aire libre, pueden ser una preocupación particular para las personas con algunos tipos de enfermedades del corazón. Estas personas ya tienen una capacidad reducida para llevar sangre oxigenada a sus corazones en situaciones en las que el corazón necesita más oxígeno de lo normal. Son especialmente vulnerables a los efectos del CO durante el ejercicio o bajo un mayor estrés. En estas situaciones, la exposición a corto plazo a CO elevado puede dar como resultado una reducción de oxígeno al corazón, acompañado de dolor en el pecho, también conocido como angina (EPA, 2018).

En la Tabla 7 se detallan otros efectos sobre la salud del CO a diferentes concentraciones y periodos de exposición.

Tabla 7. Efectos del CO en la salud (Engineering ToolBox, 2005)

Concentración de CO en el aire (ppm)	Tiempo exposición	Síntomas
9	Exposición a corto plazo	Recomendación de ASHRAE ⁴ de la concentración máxima permisible en zona habitada.
35	8 horas	La exposición máxima recomendada por OSHA en el lugar de trabajo durante un período de ocho horas.
200	2-3 horas	Leve dolor de cabeza, cansancio, fatiga, náuseas y mareos.
400	1-2 horas	Dolor de cabeza severo; otros síntomas se intensifican. Riesgo letal después de 3 horas.
800	45 minutos	Mareos, náuseas y convulsiones. Inconsciente dentro de 2 horas. Muerte entre de 2-3 horas.

⁴ ASHRAE: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

c) Límites

Los límites permisibles de monóxido de carbono varían de acuerdo a la normativa local, y las concentraciones aceptables y recomendables de cada jurisprudencia. En la Tabla 8 se presentan algunos valores referenciales nacionales e internacionales asociados a límites de exposición para salud ocupacional.

Tabla 8. Diferentes límites de exposición de CO

Referencia	Límite	Concentración	
		ppm	mg/m ³
Chile Fuente: DS 594 1999	Límite para una jornada diaria	40	46
OSHAS (NIOSH) Fuente: OSHA 2016	Límite de exposición a " <i>ceiling</i> " techo en cualquier instante	200	229
	Límite de exposición recomendado (REL) en TWA	35	40
	Límite de exposición general permisible (PEL) en TWA	50	55
Comisión Europea Fuente: SCOEL, 1995	VLA-ED (valor límite ambiental de exposición diaria)	20	23
	VLA-EC (valor de referencia para la Exposición de Corta Duración en 15 minutos)	100	117

3. BASES Y REFERENCIAS DE ESTE INFORME TÉCNICO PERICIAL

3.1. Listado de antecedentes revisados

Este Informe Técnico Pericial se basa en los siguientes antecedentes técnicos y administrativos que fueron tenidos a la vista por este perito:

- a) Revisión bibliográfica sobre impactos ambientales de vertederos y rellenos sanitarios.
- b) Resoluciones de Calificación Ambiental del proyecto, contenidas en las Res. Ex. 403/2005, 543/2005 y 202/2008, todas de la COREMA Región de Los Lagos.
- c) “Programa de Cierre Progresivo – Vertedero Corcovado”, del 6 de septiembre de 2011.
- d) “Especificaciones Técnicas Cierre Parcial y Mejoramiento Vertedero Corcovado, Comuna de Dalcahue”, documento elaborado por la consultora BIOAQUA.
- e) Set de fotografías tomadas por este perito en el lugar del proyecto, con fecha 11 de junio de 2019, las que fueron posicionadas geográficamente mediante un GPS.

3.2. Metodología de la pericia

La metodología empleada para el desarrollo de esta pericia se detalla a continuación.

En primer lugar, se revisaron todos los antecedentes detallados anteriormente.

Posteriormente, se realizó una visita a la instalación, el día martes 11 de junio de 2019, durante la cual se recorrió el recinto industrial, se tomaron fotografías, se verificó su estado sanitario general y se realizaron las siguientes mediciones:

- Concentración de los siguientes gases Amoníaco (NH_3) con un límite de detección de 0,1 ppm; Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) con un límite de detección de 0,04 ppm; gases y vapores inflamables mediante el Límite Explosivo Inferior (LEL, por sus siglas en inglés), con un límite de detección de 1% de metano y/o biogás; y monóxido de carbono (CO) con un límite de detección de 1 ppm. Todos estos gases fueron medidos en diversos puntos del vertedero Corcovado.
- pH en agua acumulada en piscina de lixiviados.

Asimismo, se pudo apreciar visualmente las características de la instalación.

Durante dicha diligencia se registraron todos los puntos relevantes en un GPS (sistema de posicionamiento global), mediante fotografías, los cuales se indican en el Anexo 2.

Todo lo anterior permitió establecer el potencial riesgo para la salud humana y/o para el medio ambiente del estado actual del vertedero Corcovado, así como la identificación de algunas oportunidades de mejora que podrían mejorar su condición y minimizar futuros riesgos en el largo plazo.

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los análisis realizados con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos de la pericia.

4.1. Descripción general de lo observado en la instalación

El Vertedero Corcovado presenta un estado mixto en cuanto a sus características actuales, luego de haber permanecido cerrado por aproximadamente seis años (desde 2013 a la fecha). En efecto, mientras algunos aspectos muestran un alto estándar de cumplimiento de los requisitos aplicables y de los estándares aceptados para el cierre de una instalación de estas características, existen algunos aspectos deficientes que podrían generar riesgos en el futuro, pero que pueden evitarse mediante la ejecución de oportunidades de mejora que se describen a continuación.

En cuanto a los aspectos adecuados o positivos de lo observado en terreno se pueden mencionar los siguientes:

- a) El sitio se encuentra cercado en su mayor parte, con un cerco en buen estado (ver fotografías en Anexo 2), aunque de una altura menor a la indicada en su permiso ambiental.
- b) La torta de residuos, que constituye el principal acopio de residuos del sitio, se encuentra en buen estado estructural, con sus taludes en buen estado y una cobertura vegetal tupida que da cumplimiento a una obligación de su permiso ambiental.
- c) No se observó el escurrimiento de lixiviados desde la torta de residuos.
- d) No se observó presencia alguna de vectores en el sitio durante la visita (roedores o aves).
- e) Existe un sistema de recolección de lixiviados, aunque su sistema de recirculación a la torta no se encuentra operando. No obstante, esto no constituye una deficiencia si la calidad del agua fuese adecuada para su disposición final, sobre lo que no existe información actualizada.
- f) La vialidad interna se encuentra en general en buen estado, aunque se evidencia la falta de mantenimiento en cuanto al control de maleza.
- g) Existe un sistema de canales perimetrales de hormigón, en buen estado casi en su totalidad, que permiten la conducción de las aguas lluvia a los cursos de agua naturales.
- h) Existen algunas señaléticas, aunque otras han desaparecido producto de la falta de mantenimiento o del vandalismo.
- i) En general, no se perciben malos olores en casi la totalidad del recorrido. Sólo en un sector reducido, entre las zanjas de lodos identificadas como 4, 5 y 7, se percibieron malos olores de manera significativa.

- j) La mayor parte de las denominadas “zanjas de lodos” se encuentran en buen estado, con sus geomembranas en buen estado y sus respiraderos de biogás operativos. Sin perjuicio de ello, existen algunas zanjas que evidencian algunos inconvenientes, los que se detallarán a continuación.

En cuanto a los aspectos deficientes que podrían generar riesgos en el futuro, se identificaron los siguientes:

- a) Se identificaron tres zanjas de lodos con algún tipo de problema, las que se describen a continuación:
 - a. En las zanjas identificadas en la Figura 2 con los N°s 4 y 5 se observó la cubierta plástica rota en algunos puntos.
 - b. En la zanja identificada con el N° 7 se observó una acumulación significativa de biogás, la que genera un notorio englobamiento de la geomembrana. Además, se observaban algunas cubiertas plásticas y geotextiles en mal estado. En este punto fue, además, donde se sintieron más fuerte olores desagradables.
- b) La piscina de lixiviados, aunque en buen estado de impermeabilización, carece de un destino final de las aguas contenidas en ellas.

Cabe señalar que la presencia de biogás englobado en las geomembranas dan cuenta que éstas aún mantienen su impermeabilidad, pero que el sistema de evacuación de biogás ha dejado de prestar servicio adecuado.

En base a todo lo anterior, es posible concluir que el Vertedero Corcovado posee diversos sistemas de control ambiental (geomembranas, zanjas de recolección y conducción de aguas lluvia, sistemas de ventilación para biogás, cobertura vegetal, entre otras) que lo hacen más semejante a un “relleno sanitario” que a un basural.

4.2. Puntos de medición de gases

La Figura 2 presenta puntos relevantes del recorrido de la instalación, en algunos de los cuales los se midieron las concentraciones de gases, u otros parámetros físico-químicos o se evidenciaron algunos aspectos del vertedero.



Figura 2. Puntos de medición de gases en el vertedero Corcovado

La Tabla 9 presenta las coordenadas de los puntos donde se realizaron mediciones de gases atmosféricos (coordenadas UTM H18 WGS84).

Tabla 9. Puntos de medición en el vertedero Corcovado

Punto de medición	Coordenada E (m)	Coordenada S (m)	Descripción de los puntos
1	603.282	5.309.033	Al costado de Piscina de Lodos N° 3, punto GPS N° 3
2	603.263	5.309069	Al costado de Piscina de Lodos, punto GPS N° 4
3	603.227	5.309.166	En rotura de cobertura plástica, punto GPS N° 6
4	603.062	5.309.332	En tubería de ventilación de biogás, punto GPS N° 7
5	603.067	5.309.317	En tubería de ventilación de biogás 1, torta de residuos, sin punto GPS
6	603.051	5.309.289	En tubería de ventilación de biogás

			2, torta de residuos, sin punto GPS
--	--	--	-------------------------------------

4.3.Resultados de las mediciones de gases

La Tabla 10 presenta los resultados de las mediciones realizadas en terreno.

Tabla 10. Resultados en los puntos de medición en el vertedero Corcovado

Punto de medición	Concentraciones medidas			
	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	LEL (%)	CO (ppm)
1	0,0	0,05	0	0
2	0,0	0,00	0	0
3	0,0	0,13	0	0
4	0,0	0,34	0	0
5	0,0	0,13	0	0
6	0,0	0,02	0	0
Promedio	0,0	0,11	0	0

4.4.Análisis de las concentraciones de gases y determinación de riesgos para la salud humana y el medio ambiente

La Tabla 11 presenta el análisis de riesgo para el compuesto NH₃

Tabla 11. Análisis de riesgo de NH₃

Punto de medición	Concentraciones medidas de NH ₃ (ppm)	Umbral de Riesgo: 20 (ppm)
		¿Existe Riesgo?
1	0,0	No
2	0,0	No
3	0,0	No
4	0,0	No

5	0,0	No
6	0,0	No

La Tabla 12 presenta el análisis de riesgo para el compuesto H₂S

Tabla 12. Análisis de riesgo de H₂S

Punto de medición	Concentraciones medidas de H ₂ S (ppm)	Umbral de Riesgo: 2-5 ppm
		¿Existe Riesgo?
1	0,05	No
2	0,00	No
3	0,13	No
4	0,34	No
5	0,13	No
6	0,02	No
Promedio	0,11	No

La Tabla 13 presenta el análisis de riesgo para el compuesto LEL.

Tabla 13. Análisis de riesgo de LEL

Punto de medición	Concentraciones medidas de LEL (%)	Umbral de Riesgo 5,0 %
		¿Existe Riesgo?
1	0	No
2	0	No
3	0	No
4	0	No
5	0	No
6	0	No

La Tabla 14 presenta el análisis de riesgo para el compuesto CO.

Tabla 14. Análisis de riesgo de CO

Punto de medición	Concentraciones medidas CO (ppm)	Umbral de Riesgo 9 ppm
		¿Existe Riesgo?

1	0	No
2	0	No
3	0	No
4	0	No
5	0	No
6	0	No

4.5. Resultados del monitoreo del agua contenida en la piscina de lixiviados

La piscina de lixiviados se encontraba llena de agua, a la cual se procedió a medir su pH. El resultado de esta medición arrojó un resultado de 6,8, esto es, en el rango neutral (muy cercano a 7,0), y dentro del rango habitual de pH de las aguas lluvia.

4.6. Análisis de los resultados de las mediciones realizadas

Un análisis de los resultados obtenidos, tanto de los gases atmosféricos como del pH de las aguas contenidas en la piscina de lixiviados, permite obtener las siguientes conclusiones preliminares:

- I. El Vertedero Corcovado se encuentra en una etapa de “maduración” (desde el punto de vista de sus gases) o “post-metanogénica” (desde el punto de vista de sus lixiviados), según se presentó en la Sección 2.4, por las siguientes razones principales:
 - a. No existe una alta generación de los gases que son habituales de encontrar en un vertedero ‘activo’ (H_2S , amoníaco y metano).
 - b. El pH de las aguas acumuladas en las piscinas de lixiviados se encuentra en el rango neutral, por lo que probablemente constituyan aguas lluvias y no posan características físico-químicas propias de líquidos lixiviados.
 - c. La total ausencia de vectores, y la mínima percepción de olores en la mayor parte del predio.
- II. La causa de lo anterior puede tener su origen en los siguientes elementos principales:
 - a. La caracterización inorgánica de los residuos dispuestos en la “torta”.
 - b. La gran cantidad de años que han transcurrido desde la última disposición de residuos en el vertedero (año 2011).

- c. La efectividad que han tenido los elementos de cierre que se implementaron en el período 2011-2012, sin perjuicio que es recomendable realizar nuevas actividades en el presente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la información revisada, y atendiendo la evidencia documental disponible a la fecha de la evaluación, complementada por la recogida de primera fuente por este perito durante la visita a terreno, es posible obtener las siguientes conclusiones:

El vertedero Corcovado no presenta riesgos para la salud de la población, por las siguientes razones principales:

- La torta de residuos, que constituye el principal acopio de residuos del sitio, se encuentra en buen estado estructural, con sus taludes en buen estado y una cobertura vegetal tupida que da cumplimiento a una obligación de su permiso ambiental.
- No se observó el escurrimiento de lixiviados desde la torta de residuos.
- Las concentraciones de todos gases potencialmente perjudiciales para la salud humana (amoníaco, ácido sulfhídrico y monóxido de carbono), o que pudieran poner en riesgo a la población por sus características de explosividad (biogás), se encontraban en niveles por debajo de su umbral de riesgo.
- El pH del agua almacenada en la piscina de lixiviados fue de 6,8, el cual es considerado neutral y acorde al pH natural de las aguas lluvia. Sin perjuicio que se recomienda una evaluación más detallada de esta agua, a teoría indica que el tiempo transcurrido desde el cierre del vertedero hasta la fecha ha generado una disminución de la carga contaminante.
- Tanto los resultados de los monitoreos de variables ambientales como la revisión del estado general del vertedero el día de la visita arrojaron como conclusión la ausencia de riesgos para la salud de la población y/o para el medio ambiente como consecuencia de la presencia del vertedero Corcovado en su estado y condición actual.
- No se observó la presencia de ningún tipo de vectores.

Adicionalmente, se identificaron algunas oportunidades de mejora, es decir, situaciones que permitan asegurar, una adecuada gestión evitando potenciales riesgos en el futuro. Las principales oportunidades de mejora identificadas fueron las siguientes:

- a) Liberación controlada del biogás acumulado bajo algunas geomembranas de zanjas de lodos.
- b) Reemplazo de geomembranas, geotextiles y/o cubiertas plásticas dañadas, sin perjuicio que se pudo verificar que ellas mantienen su impermeabilidad como un todo.
- c) Mejoramiento de los sistemas de recolección y canalización de aguas lluvia, en especial de aquéllas que caen sobre las antiguas zanjas de lodos.
- d) Realizar un monitoreo más detallado del líquido contenido en la piscina de lixiviados, para evaluar una adecuada gestión de los lixiviados de la torta de residuos.

En base a todo lo anterior, es posible concluir que el Vertedero Corcovado posee diversos sistemas de control ambiental (geomembranas, zanjas de recolección y conducción de aguas lluvia, sistemas de ventilación para biogás, cobertura vegetal, entre otras) que lo hacen más semejante a un “relleno sanitario” que a un basural.

Sírvase Ud., si lo estima conveniente, aceptar las conclusiones de carácter técnico expuestas, en relación a la materia de este peritaje en el ámbito de la Ingeniería Civil Ambiental.

Pablo A. Baraño Díaz

Ingeniero Civil PUC

Perito Judicial

6. REFERENCIAS

- AFC International, 2018, Combustibles Gas Chart, Gas Detection & Air Monitoring Specialists [online], Disponible en: <http://www.afcintl.com/pdf/combustibles.pdf> [Recuperado el: 26/09/2018].
- ATSDR, 2016, Resúmenes de Salud Pública - Amoníaco (Ammonia), Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, USA
- Atta Atia, PhD, 2018, Ammonia Emissions and Safety, Agriculture and Forestry, Government of Alberta, Alberta, Canada
- Collins, J., et al. 2000, Hydrogen Sulfide: Evaluation Of Current California Air Quality Standards With Respect To Protection Of Children, California Air Resources Board, California Office of Environmental Health Hazard Assessment
- Dellinger B. et al, 2008, Combustion Byproducts and Their Health Effects: Summary of the 10th International Congress, Environmental Engineering Science, 10th International Congress on Combustion Byproducts and their Health Effects
- Delphian, 2018, About Combustible Gas Monitors, [online], Disponible en: <http://www.delphian.com/chc.htm> [Recuperado el: 26/09/2018].
- DS 594, 1999, Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, Ministerio de Salud, Chile
- DR Lide, Handbook of chemistry and physics 84-th edition, CRC press, 2003.
- ECHA, 2018, Ammonia anhydrous, European Chemicals Agency, European Union
- EHD, 2009, Hydrogen Sulphide and Public Health, Environmental Health Guide, Department Of Health, Government of Western Australia
- Engineering ToolBox, 2005. Carbon Monoxide and Health Effects. [online] Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/carbon-monoxide-d_893.html [Recuperado el: 26/09/2018].
- EPA, 1995, Control and Pollution Prevention Options for Ammonia Emissions, Control Technology Center, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency
- EPA, 2018, Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air, United States Environmental Protection Agency (EPA), [online] Disponible en: <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO> [Recuperado el: 24/09/2018].
- Expediente Ambiental del Proyecto Centro de Acopio Intermedio de Residuos Peligrosos, Corcovado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, disponible en: http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=607729

- IVHHN, 2018, Guía Sobre los gases volcánicos, The International Volcanic Health Hazard Network [online], Disponible en: <https://www.ivhnn.org/es/guidelines/guia-sobre-gases-volcanicos/hidrogeno-de-sulfuro>
- HJ Glynn, GW Heinke, Ingeniería Ambiental. 2da. ed. México, Pearson Educación, 1999.
- Lide, 2003, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th edn. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- M. Loizidou, E.G. Kapetanios, Study on the gaseous emissions from a landfill, Science of The Total Environment, Volume 127, Issue 3, 1992.
- NAP, 2010, Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8, Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, The National Academies Press (NAP), Washington D.C., USA
- NIOSH, 2011, Ammonia, The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Center for Disease Control and Prevention
- NIOSH, 2016, Carbon Monoxide, The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Center for Disease Control and Prevention
- OSHA, 2018, Hydrogen Sulfide, Occupational Safety and Health Administration, United States Department of Labor
- OMS, 1981, Hydrogen sulfide, Environmental Health Criteria, No. 19, World Health Organization (OMS), Geneva
- OMS, 2000, Air Quality Guidelines, World Health Organization (OMS) Regional Office for Europe, Chapter 6.6 Hydrogen sulfide Second Edition, Copenhagen, Denmark
- Proin-pinilla, 2018, Gases y Vapores Tóxicos, Inflamables, LEL y protección se explosión en el trabajo, consejos seguridad laboral [online], Disponible en: <https://equiposproteccion.com/gases-y-vapores-toxicos-inflamables-lel-y-proteccion-de-explosion-en-el-trabajo/> [Recuperado el: 14/09/2018].
- PRTR, 2007, NH3 Amoniaco, Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, Ministerio para la Transición Ecológica, España
- Roth S y Goodwin V. 2003, Health Effects of Hydrogen Sulphide: Knowledge Gaps, Alberta Council for Research on Air and Health (ACRAH), Alberta, Canada.
- SCOEL, 2011, DLEP 69: Documentación Toxicológica Para El Establecimiento del Límite de Exposición Profesional De Sulfuro De Hidrógeno, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, Scientific Committee on Occupational Exposure Limit Values (SCOEL), Unión Europea.
- SCOEL, 2011, DLEP 56, Documentación Toxicológica Para El Establecimiento Del Límite De Exposición Profesional De Amoniaco, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, Scientific Committee on Occupational Exposure Limit Values (SCOEL), Unión Europea.

SCOEL, 1995 SUM 57: Documentación Toxicológica Para El Establecimiento Del Límite De Exposición Profesional De Sulfuro De Hidrógeno, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, Scientific Committee on Occupational Exposure Limit Values (SCOEL), Unión Europea.

Werner Sölken, 2018, Límites explosivos inferiores y superiores para gases y vapores inflamables Disponible en: http://www.wermac.org/safety/safety_what_is_lel_and_uel.html [Recuperado el: 26/09/2018].