



Guillermo Saavedra Molina
ORHMA ING. LTDA.
Ingeniería & Medioambiente

Firmado con firma electrónica
avanzada por
GUILLERMO RODRIGO
SAAVEDRA MOLINA
Fecha: 2021.11.12 05:07:59 -0300

**“ESTUDIO DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL
RELLENO SANITARIO PUNTRA EL ROBLE.
COMUNA DE ANCUD, PROVINCIA DE CHILOÉ,
REGIÓN DE LOS LAGOS”**



MANDANTE:

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANCUD

NOVIEMBRE 2021

INDICE CONTENIDOS

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO.....	2
2. GEOMETRÍA ACTUAL DE LA MASA DE RESIDUOS DEL RELLENO SANITARIO PUNTRA EL ROBLE.....	3
3. VOLUMEN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DEPOSITADOS Y COBERTURA UTILIZADA EN EL RELLENO SANITARIO PUNTRA.....	9
4. MANEJO DE AGUAS LLUVIAS Y DE LIXIVIADOS.....	12
5. ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL RELLENO SANITARIO.....	15
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.....	17
7. BIBLIOGRAFÍA DE APOYO.....	21
8. EQUIPO TÉCNICO.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM polígono Relleno Sanitario Puntra El Roble.....	3
Tabla 2. Estadística de residuos sólidos recepcionados años 2020 y 2021 (Fuente: DIMAO – I.M. Ancud).....	9
Tabla 3. Elaboración propia a partir de la campaña en terreno.....	10
Tabla 4. Volumen de Residuos dispuestos y cobertura utilizada.....	11
Tabla 5. Resultados de la modelación de estabilidad de los taludes del R.S. Puntra.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación espacial de la zona del proyecto.....	3
Figura 2. Relleno sanitario Puntra El Roble (10-11-2021).....	4
Figura 3. Geometría actual del relleno sanitario Puntra El Roble (13 y 16 de octubre 2021).	5
Figura 4. Relieve actual tomado desde última topografía ejecutada por el equipo consultor (16-10-2021).....	6
Figura 5. Perfiles transversales de la geometría actual de la masa del R.S. Puntra (octubre- 2021).	7
Figura 6. Perfil longitudinal de la geometría actual de la masa de residuos del R.S. Puntra (octubre-2021).	7
Figura 7. Registro fotográfico de calicatas no invasivas sobre el relleno sanitario.....	10
Figura 8. Estado del vertedero cubierta su superficie con polietileno (15-10-2021).....	12
Figura 9. Estado del vertedero cubierta su superficie con polietileno (10-11-2021).....	12
Figura 10. Gráfica elaborada a partir de los datos de terreno de DIMAO-ANCUD.	13
Figura 11. Puntos de control y/o extracción de lixiviados del R.S. Puntra.	14
Figura 12. Lixiviados extraídos del R.S. Puntra entre agosto 2020 y octubre 2021.	14
Figura 13. Perfiles transversales del R.S. Puntra a analizar su estabilidad.....	15
Figura 14. Clasificación en tres fases temporales de los asentamientos, según teoría de Sowers (1973).....	17
Figura 15. Evolución temporal ideal de la composición del biogás en un relleno de residuos domésticos. Fuente: “Guidance on the Management of Landfill Gas”, Environment Agency UK, Draft Nov 2002.....	19

ANEXOS

Anexo 1: Análisis estabilidad estructura Relleno Sanitario Puntra El Roble.

Anexo 2: Informe de Muestreo en Terreno.

Anexo 3: Resultados ensayos de laboratorio mecánica de suelos (2020 y 2021).

Anexo 4: Planos.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO.

El presente documento responde a la necesidad de realizar un análisis estructural del relleno sanitario realizado con residuos sólidos domiciliarios (RSD) en una zanja sanitaria que se fue ampliando en la medida que fue necesario entre el 10 de enero 2020 y el 30 de junio 2021 que estuvo en operaciones dicho sitio de disposición final, en el sector de Puntra El Roble en la comuna de Ancud, provincia de Chiloé, en la Región de Los Lagos. Lo anterior, en el contexto de lo solicitado por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) para dar cumplimiento a medidas provisionales indicadas en su Resolución Exenta n°1469/2021 hacia "RELLENO SANITARIO DE RSD PUNTRA".

Dicho análisis estructural ha sido se ha desarrollado según la licitación pública ID_2660-34-LE21 adjudicada al ingeniero civil y consultor en materias de residuos, Guillermo Saavedra. El estudio encomendado ha sido abordado por tres ingenieros expertos en sus distintas especialidades: geología y trabajo de campo, geotecnia y en manejo y operación de sitios de disposición final.

En el anexo n°3 se incorporan los resultados de ensayos de laboratorio de suelo, los realizados el noviembre del 2020 y los realizados en octubre 2021; así como mediciones de terreno que permitieron introducir valores reales a los modelos y un análisis detallado de la estabilidad de los taludes del relleno sanitario Puntra.

Se analizarán en este informe al menos lo siguiente:

- i. Estado de la geometría de la masa de residuos.***
- ii. Volumen de residuos depositados y cobertura utilizada.***
- iii. Manejo de aguas lluvias y de lixiviados.***
- iv. Estabilidad de los taludes del relleno sanitario.***

Estos puntos se analizarán según la normativa vigente aplicable y normas generales de la ingeniería civil aplicable a este tipo de obras.

Las conclusiones y recomendaciones finales intentarán responder interrogantes que dicen relación con: i) la estabilidad de los taludes; y ii) recomendaciones para cumplir el fallo de la Excelentísima Corte Suprema, que ha solicitado el retiro de los residuos depositados en los 18 meses de operación del recinto.

2. GEOMETRÍA ACTUAL DE LA MASA DE RESIDUOS DEL RELLENO SANITARIO PUNTRA EL ROBLE.

El Relleno sanitario Puntra El Roble de propiedad de la I. Municipalidad de Ancud, se emplaza en la Comuna de Ancud, Provincia de Chiloé, Región de Los Lagos; específicamente por un camino secundario a unos 12,5 km hacia el nor-oeste de la Ruta 5 Sur (Cruce Puntra a 36 Km. Desde Ancud a Castro), específicamente por un camino de tierra denominado por Vialidad ruta W-340. Las coordenadas U.T.M. del polígono del recinto:

Vértices	Norte (m.)	Este (m.)
V 1	5.339.492,03	593.104,49
V 2	5.339.552,39	593.221,97
V 3	5.339.406,92	593.278,99
V 4	5.339.282,32	593.313,14
V 5	5.339.246,89	593.310,67
V 6	5.339.190,66	593.257,72
V 7	5.339.304,21	593.177,29
V 8	5.339.417,08	593.125,99

Tabla 1. Coordenadas UTM polígono Relleno Sanitario Puntra El Roble.

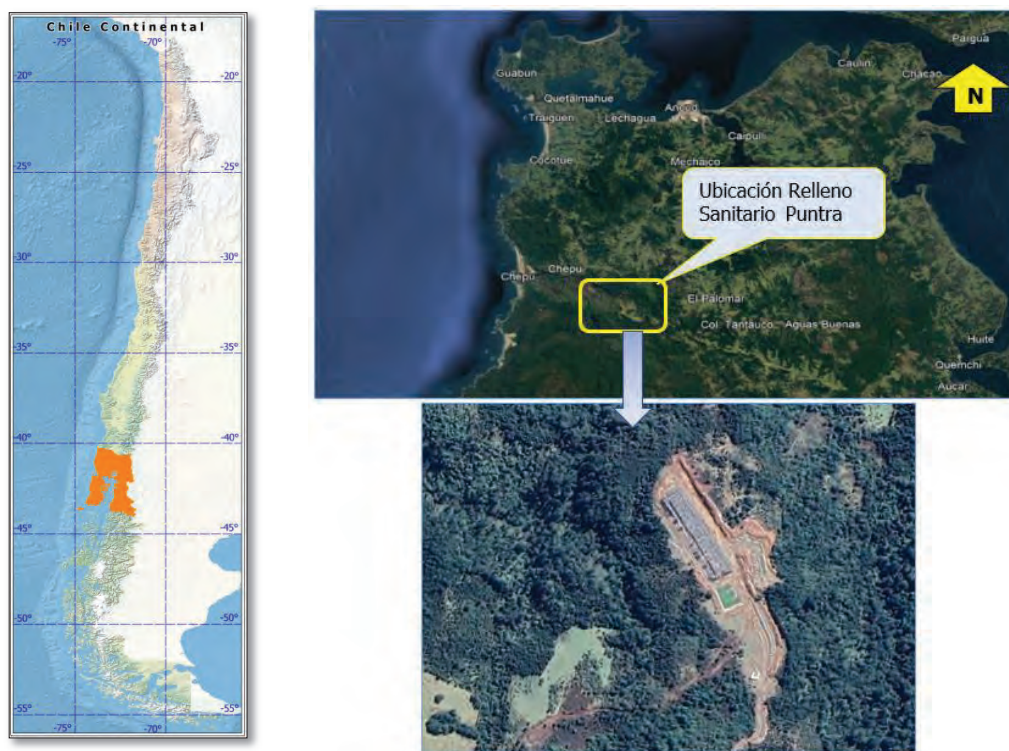


Figura 1. Ubicación espacial de la zona del proyecto.

Luego del cierre definitivo del relleno sanitario Puntra El Roble, solicitado por las autoridades competentes, a fines del mes de junio del presente año 2021 se generó un mejoramiento de su geometría y en el mes de agosto pasado se procedió a cubrir todo el relleno sanitario con polietileno negro (del tipo “invernadero”) por las siguientes razones técnicas:

- ✓ Evitar la infiltración de aguas lluvias en las dos sobreceldas superiores y por ende hacia el interior de la masa de residuos.
- ✓ Control de posibles afloramientos de lixiviados.
- ✓ Mejorar su estabilidad estructural antes del cierre definitivo, al bajar sus niveles hidroestáticos de lixiviados.
- ✓ Propender que sus asentamientos diferenciales por la extracción de lixiviados y evacuación del biogás producto incipiente biodegradación de la materia orgánica sea homogénea en toda la masa

El estado de la geometría actual del vertedero es la que se aprecia en las siguientes fotografías:

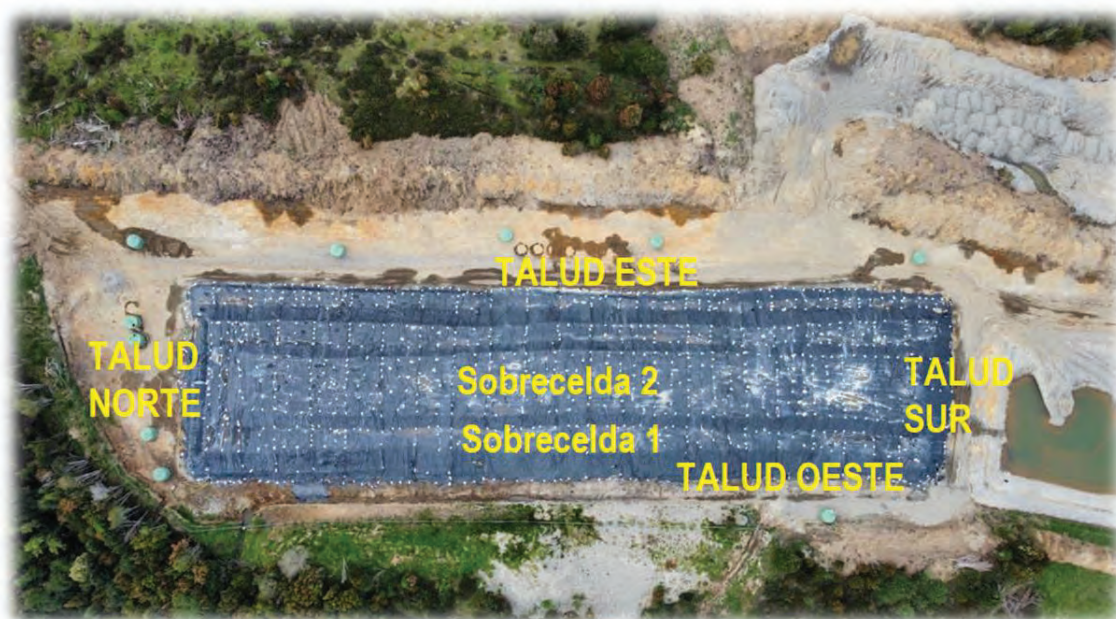


Figura 2. Relleno sanitario Puntra El Roble (10-11-2021).



Figura 3. Geometría actual del relleno sanitario Puntra El Roble (13 y 16 de octubre 2021).

Los levantamientos topográficos base para el análisis de estabilidad se utilizaron los realizados diciembre 2019, febrero 2020, diciembre 2020, **julio 2021 (luego del cese de operaciones de disposición de residuos)** complementado con un nuevo levantamiento el 16 de octubre 2021.

En la siguiente figura se muestran la geometría resultante:

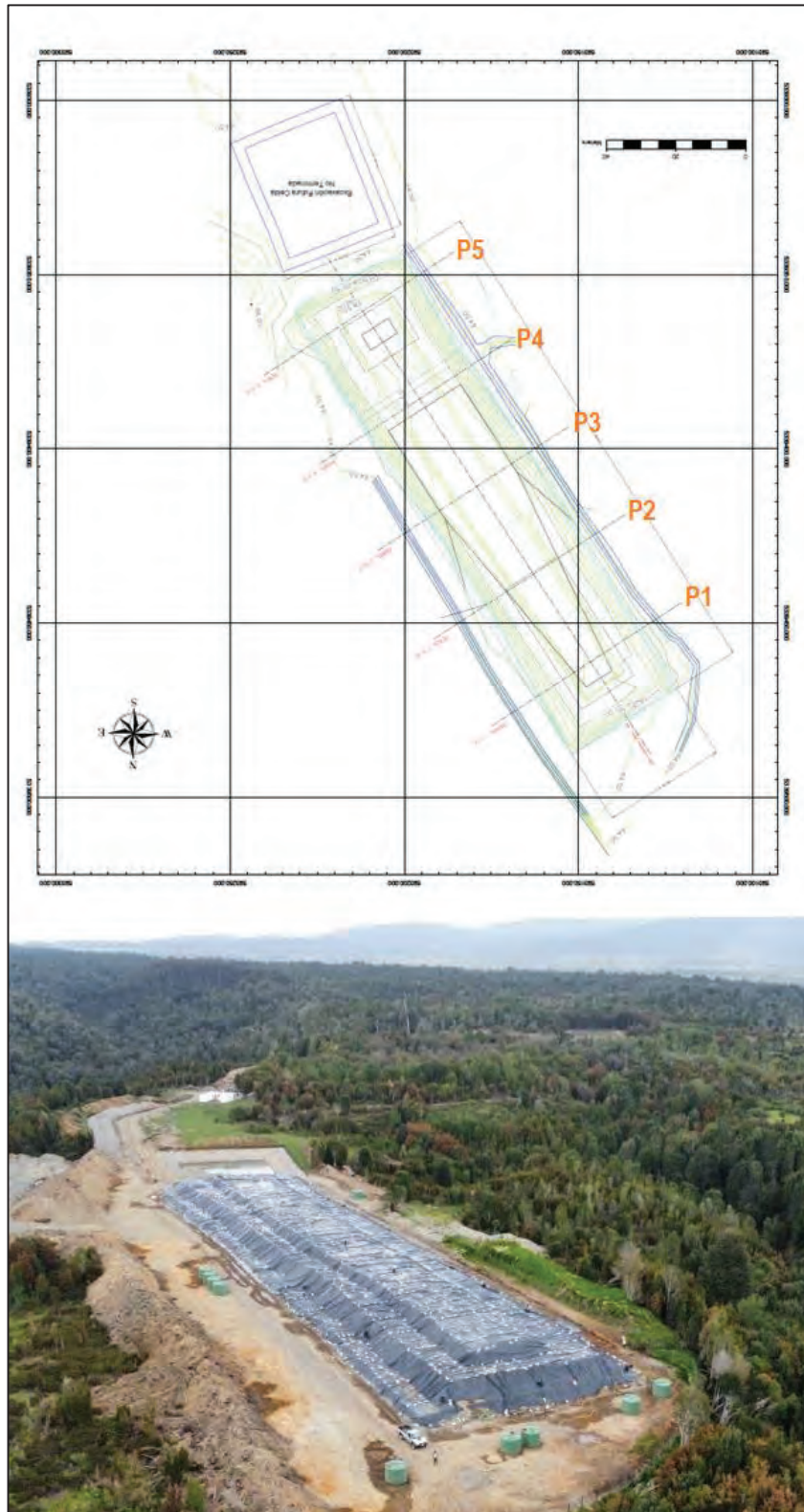


Figura 4. Relieve actual tomado desde última topografía ejecutada por el equipo consultor (16-10-2021).

Nota: Los perfiles transversales se identifican con la letra “P” seguida del número correlativo.

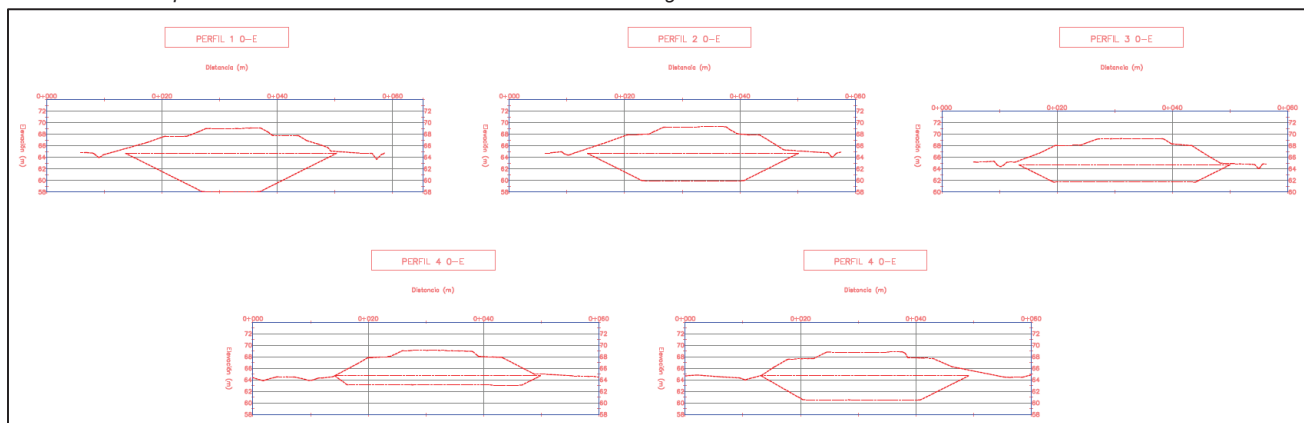


Figura 5. Perfiles transversales de la geometría actual de la masa del R.S. Puntra (octubre-2021).

Actualmente el coronamiento del relleno sanitario está en torno a 70 m.s.n.m. con una altura total sobre el nivel de piso terminado (NPT) entre 4,0 y 5,2 metros:

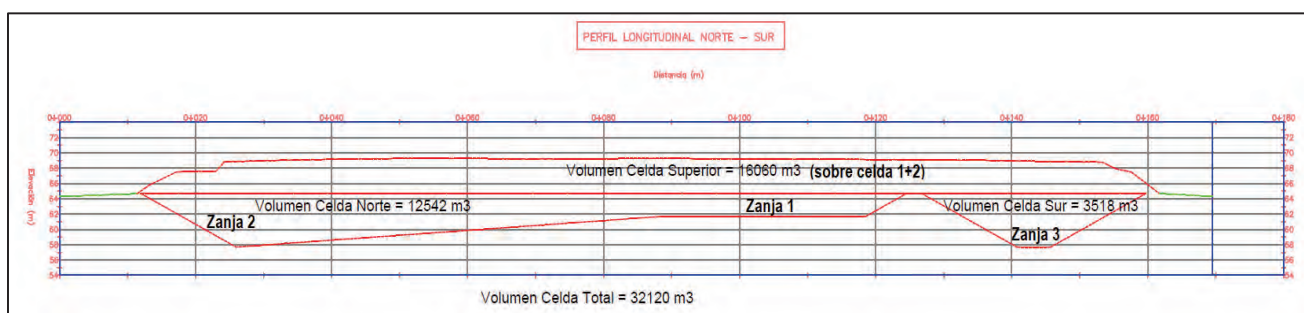


Figura 6. Perfil longitudinal de la geometría actual de la masa de residuos del R.S. Puntra (octubre-2021).

Por otro lado, el rotulado de las zanjas construidas (figura 6) que tienen residuos domiciliarios dispuestos en su interior, obedece a su secuencia de construcción, según el siguiente detalle:

El proyecto presentado a la autoridad sanitaria en diciembre 2019, contemplo en un principio una zanja de 110 metros de largo y 34 de ancho, el cual tuvo dos construcciones; por ello para efectos del análisis se divide en “zanja 1” y “zanja 2”. La primera etapa (zanja 1) a una profundidad de 3 metros y la segunda etapa (zanja 2) a 6 metros de profundidad. Dicha zanja posee impermeabilización basal del suelo, de abajo hacia arriba:

- i. Suelo natural compactado.
- ii. Geotextil de 200 gr/m².
- iii. Una lámina de HDPE de 1,5 mm de espesor.
- iv. Un geotextil de 300 gr/m², el cual tendrá contacto con los residuos.
- v. Una capa de árido de canto rodado para drenar los lixiviados de 30 centímetros de espesor de ½” máximo.

Esta zanja contemplo una primera sobrecelda de 3 metros en altura y posteriormente una segunda sobrecelda de 1,2 metros, teniendo en total una altura de 4,2 metros de promedio (entre 4,0 y 5,2 m los valores mínimo y máximo, respectivamente).

Cuando se culminó la vida útil de la zona habilitada (zanjas 1 y 2) se procedió a realizar una nueva adecuación; para efectos del análisis actual llamaremos zanja n°3, en una prolongación de 35 metros de largo y 34 metros de ancho, que se empalmo con la zanja colindante (zanja n°2).

Más detalle ver los planos en el anexo n°4.

3. VOLUMEN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DEPOSITADOS Y COBERTURA UTILIZADA EN EL RELLENO SANITARIO PUNTRA.

Los residuos dispuestos en el sitio de disposición final de Puntra El Roble fueron del tipo residuos sólidos domiciliarios y exclusivos de la comuna de Ancud, desde enero 2020 a junio 2021 (18 meses); los cuales se presentan de forma resumida en la siguiente tabla:

Residuos Dispuestos en RRSS Puntra (m ³)		
Mes	2020	2021
Enero	1.463	1.444
Febrero	1.482	1.387
Marzo	1.615	1.539
Abril	1.349	1.501
Mayo	1.235	1.406
Junio	1.330	1.444
Julio	1.482	0
Agosto	1.368	0
Septiembre	1.520	0
Octubre	1.539	0
Noviembre	1.577	0
Diciembre	1.482	0
Total (m3)	17.442	8.721
	26.163 (m3)	

No hay ingreso de residuos

Tabla 2. Estadística de residuos sólidos recepcionados años 2020 y 2021 (Fuente: DIMAO – I.M. Ancud).

Por otro lado, luego de la modelación del fondo y la parte superior del relleno sanitario, se procedió a calcular con software civil-cad 3D el volumen geométrico global del relleno sanitario Puntra, obteniéndose 31.120 m³ considerando residuos y su cobertura térrea.

Por otra parte, se realizaron 4 calicatas (A, B, C y D) en la plataforma superior del relleno sanitario, las cuales se ejecutaron con moto-barreno de diámetro Ø150 mm y 75 centímetros de profundidad, se optó por esta herramienta, dada la precaución de no usar maquinaria pesada, dado que se desconocía el nivel de estabilidad del relleno sanitario. El objetivo era determinar el espesor de cobertura del relleno sanitario luego del cese de disposición de residuos; dichas calicatas arrojaron los siguientes resultados:

ID Calicata	Coordenada UTM Norte	Coordenada UTM Este	Espesor Cobertura (cm)	Zona Calicata
A	5.339.384	593.202	29,10	Sur
B	5.339.406	593.187	29,80	Centro-Sur
C	5.339.431	593.171	34,50	Centro-Norte
D	5.339.453	593.157	29,30	Norte
		Promedio	30,67	

Tabla 3. Elaboración propia a partir de la campaña en terreno.

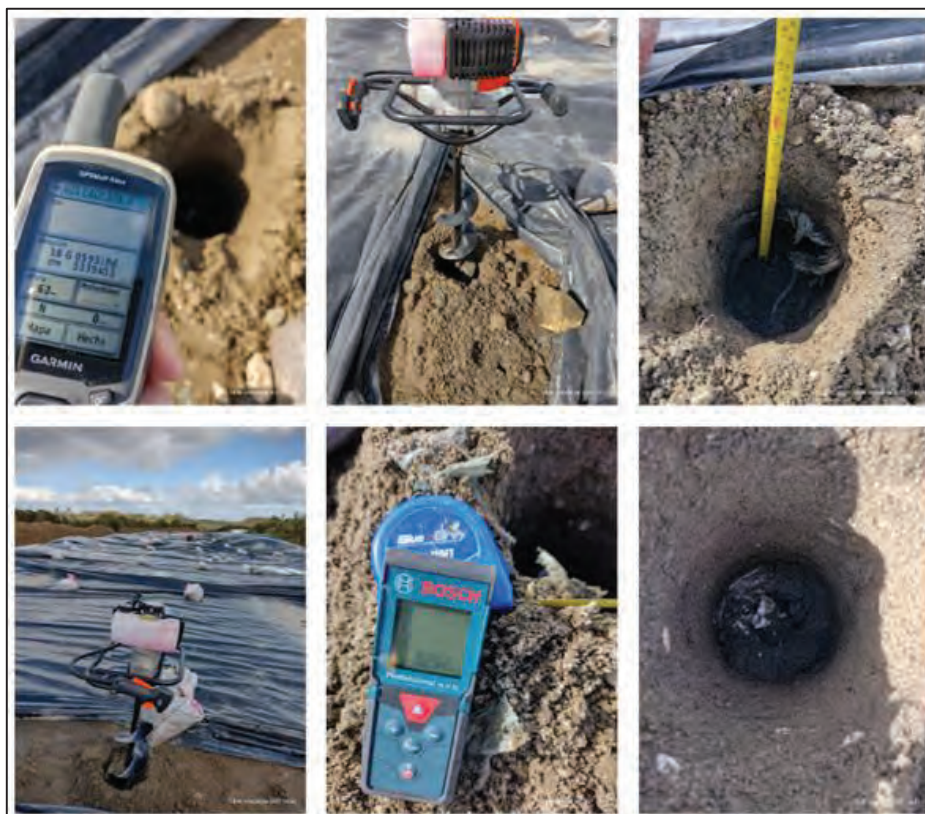


Figura 7. Registro fotográfico de calicatas no invasivas sobre el relleno sanitario.

Por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados de residuos y cobertura usada en los 18 meses de operación del relleno sanitario:

Volúmenes de RSD Dispuestos en RRSS Puntra									
ZONA DE DISPOSICIÓN	FECHA APERTURA	FECHA CIERRE	TIEMPO DE OPERACIÓN		ACUMULADO (m3)*	Volúmen Ocupado (ton)	Volúmen Cobertura (m3) **	% de Cobertura	
			(meses)	(Años)					
Zanja 1+2	10-01-2020	10-08-2020	7,1	0,59	12.542	6.603	2.061	31,2%	
Zanja 3	11-08-2020	09-10-2020	2,0	0,16	3.518	1.831	611	33,4%	
Sobreceldas 1 y 2	10-10-2020	30-06-2021	8,8	0,73	16.060	8.303	2.880	34,7%	
ACUMULADO EN CEMARC (Ton) =			17,8	1,49	32.120	16.738	5.552		
*(Residuos + cobertura)									
** Promedio Cobertura:							33,2%		

Tabla 4. Volumen de Residuos dispuestos y cobertura utilizada.

Es decir, se utilizaron 5.552 m³ de cobertura y por ende se dispusieron 26.568 m³ de residuos sólidos domiciliarios, y ambos valores totalizan los 31.120 m³ de la modelación a partir de las topografías realizadas.

4. MANEJO DE AGUAS LLUVIAS Y DE LIXIVIADOS.

Al momento de realizar la campaña de terreno la semana del 13 al 15 de octubre pasado, en sucesivas visitas al relleno sanitario Puntra El Roble, se tenía una situación controlada en términos del manejo de las aguas lluvias, la minimización del ingreso de aguas lluvias a la masa de residuos, ya que, según profesionales de la DIMAO-ANCUD, en el mes de agosto se había instalado en toda la superficie del relleno sanitario un film de polietileno para lograr la evacuación rápida de aguas lluvias por taludes y bermas, y así minimizar la infiltración de las precipitaciones por la cobertura, como se observa en las siguientes imágenes:

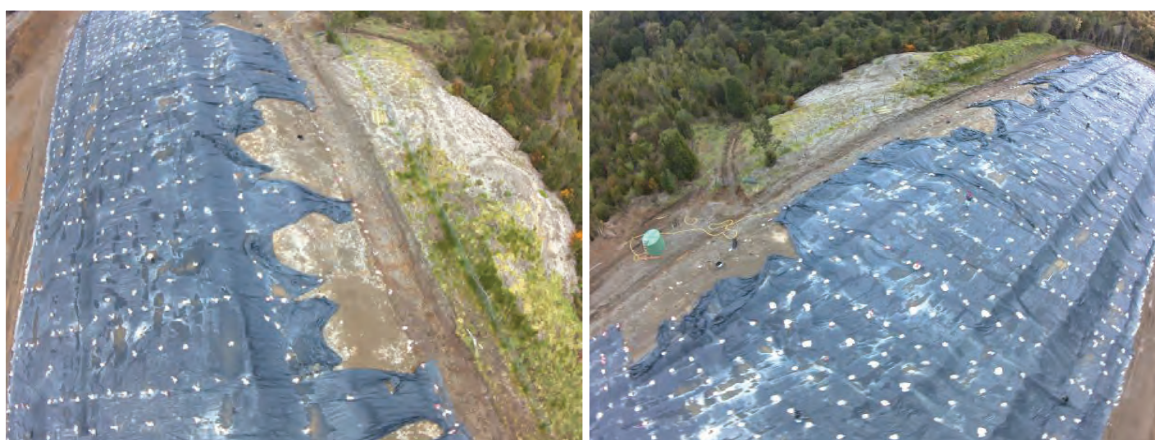


Figura 8. Estado del vertedero cubierta su superficie con polietileno (15-10-2021).



Figura 9. Estado del vertedero cubierta su superficie con polietileno (10-11-2021).

Nota: El día 15 de octubre 2021, el polietileno presentaba imperfecciones en el talud oeste al momento de las fotografías. Cuestión que fue mejorada y se aprecia en las fotografías del 10 de noviembre recién pasado.

Cabe destacar también, que los canales perimetrales existentes presentaban buenas condiciones que permitían libre escurrimiento de las aguas lluvias limpias

que salían del relleno sanitario; no detectándose cárcavas por erosión pluvial ni arrastre de sedimentos.

En cuanto al manejo de lixiviados, es posible señalar que los niveles hidroestáticos se mantienen por debajo de 1,0 metro, los cuales han disminuido ostensiblemente luego de la instalación del polietileno (agosto 2021), lo cual es relevante en el análisis de estabilidad que se detallará más adelante; lo indicado se aprecia en la siguiente gráfica:

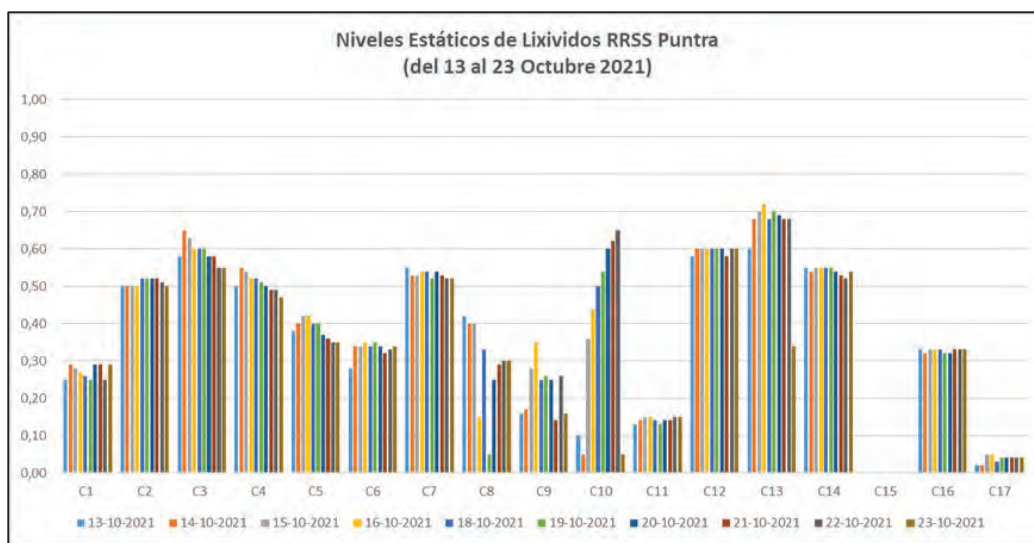


Figura 10. Gráfica elaborada a partir de los datos de terreno de DIMAO-ANCUD.



Figura 11. Puntos de control y/o extracción de lixiviados del R.S. Puntra.

En cuanto a la extracción de lixiviados desde la masa, esta se hace de forma sistemática el personal operativo municipal del relleno sanitario Puntra. El lixiviado es derivado, para almacenamiento temporal, a estanques de fibra de alta densidad instalados en el perímetro del relleno sanitario, a un costado de los caminos operacionales, de forma de facilitar la extracción para luego trasvasijar al camión aljibe que traslada a planta de tratamiento autorizada en la Región de Ñuble (Chillán).

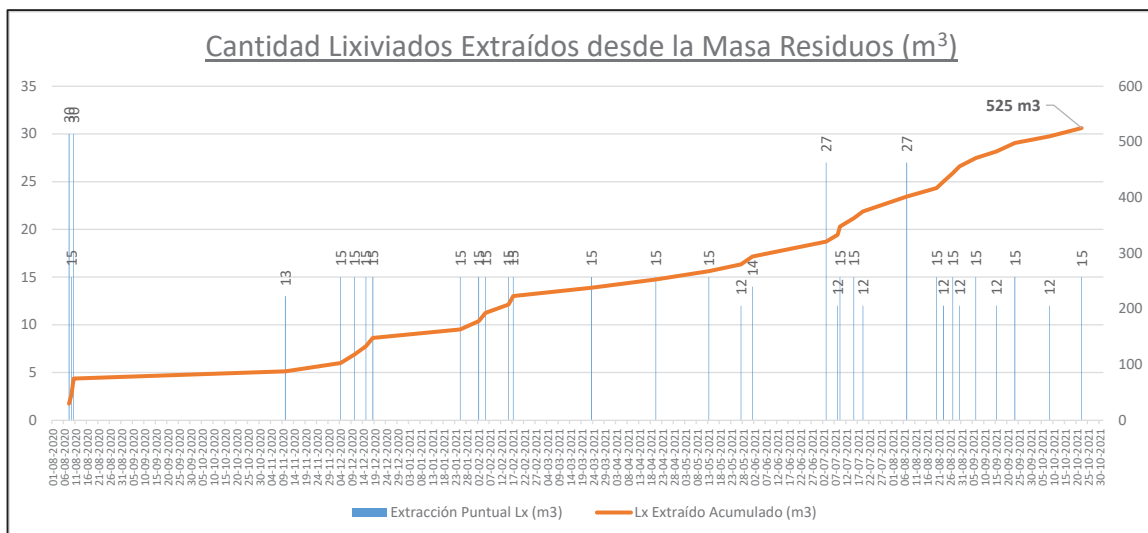


Figura 12. Lixiviados extraídos del R.S. Puntra entre agosto 2020 y octubre 2021.

5. ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL RELLENO SANITARIO.

La geometría de los taludes del relleno sanitario quedó representada en la figura n°5, pero a continuación se destacan los taludes más desfavorables para el análisis de estabilidad, si los factores de seguridad se cumplen para estos perfiles, se cumplirán para los taludes restantes, a juicio del especialista geotécnico, Sr. Fernando Vergara:

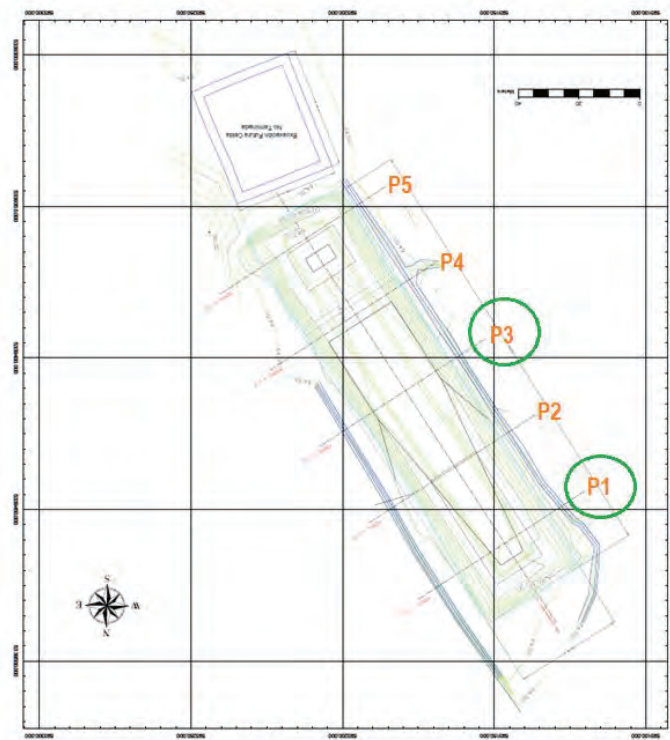
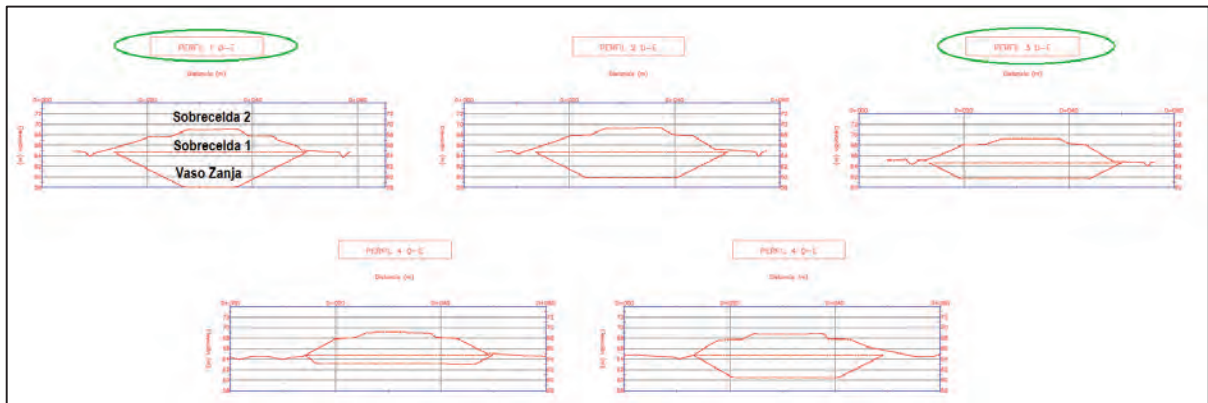


Figura 13. Perfiles transversales del R.S. Puntra a analizar su estabilidad.

La estabilidad de los taludes del relleno sanitario se ha realizado al abordar el análisis por **equilibrio límite** el cual considera las fuerzas y momentos mediante la metodología de Morgenstern-Price. Se considera estable si el factor de seguridad estático obtenido $FSe \geq 1,5$ y para el caso sísmico $FSs \geq 1,2$.

Dado que la normativa aplicable al relleno sanitario es el D.S.189/2005, el cual establece en su **artículo 15**: (extracto) “...**la relación entre los esfuerzos resistentes y los esfuerzos deslizantes es mayor o igual a 1,5 en condiciones estáticas y mayor o igual a 1,3 bajo condiciones dinámicas**”.

Por lo tanto, se considerará un talud estable si el factor de seguridad estático obtenido $FSe \geq 1,5$ y para el caso sísmico $FSs \geq 1,3$.

El detalle el estudio geotécnico y de estabilidad, realizado por el ing. geotécnico, se adjunta en el anexo n°1; así como en el anexo n°2 se incluye el informe del muestreo de terreno del ing. civil geólogo.

Los resultados de la modelación de estabilidad fueron los siguientes:

Perfil N°	Caso Estático FS _e	Caso Dinámico FS _s	Artículo 15 D.S.189/2005
1 (sin nivel freático/lixiado)	3,46	1,72	Cumple
3 (sin nivel freático/lixiado)	2,39	1,58	Cumple
3 (con 1,0 metro de nivel freático/lixiado)	2,39	-	Cumple
1 (con 1,0 metro de nivel freático/lixiado)	-	1,71	Cumple

Tabla 5. Resultados de la modelación de estabilidad de los taludes del R.S. Puntra.

Por lo tanto, es posible afirmar que el relleno sanitario, en particular todos sus taludes, son estables para las condiciones actuales evaluadas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.

Durante el trabajo en terreno, desarrollado entre los días 13 y 15 de octubre pasado, no se realizaron hallazgos de posibles estratos que correspondieran a suelos con características especiales tales como: suelos expansivos, suelos potencialmente licuables o colapsables. La ubicación del relleno sanitario y las características topográficas de su entorno inmediato a este no conlleva ni peligros de inundaciones ni a deslizamientos de taludes cercanos. (Esteban Conejeros, Ing. Civil Geólogo - UCSC). Realizadas las prospecciones de terreno y ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales y adoptando parámetros conservadores (de Cohesión, C , y ángulo de fricción, β), se ha obtenido en análisis de estabilidad del relleno para los perfiles mas desfavorables un factor de seguridad estático $FSe \geq 1,5$ y un factor de seguridad sísmico $FSs \geq 1,3$ (artículo 15 D.S. 189/2005), por lo tanto, se considera que los taludes del relleno sanitario Puntra El Roble son estables. (Fernando Vergara, Ing. Civil – UCSC. Postítulo Geotecnia - PUC).

Lo anterior es posible de explicar si consideramos la teoría de asentamiento de residuos en los rellenos sanitarios dada por el Profesor Sowers, que la divide en 3 fases: **compresión inicial, compresión primaria y compresión secundaria**.

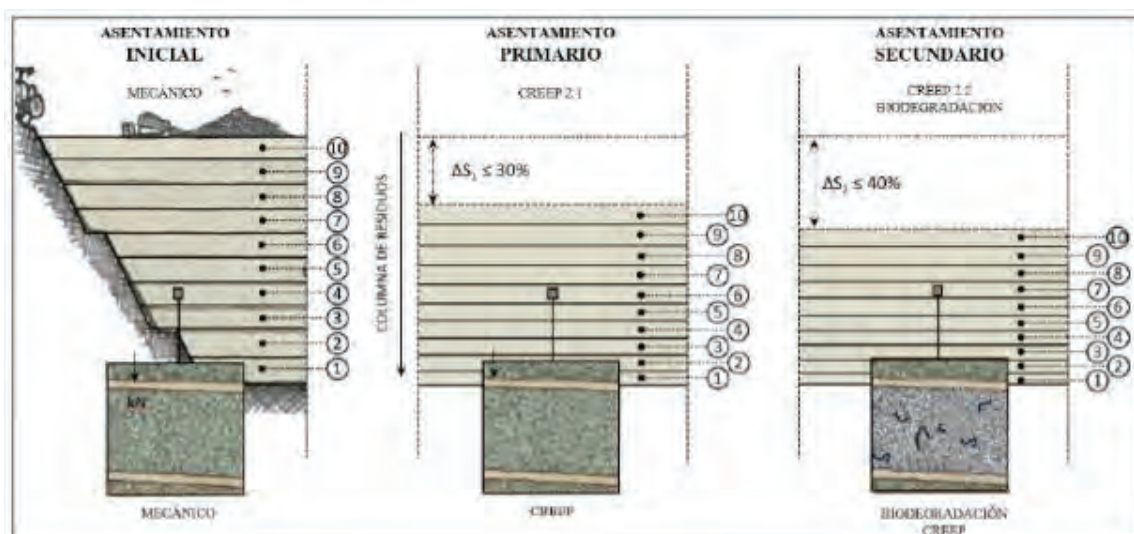


Figura 14. Clasificación en tres fases temporales de los asentamientos, según teoría de Sowers (1973).

Asentamiento Primario: Se produce durante los treinta días posteriores al vertido (Sowers 1973; Edil et al. 1990), aunque puede prolongarse hasta los tres meses (Oweis & Khera 1990).

La magnitud de este asentamiento es consecuencia de la compresibilidad y las deformaciones elásticas que sufre la masa de residuos cuando continúan los vertidos a

niveles superiores. Estos asentamientos pueden constituir entre **un 5 y un 30% del asentamiento total** producido (Sowers 1973; Edil et al. 1990).



Asentamiento Secundario: Los asentamientos a largo plazo pueden atribuirse a muchos factores, entre otros, a la falta de compactación en zonas concretas (Sowers, 1968; Eders et al., 1992), a la disolución de fracciones sólidas en el lixiviado percolado (Bleiker et al. 1995) o al incremento de la compresibilidad de la masa de residuos por la aplicación de cargas de estructuras construidas sobre el depósito ya clausurado (Edil et al. 1990).

Para el caso del relleno sanitario de Puntra El Roble en Ancud a juicio del consultor (Guillermo Saavedra M. Ing. Civil UdeC. Postítulos en Gestión Integral de Residuos PUCV-ONU-UVM) se ha producido **principalmente un asentamiento inicial** (producido por la compactación de la maquinaria y el peso propio de residuos y la cobertura, con un promedio que no supera los 0,65 ton/m³) y **en menor medida el asentamiento primario**, pero mayormente en las zanjas basales que contienen residuos sometidos a presión de las celdas superiores y que actualmente aportan un peso unitario equivalente a 2,5 ton/m² (se desprende de tabla n°4).

El volumen de material depositado, residuos (66,8%) y en particular su cobertura (33,2%) no presenta evidencia de cambio de volumen, grietas y/o asentamientos diferenciales por consolidación, producto de la biodegradación; esto significa que el material se ha considerado inerte debido a un grado muy bajo de biodegradabilidad; lo que estaría influenciado por el alta grado de humedad de los residuos y la cobertura de ellos; lo cual habría que determinar con mayor precisión con un estudio de caracterización de la masa de residuos, con uso de maquinaria pesada, en particular en las zona de los perfiles 2, 4 y 5 (en las caras poniente u oriente), que son los taludes más estables, según el análisis de estabilidad del ing. geotécnico que suscribe dicho informe.

La baja biodegradación de la fracción orgánica de los residuos del relleno sanitario Puntra El Roble, se desprende de los bajos niveles de metano en el monitoreo de biogás realizado a las chimeneas existentes en la plataforma superior realizados a la fecha: julio 2020, marzo 2021 y octubre 2021.

Las mediciones de biogás efectuadas en octubre recién pasado arrojaron bajos niveles de metano (< 3% LEL) y altos niveles de oxígeno (> 19%) en todas las chimeneas de venteo de la segunda sobrecelda, lo cual es consistente con los monitoreos de marzo 2021 de los profesionales de la DIMAO y del informe de monitoreo que generó la empresa CRECER en julio 2020. Esta es una condición de sobresaturación por alto contenido de humedad de la masa no ha permitido que se den las condiciones para que haya un proceso normal de metanogénesis.

	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Puntra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Chimenea 1 19 mar. 2021 1:03:36 PM GMT-03:00</td> </tr> <tr> <td>COMB</td> <td>0.50 %CH4</td> </tr> <tr> <td>O₂</td> <td>20.8 %VOL</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>0 PPM</td> </tr> <tr> <td>H₂S</td> <td>1 PPM</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Chimenea 4 19 mar. 2021 1:10:31 PM GMT-03:00</td> </tr> <tr> <td>COMB</td> <td>1.20 %CH4</td> </tr> <tr> <td>O₂ Min.</td> <td>20.3 %VOL</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>1 PPM</td> </tr> <tr> <td>H₂S</td> <td>1 PPM</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Chimenea 3 19 mar. 2021 1:13:27 PM GMT-03:00</td> </tr> <tr> <td>COMB</td> <td>1.70 %CH4</td> </tr> <tr> <td>O₂ Min.</td> <td>20.2 %VOL</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>8 PPM</td> </tr> </tbody> </table>	Puntra		Chimenea 1 19 mar. 2021 1:03:36 PM GMT-03:00		COMB	0.50 %CH4	O ₂	20.8 %VOL	CO	0 PPM	H ₂ S	1 PPM	Chimenea 4 19 mar. 2021 1:10:31 PM GMT-03:00		COMB	1.20 %CH4	O ₂ Min.	20.3 %VOL	CO	1 PPM	H ₂ S	1 PPM	Chimenea 3 19 mar. 2021 1:13:27 PM GMT-03:00		COMB	1.70 %CH4	O ₂ Min.	20.2 %VOL	CO	8 PPM	
Puntra																																
Chimenea 1 19 mar. 2021 1:03:36 PM GMT-03:00																																
COMB	0.50 %CH4																															
O ₂	20.8 %VOL																															
CO	0 PPM																															
H ₂ S	1 PPM																															
Chimenea 4 19 mar. 2021 1:10:31 PM GMT-03:00																																
COMB	1.20 %CH4																															
O ₂ Min.	20.3 %VOL																															
CO	1 PPM																															
H ₂ S	1 PPM																															
Chimenea 3 19 mar. 2021 1:13:27 PM GMT-03:00																																
COMB	1.70 %CH4																															
O ₂ Min.	20.2 %VOL																															
CO	8 PPM																															
<p>Medición ORHMA Octubre 2021</p>	<p>Medición DIMAO Marzo 2021</p>	<p>Medición Crecer Julio 2020</p>																														

Lo anterior es un claro indicador que la materia orgánica de los residuos sólidos depositados se encuentra en una etapa de baja degradabilidad. El relleno sanitario Puntra El Roble está en la parte inicial de la Fase I de la generación de biogás, si vemos la siguiente gráfica:

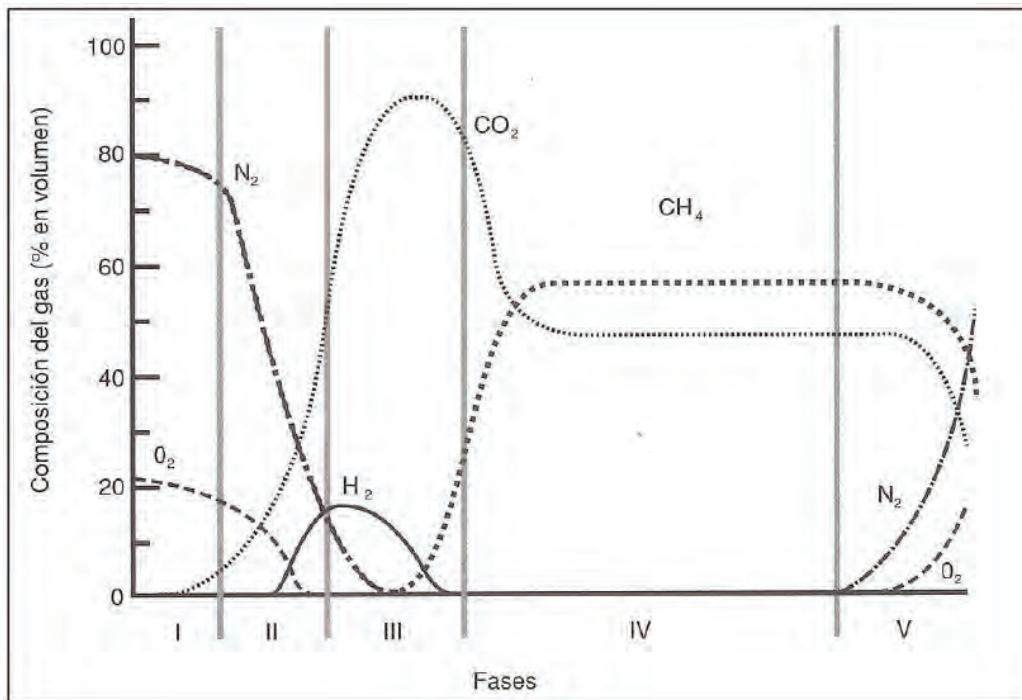


Figura 15. Evolución temporal ideal de la composición del biogás en un relleno de residuos domésticos.
Fuente: “Guidance on the Management of Landfill Gas”, Environment Agency UK, Draft Nov 2002.

En cuanto a la situación actual que enfrenta la I. M. de Ancud, en relación a la orden emanada del fallo de la Corte Suprema de hacer retiro de los residuos depositados en el relleno sanitario Puntra El Roble, es posible hacer las siguientes recomendaciones técnico-operativas:

- i. Realizar un estudio detallado de caracterización de la masa de residuos y niveles dinámicos de lixiviados al interior de la masa.
- ii. Para la caracterización de la masa, realizar calicatas realizarlas de preferencia en la cara o taludes oriente del relleno sanitario, donde se ubican los perfiles transversales 2, 4 y 5.
- iii. Realizar un plan de explotación/operaciones que considere al menos lo siguiente, antes de iniciar las tareas de remoción del material:
 - a. Modelación de olores, para la condición actual y futura (remoción).
 - b. Monitoreo de olores con panel entrenado con referencia a la norma alemana VDI3940, línea base y mediciones durante las tareas de remoción del material.
 - c. Control topográfico insitu para controlar los taludes de corte y del área a intervenir de manera de minimizar la generación de olores y de infiltración de aguas lluvias que aumente la generación de lixiviados.
 - d. Disposición de material de cobertura adecuado para el término de la jornada de trabajo, de manera de evitar dejar residuos descubiertos (cumplimiento de los artículos 37 y 39 del DS.189/2005).
- iv. Iniciar la extracción del material (residuos + cobertura contaminada) desde la celda del sector sur (zanja 3, figura 6).

Todo lo anterior debe validarse con la autoridad ambiental, sanitaria, marítima y toda aquella que diga relación con las diversas autorizaciones que se requieren para trasladar los residuos y cobertura contaminada desde el R.S. Puntra hasta el nuevo lugar de disposición final.

7. BIBLIOGRAFÍA DE APOYO.

- I. DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN. Publicaciones Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16. Autores George Tchobanoglous, Hilary Theissen y Rolf Eliassen. Traducción: Armando Cubillos, Mérida - Venezuela 1992.
- II. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, Autores George Tchobanoglous y Hilary Theissen. 1993. Editorial McGraw-Hill, Madrid. Volumen I y Volumen II.
- III. MANUAL DEL INGENIERO CIVIL. Frederick Merritt. Cuarta Edición Tomo 1. Cap. 7. Ing. Geotécnica. Editorial McGraw-Hill, México. 2008.
- IV. INFORME FINAL PLAN DE CIERRE Y SELLADO VERTEDERO LA HORMIGA, SAN FELIPE, REGIÓN DE VALPARAISO. Pontificia Universidad Católica De Valparaíso, Facultad De Ingeniería, Esc. De Ingeniería En Construcción, Grupo De Residuos Sólidos, año 2009. Prof. Dr. Ing. Marcel Szanto Narea.
- V. INFORME DE ESTABILIDAD RELLENO SANITARIO COYHAIQUE (CEMARC). DICIEMBRE 2016. Michael Santander (Ing. Civil UChile).
- VI. INFORME OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL Y ESTABILIDAD RELLENO SANITARIO PICHILEMU. ETAPA DE CRECIMIENTO CON APOYO EN LADERA. MARZO 2021. Luis F. Pavez. Ing Civil UTFSM & Guillermo Saavedra M. Ing. Civil UdeC.

8. EQUIPO TÉCNICO.

Responsable Consultoría: Guillermo Saavedra Molina, Ingeniero Civil, Universidad de Concepción (2000 y 2014). Diplomado en Gestión Integral de Residuos Sólidos UVM (2020). Postítulo en Dirección de Empresas PUCV (2019). Curso Internacional de Gestión de Residuos Sólidos ONU-PUCV para América y El Caribe (2019). Profesional con 21 años de experiencia, 18 de los cuales ha sido asesor/gerente técnico, administrador de contratos de construcción y operación de sitios de disposición final; generando ingeniería de sistemas de manejo de lixiviados, biogás, planes de cierre, planes de monitoreo ambiental en las regiones Metropolitana (R.S. Santiago Poniente), Región de Valparaíso (CTI La Hormiga), O'Higgins (R.S. La Yesca y R.S. Pichilemu), Región de Los Lagos (Curaco-Osorno) y Región de Aysén (R.S. CEMARC); también se ha desempeñado como Ing. proyectos e ITO en la construcción de obras hidráulicas, sanitarias, de riego y obras civiles relacionadas.

Responsable Geotécnico: Fernando Vergara Sanzana, Ingeniero Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción (2011). Diplomado de Ingeniería Geotécnica (2018-PUC). Profesional con 10 años de experiencia. Entre los proyectos más destacados: Estudio de Ingeniería Proyecto Ruta 78 – Santiago – San Antonio. Estudio Geotécnico de diseño de fundaciones de trincheras, viaducto, estructuras de enlace, estabilidad de taludes, planificación, supervisión y coordinación de prospecciones en base a sondajes, calicatas y refracción sísmica. Estudio de Ingeniería, Mejoramiento y Construcción ruta S-911 y S-913. Estudio geotécnico de taludes y estructuras. Concesión ruta concepción – Cabrero. Ingeniero de proyecto. Estudio Geotécnico de diseño de fundaciones de puentes, pasarelas, estabilidad de taludes, caracterización de suelo para subrasante, supervisión de las prospecciones en base a sondajes, calicatas y refracción sísmica.

Responsable Muestreo: Esteban Fica Conejeros, Ingeniero Civil Geólogo, Universidad Católica de la Santísima Concepción (2018). Proyecto de habilitación profesional en análisis de estabilidad de taludes de rellenos sanitarios (2017). Estudio de estabilidad de taludes del relleno sanitario La Hormiga, comuna de San Felipe, Región de Valparaíso (2018). Control de operaciones y planificación de obra de expansión del relleno Sanitario la Hormiga, consistente la excavación de taludes de basalto y su respectivo seguimiento topográfico con estación total. Planificación de hitos constructivos, solicitudes de ensayos de mecánica de suelos y cotizaciones de maquinaria con proveedores nacionales e internacionales (2019).

Responsable Topografía y Proyectista: Luis Cuevas Quiroga, Ingeniero Geomensor, Inacap; Profesor Instituto DUOC (Escuela de Construcción – Stgo. Centro) con 20 años de experiencia profesional. 12 de los cuales han sido como Ingeniero Proyectista en el área de estudios y proyectos, en gestión integral de los residuos, principalmente al diseño de rellenos sanitarios, vertederos y las obras asociadas para su operación. Responsable en el diseño de ingeniería (conceptual y de detalles), elaboración de informes técnicos de los proyectos, propuestas económicas y supervisión de los trabajos de obra. Experiencia en terreno, ya que inicialmente era responsable de la topografía en dos (2) rellenos sanitarios (La Yesca y Santiago Poniente), donde realizaba levantamientos, replanteos y supervisión para la construcción de las obras proyectadas.

ANEXOS:

Anexo 1: Análisis estabilidad estructura Relleno Sanitario Puntra El Roble.

Anexo 2: Informe de Muestreo en Terreno.

Anexo 3: Resultados ensayos de laboratorio mecánica de suelos (2020 y 2021).

Anexo 4: Planos.

Anexo 1: Análisis estabilidad estructura Relleno Sanitario Puntra El Roble.

ESTUDIO GEOTÉCNICO
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD
DE TALUDES RELLENO SANITARIO
PUNTRA EL ROBLE

COMUNA DE ANCUD

PROVINCIA DE CHILOE

REGION DE LOS LAGOS

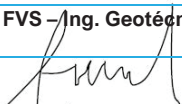
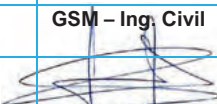
DOCUMENTO	INGENIERO	REVISIÓN	APROBÓ	FECHA
VERSIÓN 0	FVS – Ing. Geotécnico	A	GSM – Ing. Civil	09-11-2021
VERSIÓN FINAL	FVS – Ing. Geotécnico	B	GSM – Ing. Civil	11-11-2021
				

TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	5
1.1	DESCRIPCION DEL ESTUDIO	5
1.2	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	6
1.3	DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	6
2	RECONOCIMIENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO	8
2.1	GEOLOGIA DEL SECTOR.....	8
2.2	PROSPECCIONES	9
2.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	9
3	CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA	11
4	ANTECEDENTES TOPOGRAFICOS.....	12
5	ANALISIS DE ESTABILIDAD.....	14
5.1	BASES DE ANÁLISIS.....	14
5.2	ANALISIS ESTATICO	15
5.3	ANALISIS SISMICO	17
6	CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.....	20
	ANEXOS.....	21
	INFORME DE PROSPECCIONES (TERRENO).....	21
	ENSAYOS DE LABORATORIO	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-a: Ubicación Relleno Sanitario Puntra El Roble (Ancud, Chiloé)	5
Figura 2.1-a: Mapa Geológico de Chile - Ubicación Relleno Sanitario Puntra El Roble (Ancud, Chiloé).....	8
Figura 3-a: Parámetros resistentes recomendados para rellenos sanitarios (Palma J.H. 1995).....	11
Figura 4-a: Perfiles transversales relleno la Puntra -Ancud.....	13
Figura 4-b: Perfil longitudinal relleno la Puntra – Ancud.....	13
Figura 5.2-a: Resultado de análisis estático perfil n° 1 con $F_{Se}=3,46 \Rightarrow$ Cumple....	15
Figura 5.2-b: Resultado de análisis estático perfil n° 3 con $F_{Se}=2,39 \Rightarrow$ Cumple. ...	15
Figura 5.2-b: Resultado de análisis estático perfil n° 3 con 1.0 m de lixiviado desde el fondo del relleno.	16
Figura 5.3-a: Zona sísmica - Ubicación relleno la Puntra – Ancud.....	17
Figura 5.3-b: Resultado de análisis sísmico perfil n° 1 con $F_{Ss}=1,72 \Rightarrow$ Cumple. ...	18
Figura 5.3-c: Resultado de análisis sísmico perfil n° 3 con $F_{Ss}=1,58 \Rightarrow$ Cumple. ...	18
Figura 5.3-b: Resultado de análisis sísmico perfil n° 1 con 1.0 m de lixiviado desde el fondo del relleno	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Resumen de prospecciones anteriores y actuales del sector de relleno sanitario La Puntra.....	9
Tabla 2-2: Resumen de ensayos de laboratorio.....	10

1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1 DESCRIPCION DEL ESTUDIO

El relleno sanitario Puntra El Roble se ubica en la Comuna de Ancud, en la isla de Chiloé cuyo lugar se muestra en Figura 1-a. El relleno sanitario comenzó en operación a mediados de enero de 2020 y cerró a fines del mes de junio 2021.



Figura 1-a: Ubicación Relleno Sanitario Puntra El Roble (Ancud, Chiloé).

1.2 ALCANCE Y OBJETIVOS.

El estudio tiene por objetivo analizar la estabilidad general del relleno sanitario denominado la Puntra ubicado en la comuna de Ancud, Chiloé. En el marco de lo solicitado por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) para dar cumplimiento a las medidas provisionales indicadas en resolución exenta 1469/2021 hacia RELLENO SANITARIO LA PUNTRA.

Para lograr el propósito el presente estudio, se ha establecido conseguir los siguientes objetivos específicos:

- Revisión de antecedentes entregados de prospecciones y ensayos existentes.
- Revisión de antecedentes topográficos existentes y actuales.
- Realización y revisión de campaña de prospecciones y ensayos de laboratorio.
- Análisis de estabilidad global de acuerdo a la geometría y antecedentes geotécnicos tanto actuales como anteriores.
- Conclusiones y/o recomendaciones de acuerdo al análisis y desarrollo se los puntos anteriores.

1.3 DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.

Para el desarrollo del presente estudio se ha consultado la normativa y literatura técnica, nacional e internacional, detallada a continuación:

Instituto Nacional de Normalización (INN)

- ✓ Norma Chilena NCh. 1508 of.2008” Geotecnia – Estudio de Mecánica de Suelos”; 2014; Chile. (NCH1508)

- ✓ Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP). Volumen N°3 - “Instrucciones y Criterios de Diseño”.
- ✓ Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP). Volumen N°8 - “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y control”.

Literatura Técnica

- ✓ Gonzales de Vallejos, Luis; “*Ingeniería Geológica*”; Pearson Educación, 1ª edición, Madrid, 2002.
- ✓ Servicio nacional de geología y minería, subdirección nacional de minería; “*Mapa Geológico de Chile*”; Chile, 2003.
- ✓ Joseph E. Bowles; “*Foundation Analysis and Design*”; McGraw Hill, 4ta edición, Singapore, 1988.
- ✓ Visor web del Servicio nacional de geología y minería, Subdirección Nacional de Minería; “*Mapa Geológico de Chile*”; Chile, 2003.
- ✓ Palma J.H.; “*Estabilidad de rellenos sanitarios*”, 1995.

2 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO.

2.1 GEOLOGIA DEL SECTOR.

De acuerdo al mapa geológico de Chile la zona de estudio está conformada por unidades geológicas siguientes:

- **Q1g1 y Q1g2 [Holoceno-Pleistoceno]:** esta conformación está asociada a depósitos morrénicos, en los que se encuentran limos de origen glaciolacustre, till glaciár constituidos por gravas y arenas, y depósitos glaciofluviales.

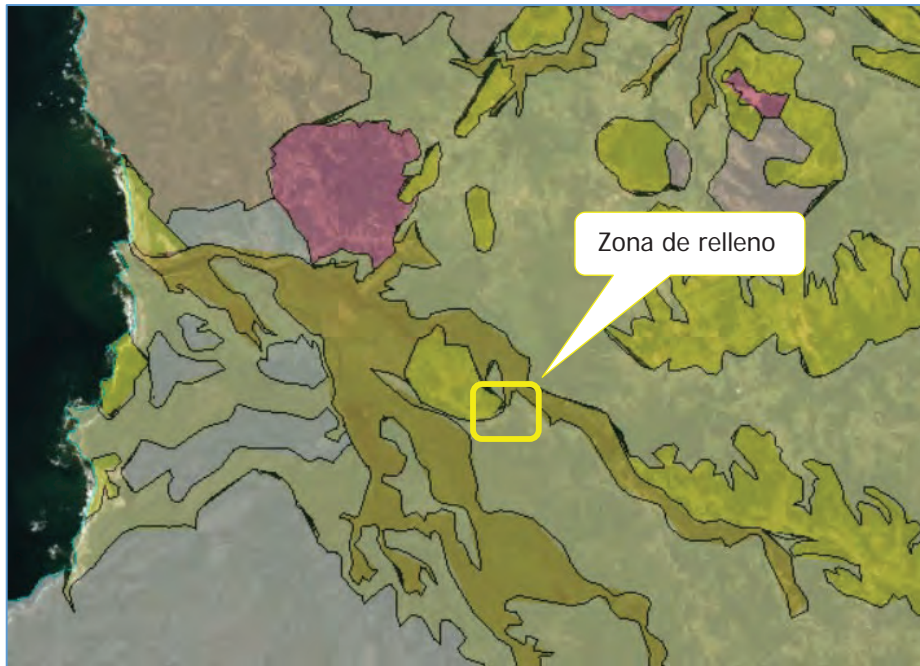


Figura 2.1-a: Mapa Geológico de Chile - Ubicación Relleno Sanitario Puntra El Roble (Ancud, Chiloé)

2.2 PROSPECCIONES.

Para el reconocimiento del suelo natural sobre el cual se emplaza el sector de relleno Sanitario La Puntra se cuenta con antecedentes de prospecciones anteriores y actual las cuales se resumen a continuación:

Prospección	Coordenada Este (UTM)	Coordenada Norte (UTM)	Realización
1	593282	5339200	Anterior
2	593154	5339458	Anterior
1	593202	5339337	Actual
2	593244	5339315	Actual

Tabla 2-1: Resumen de prospecciones anteriores y actuales del sector de relleno sanitario La Puntra, Ancud.

2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas en prospecciones anteriores y actuales se resumen a continuación:

Calicata N°	M1(*)	C-1	C-2
(80) 3"	-	-	-
(63) 2 1/2 "	-	-	-
(50) 2"	100	100	-
(40) 1 1/2"	96	99	-
(25) 1"	89	95	-
(20) 3/4"	81	91	-
(10) 3/8"	61	76	-
(5) #4	49	58	100
(2) #10	44	43	98

Calicata N°	M1(*)	C-1	C-2
(0,5) #40	15	11	65
(0,08) #200	2	4	9
Límite Líquido %	-	-	-
Límite Plástico %	-	-	-
Índice de Plasticidad	NP	NP	NP
Simbolo del Grupo USCS	GP	SP	SP
Humedad (%)	11,4	11,8	29,2
Densidad humeda (g/cm3)	-	-	-
Densidad seca (g/cm3)	-	-	-
Humedad P. Unitario	-	-	-

Tabla 2-2: Resumen de ensayos de laboratorio muestras.

(*) Resultado de ensayos a muestra de suelo anterior (nov-2020) entregado como antecedente.

Los ensayos de laboratorio realizadas a las muestras de suelo actuales indican que el suelo corresponde a una arena limosa (SP), el suelo no presenta índice de plasticidad, con un contenido de finos bajo el 10% y humedad media a alta.

3 CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA.

De acuerdo a las prospecciones de terreno y los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo se tiene la siguiente estratigrafía:

- **[0-0,3]m:** Suelo corresponde a la conformación de capa vegetal"
- **[0,3-1,5]m:** Limo arcilloso, de color café de consistencia blanda
- **[1,5-2,7]m:** Arena Gravosa color café con TM 4" de compacidad alta y humedad media y sin plasticidad.

En cuanto a la caracterización del material de relleno se considera que está en un estado inerte, es decir no presenta cambios de volumen y tampoco asentamientos por consolidación. Los parámetros resistentes del material se obtienen tomando las recomendaciones de Palma J.H. 1995, que se encuentran en la zona achurada del gráfico de la Figura 3-a:

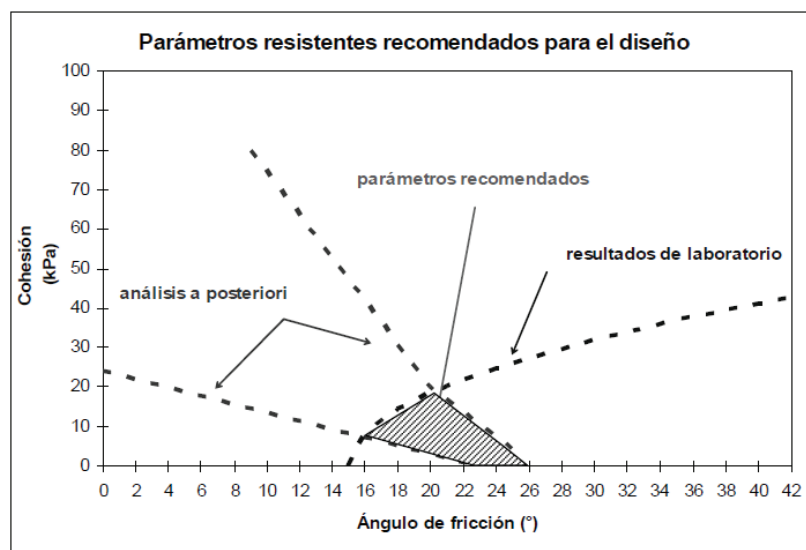
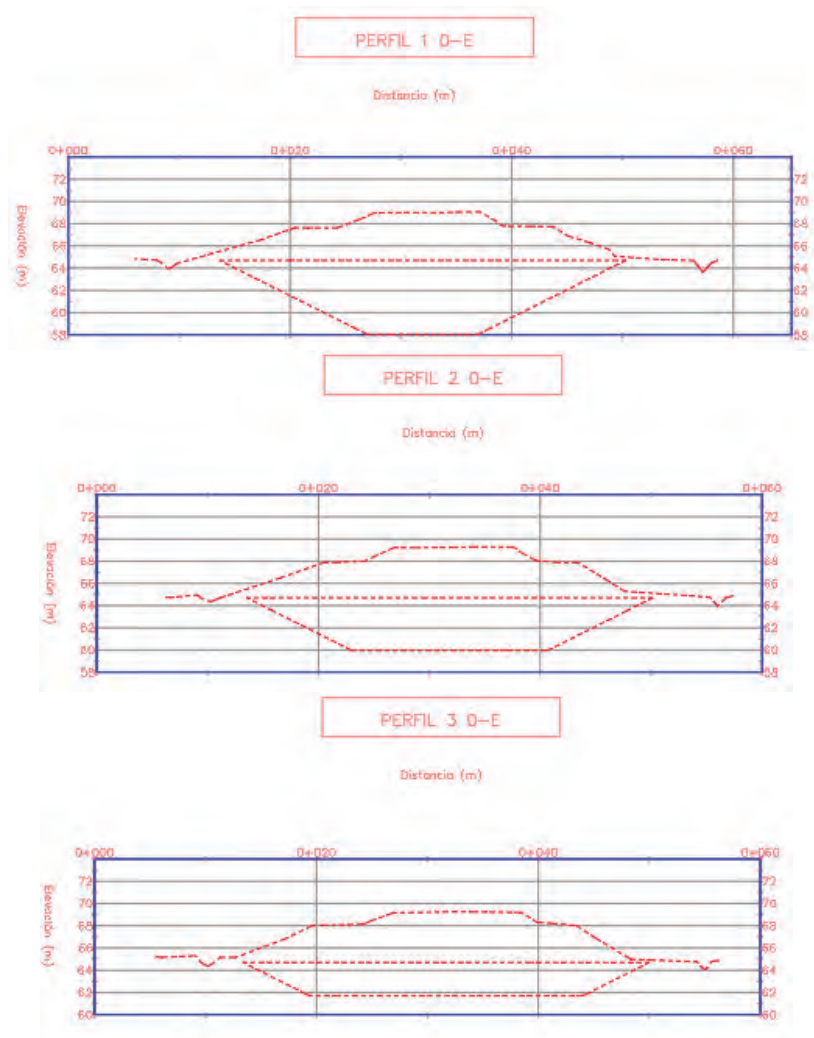


Figura 3-a: Parámetros resistentes recomendados para rellenos sanitarios (Palma J.H. 1995).

De acuerdo a la figura anterior se adopta para el relleno sobre el nivel de terreno $c=5$ [kPa] y $j=20^\circ$ y bajo el nivel de terreno $c=8$ [kPa] y $j=20^\circ$. En cuanto a la arena limosa (SP) se adopta un $c=10$ [kPa] y $j=30^\circ$.

4 ANTECEDENTES TOPOGRAFICOS.

Se cuenta con levantamiento topográfico actual el cual entrega los perfiles transversales y longitudinales para la obtención de los taludes existentes cuyos perfiles trasversales se entregan en la siguiente figura:



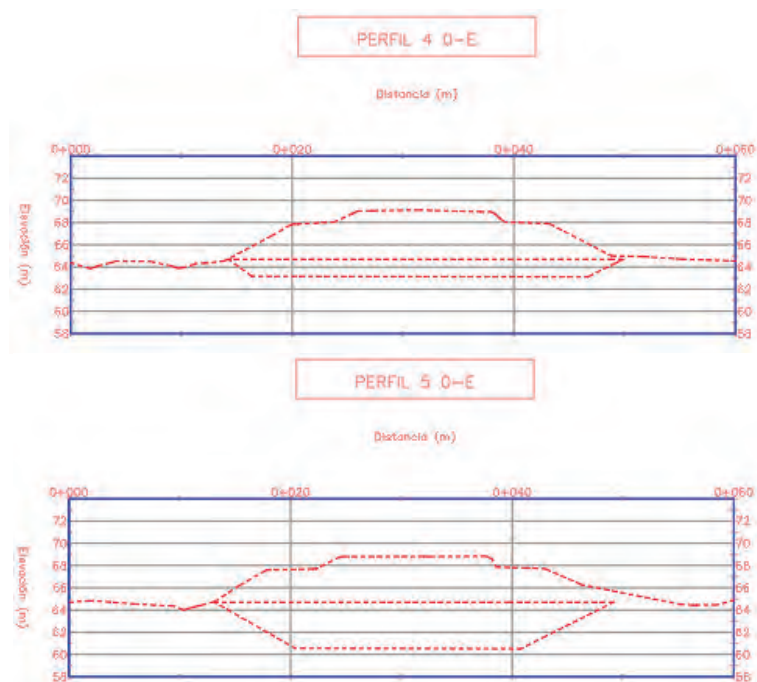


Figura 4-a: Perfiles transversales relleno la Puntra -Ancud.

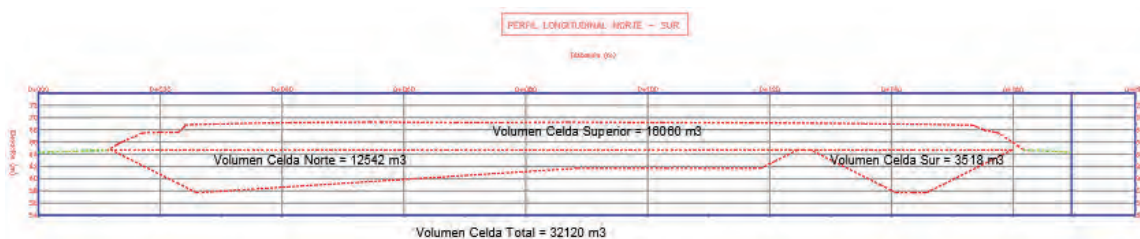


Figura 4-b: Perfil longitudinal relleno la Puntra – Ancud.

La altura de relleno varía entre los 4.0[m] y 5,2 [m] y las ángulo de derrame respecto a la vertical se encuentran entre 24° y 31° lo cual corresponde aproximadamente a una pendiente H:V=2:1.

5 ANALISIS DE ESTABILIDAD.

5.1 BASES DE ANÁLISIS.

Para el análisis de estabilidad global en los taludes en suelo se considera un mecanismo de rotura lineal y superficie de falla circular mediante el método convencional de Mohr-Coulomb¹⁷⁷³.

Se ha realizado un análisis por equilibrio límite el cual considera las fuerzas y momentos mediante la metodología de Morgenstern-Price. Se considera estable si el factor de seguridad estático obtenido $FSe \geq 1,5$ y para el caso sísmico $FSs \geq 1,2$.

En el caso de la normativa aplicable al relleno sanitario, en particular el D.S.189/2005 establece en su **artículo 15**: (extracto) “**...la relación entre los esfuerzos resistentes y los esfuerzos deslizantes es mayor o igual a 1,5 en condiciones estáticas y mayor o igual a 1,3 bajo condiciones dinámicas**”. Por lo tanto, se considerará un talud estable si el factor de seguridad estático obtenido $FSe \geq 1,5$ y para el caso sísmico $FSs \geq 1,3$.

5.2 ANÁLISIS ESTÁTICO.

Este análisis se ha realizado a las secciones y/o perfiles más desfavorables cuyos resultados se muestran a continuación.

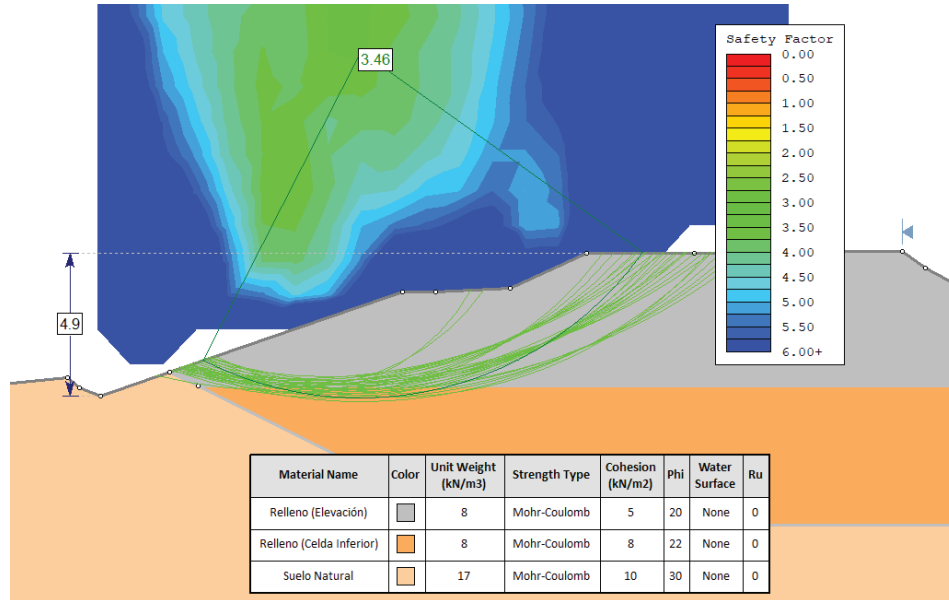


Figura 5.2-a: Resultado de análisis estático perfil n° 1 con FSe=3,46 => Cumple.

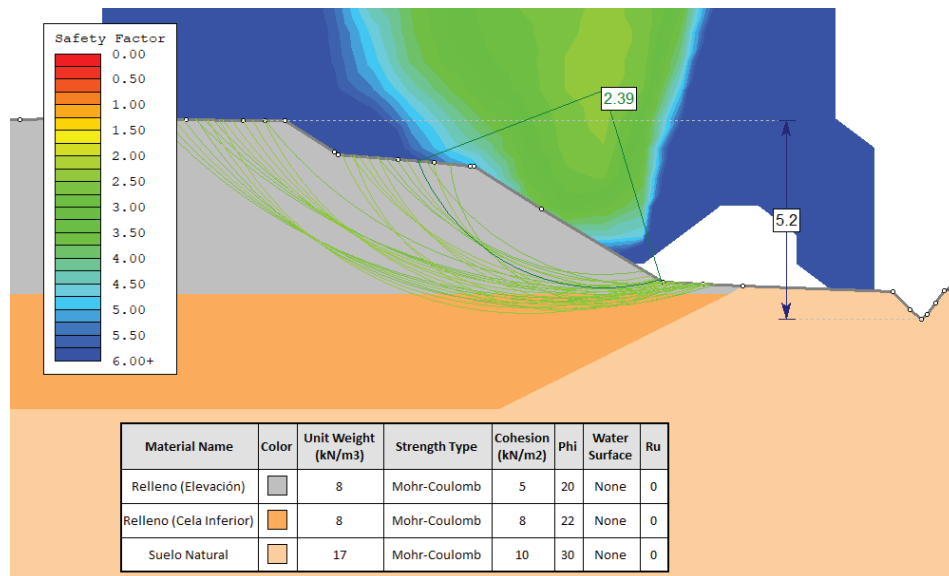


Figura 5.2-b: Resultado de análisis estático perfil n° 3 con FSe=2,39 => Cumple.

También se ha modelado la situación con un nivel hidroestático de 1,0 metro de lixiviados para el perfil más desfavorable de las 2 modelaciones anteriores, obteniéndose un resultado positivo de estabilidad similar a la modelación anterior:

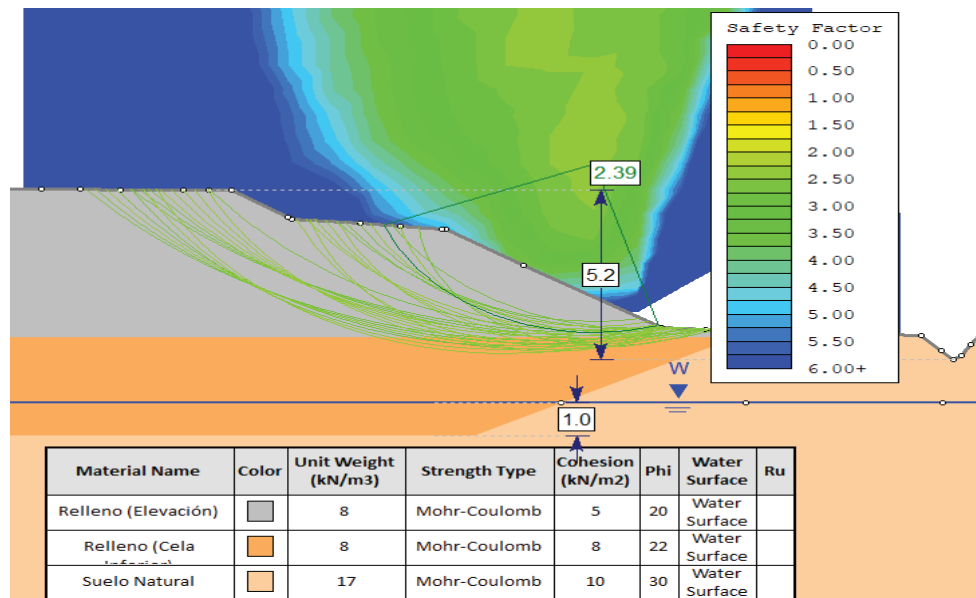


Figura 5.2-c: Resultado de análisis estático perfil n° 3 con 1.0 m de lixiviado desde el fondo del relleno.
FSe = 2,39 => Cumple.

5.3 ANALISIS SISMICO.

Para el análisis sísmico se considera el Volumen 3 del Manual de Carretas y/o NCh n°433 con lo cual se tiene que para ubicación del relleno sanitario corresponde a la zona sísmica 3 para el cual se tiene que la aceleración efectiva máxima del suelo $A_0=0.4g$. Luego aceleración horizontal $F_g=0,5 \cdot A_0 = 0,2g$.

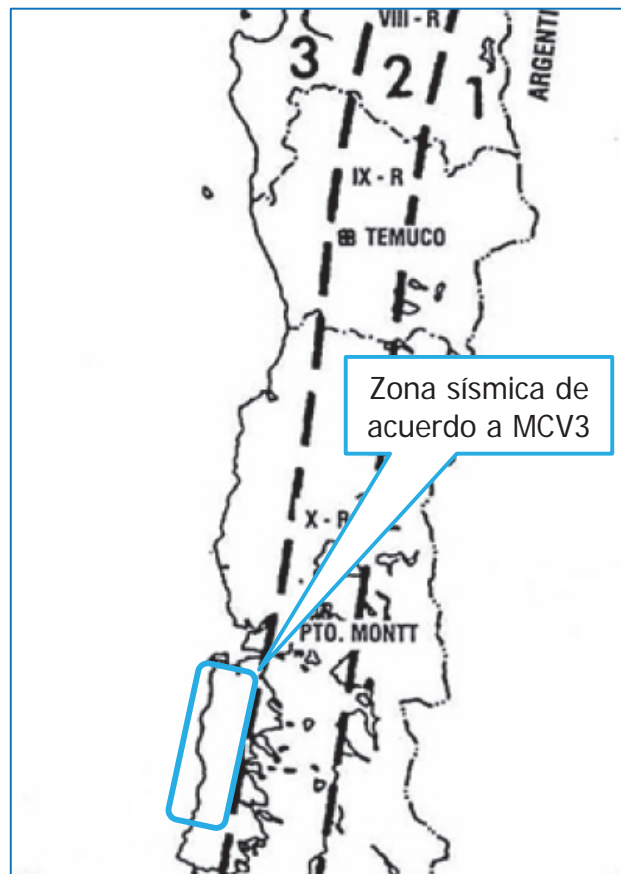


Figura 5.3-a: Zona sísmica - Ubicación relleno la Puntra – Ancud.

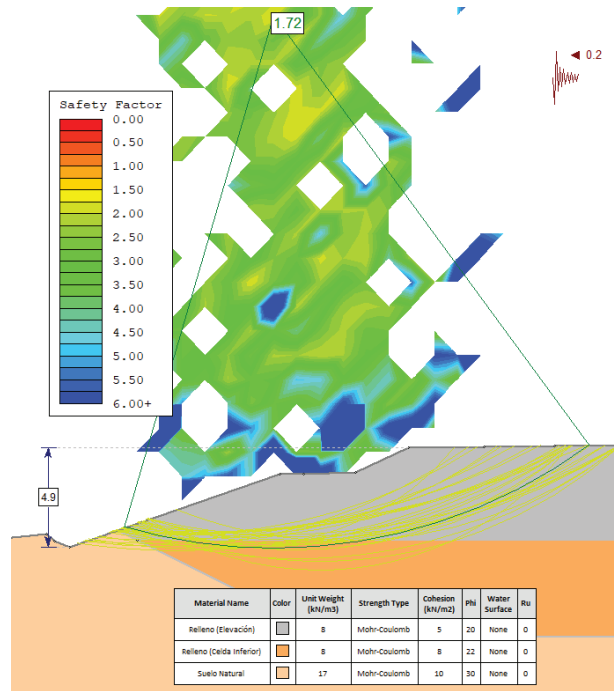


Figura 5.3-b: Resultado de análisis sísmico perfil n° 1 con FSs=1,72 => Cumple.

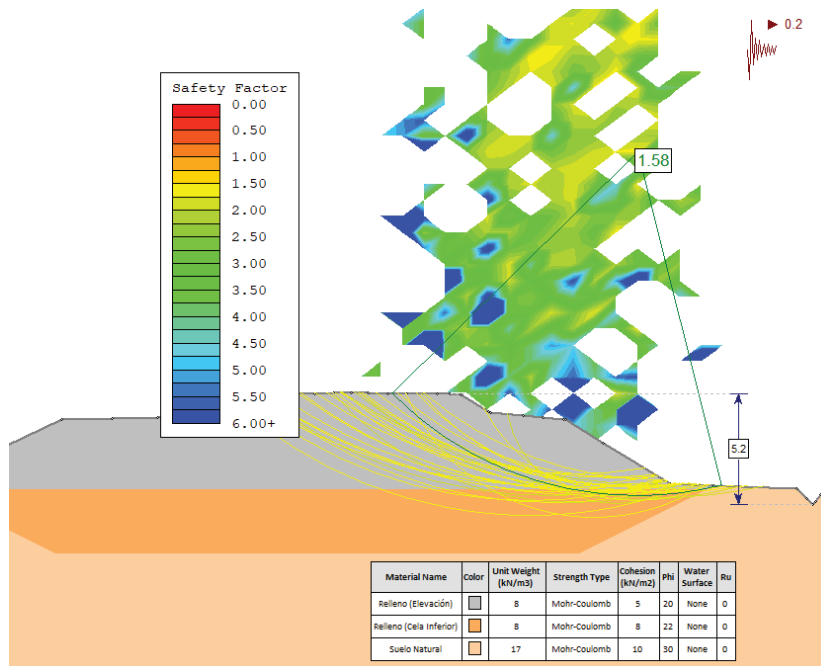


Figura 5.3-c: Resultado de análisis sísmico perfil n° 3 con FSs=1,58 => Cumple.

Nuevamente se ha modelado la situación para el análisis dinámico, con un nivel hidroestático de 1,0 metro de lixiviados para el perfil más desfavorable, obteniéndose también un resultado positivo de estabilidad similar a la modelación anterior:

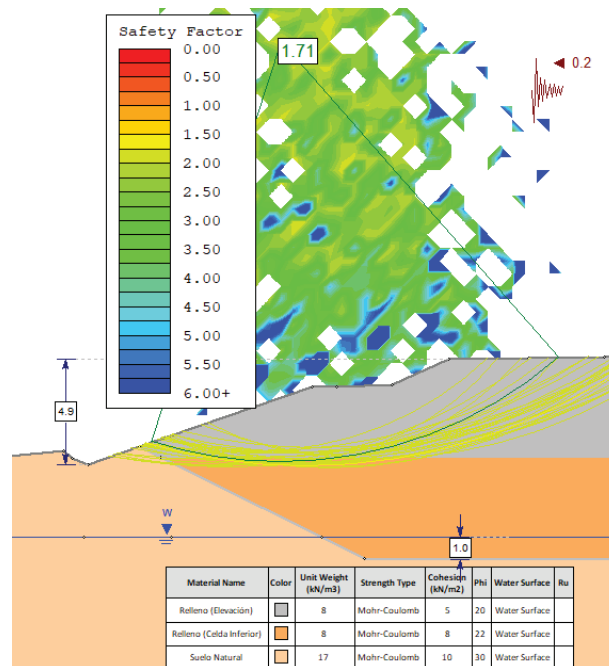


Figura 5.3-d: Resultado de análisis sísmico perfil n° 1 con 1.0 m de lixiviado desde el fondo del relleno
FSs=1,71 => Cumple.

6 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.

Realizadas las prospecciones de terreno y ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales y adoptando parámetros conservadores, se ha obtenido en análisis de estabilidad del relleno para los perfiles mas desfavorables un factor de seguridad estático $FS_e \geq 1,5$ y un factor de seguridad sísmico $FS_s \geq 1,3$ (artículo 15 D.S. 189/2005), por lo tanto, se considera que ***los taludes del relleno sanitario Puntra El Roble son estables.***

Cabe mencionar que el material depositado en el relleno sanitario, tanto los residuos como su cobertura (33,2% del volumen de residuos) no presenta evidencia de cambio de volumen, grietas y/o asentamientos diferenciales por consolidación; esto significa que el material se ha considerado inerte para efecto de análisis.

ANEXOS.

INFORME DE PROSPECCIONES (TERRENO).

ENSAYOS DE LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS (2020 y 2021).

Anexo 2: Informe de Muestreo en Terreno.

Informe de terreno
Estudio de estabilidad relleno sanitario
Puntra

Noviembre 2021

1. ANTECEDENTES GENERALES Y ALCANCE DEL ESTUDIO.

El presente estudio tiene relación con el emplazamiento del relleno sanitario Puntra, ubicado la comuna de Ancud, Región de Los Lagos, Chile.



Figura 1. Zona de estudio Relleno Sanitario Puntra El Roble.

El alcance de este estudio es realizar una revisión geotécnica del suelo natural adyacente al relleno sanitario Puntra (Figura 1) para ser utilizado como insumo de información para un posterior análisis de estabilidad del mismo. Por este motivo fueron muestreados los suelos bajo la cota de nivel de pie de taludes del relleno. El trabajo de terreno consistió en la realización de inspección visual de 2 calicatas (Figura), calicata n° hasta 2.6 m y calicata n°2 hasta 2.7 m de profundidad.

2. MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio está conformada por unidades geológicas asociadas a depósitos morrénicos, en los que se encuentran limos de origen glaciolacustre, till glaciar constituidos por gravas y arenas, y depósitos glaciofluviales. Derivado de la revisión bibliográfica no se encontraron elementos geológicos estructurales del tipo lineamientos, pliegues o fallas geológicas próximas a este, las que puedan añadir componentes de peligros adicionales para un análisis de la seguridad del relleno sanitario. Para un contexto geológico más detallado se recomienda consultar Sernageomin (2018) y Ampuero (2020) los cuales incluyen mapas geológicos que comprenden la zona de estudio.



Figura N°2. Ubicación de las calicatas.



Fotografía 1. Ubicación de calicatas en terreno.

3. ESTRATIGRAFÍA.

De las prospecciones realizadas en octubre de 2021, se obtiene la siguiente descripción Estratigráfica promedio:

Estratigrafía	
H-1	Capa Vegetal. Espesor promedio: 0.3 m
H-2	Limo arcilloso de color café consistencia blanda, plasticidad baja fuerza seca baja, dilatancia ninguna. Espesor promedio: 0.9 m
H-3	Grava arenosa color gris, sin plasticidad, compacidad alta. Espesor promedio: 1.6 m

4. CALICATAS Y MUESTRAS EXTRAÍDAS PARA ENSAYOS.

Calicata N°1: ANC-C1.

Fecha de control:	14/10/2021	Calicata N°	1
Ubicación de calicata:	593202 m E, 5339337 m S UTM 18S		
Profundidad:	2.6 m		
Cota de napa de agua:	No presente	Controlado por:	Esteban Fica

Horizonte N°	Cotas Límite (m)	Espesor (m)	Clasificación USCS (in situ)	Descripción del suelo	Correlativos de laboratorio
1	0-0.2	0.2		Capa Vegetal	-
2	0.2-0.7	0.5	ML	Limo arcilloso de color café consistencia blanda, plasticidad baja fuerza seca baja, dilatancia ninguna, Humedad baja.	-
3	0.7-2.6	1.9	GP	Grava arenosa color café, sin plasticidad, gravas redondeadas tamaño máximo visual diámetro 70 mm, compacidad alta, humedad media. Se tomó muestras para análisis de laboratorio con código ANC-C1	ANC-C1-G1 ANC-C1-H ANC-C1-LL ANC-C1-LP



Figura 3. Columna estratigráfica N°1

Desde el piso esta calicata (-2.6 m) se extrajeron muestras para:

- Análisis Granulométrico (Código ANC-C1-G1)
- Determinación de humedad (Código ANC-C1-H)
- Determinación de límites de Attemberg (Códigos ANC-C1-LL Y ANC-C1-LP)



Fotografía 2. Calicata N°1 Extracción de muestras, en estrato H-3, grava arenosa.

% que pasa malla 4	58
% que pasa malla 200	4
Cu	10
Cc	0.78
Limite Plástico	No posee
Limite Líquido	No posee
Clasificación UCSC de laboratorio muestra ANC-C1-G1, correspondiente a H-3	SP
Humedad	11,8%

Parámetros de laboratorio muestra calicata 1, Horizonte H-3

Calicata N°2: ANC-C2.

Fecha de control:	14/10/2021	Calicata N°	2
Ubicación de calicata:	593244 m E 5339315 m S UTM 18S		
Profundidad:	2.7 m		
Cota de napa de agua:	No presente	Controlado por:	Esteban Fica

Horizonte N°	Cotas Limite (m)	Espesor (m)	Clasificación USCS (in situ)	Descripción del suelo	Correlativos de laboratorio
1	0-0.2	0.3	-	Capa Vegetal	
2	0.2-1.5	1.2	ML	Limo arcilloso de color café consistencia blanda, plasticidad baja fuerza seca baja, dilatancia ninguna, humedad baja.	
3	1.5-2.7	1.2	SP	Grava arenosa color café, sin plasticidad, gravas redondeadas tamaño máximo visual diámetro 100 mm, compacidad alta, humedad media.	ANC-C2-G2 ANC-C2-H ANC-C2-LL ANC-C2-LP



Figura 4. Columna estratigráfica N°2

Desde la profundidad 1.2 m se extrajeron muestras para:

- Análisis Granulométrico (Código ANC-C2-G2)
- Determinación de humedad (Código ANC-C2-H)
- Determinación de límites de Attemberg (Códigos ANC-C2-LL Y ANC-C2-LP)



Fotografía 3. Proceso de confección calicata N°2

% que pasa malla 4	100
% que pasa malla 200	9
Cu	5
Cc	1.85
Límite Plástico	No posee
Límite Líquido	No posee
Clasificación UCSC de laboratorio muestra ANC-C2-G2, correspondiente a H-3	SP
Humedad	29.2%

Parámetros de laboratorio muestra calicata 2, Horizonte H-3

5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

Debido al grado de compacidad y al tamaño de partículas del suelo del estrato H-3 (tamaño máximo visual 15 cm), no es recomendable para los estratos de interés, correspondiente cota de profundidad desde -2 m desde nivel natural del terreno sondajes del tipo SPT.

El grado de compacidad del terreno puede ser explicado por el contexto geológico de la zona de estudio la que comprendería grandes cargas verticales por grandes masas glaciares anteriores al pleistoceno, los cuales consolidaron el material debajo de estos.

Durante el trabajo en terreno no se realizaron hallazgos de posibles estratos que correspondieran a suelos con características especiales tales como: suelos expansivos, suelos potencialmente licuables o potencialmente colapsables.

La ubicación del relleno sanitario y las características topográficas de su entorno inmediato a este no conlleva ni peligros de inundaciones ni a deslizamientos de taludes cercanos.

En el caso de la construcción de nuevas celdas para la disposición de residuos sólidos domiciliarios se recomienda el uso del estrato H-2, correspondiente a limo arcilloso, para realizar la cobertura diaria de los residuos, debido a la diferencia significativa en los coeficientes de permeabilidad en comparación al estrato H-3, donde una eventual utilización de este suelo como cobertura conllevaría problemas de filtraciones de lixiviados incluso en escenarios no saturados.

Esteban Fica Conejeros
Ingeniero Civil Geólogo
Santiago, 03 de noviembre 2021.

6. BIBLIOGRAFÍA.

SERNAGEOMIN, 2018. Catastro de remociones en masa en la provincia de Chiloé. Región de los lagos. Extraído de:

https://portalgeo.sernageomin.cl/IT_Los_Lagos/2018_INF_LOS_LAGOS_15_2018_Informe_RM_Provincia_Chiloe.pdf

Ampuero F. 2020 Bivalvos y gastrópodos del mioceno inferior de Chiloé, región de los lagos, Chile: sistemática, condiciones paleoambientales e implicancias paleobiogeográficas. Memoria para optar al Título de Geóloga



Fotografía n°1: CALICATA 1.



Fotografia n°2: CALICATA 2.

ANEXO FOTOGRAFICO CAMPAÑA EN TERRENO

Anexo 3: Resultados ensayos de laboratorio mecánica de suelos (2020 y 2021).

INFORME DE ENSAYES DE SUELO - N° PM - 1.533/2021**I IDENTIFICACION DEL CLIENTE**

OBRA : ENSAYES DE SUELOS EN CHILOE
UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO PUNTRA - ANCUD
NOMBRE CLIENTE : GUILLERMO SAAVEDA MOLINA INGENIERÍA EIRL
SOLICITANTE : ESTEBAN FICA

II IDENTIFICACION DEL LABORATORIO

Ingecontrol: Los Laureles N° 318 – Puerto Montt - F: 65 225 3736

III ANTECEDENTES DEL MUESTREO

Realizado por : Ingecontrol
Fechas Muestreo : 14-10-2021.
Origen muestra : Celda en construcción RRSS Puntra.
Lugar de Muestreo : ANC-C1-G1

Procedimiento muestreo : No se inicia
Registro muestreo : ANC-C1-G1.
Tipo de material : **Arena con gravas**
Serie Ingecontrol N° : **168**
Laboratorista responsable : Esteban Fica C.
Ing. Civil Geólogo.

IV RESULTADOS

GRANULOMETRIA: M. de C. Vol 8, Sec. 8.102.1 (LNV 105) Tamizado y determinación de la granulometría		
(mm)	(US)	% que pasa
50	2"	100
40	1 1/2"	99
25	1"	95
20	3/4"	91
10	3/8"	76
5	N° 4	58
2	N° 10	43
0,5	N° 40	11
0,080	N° 200	4
Sobretamaño (%)		

LIMITES DE CONSISTENCIA: NCh 1517/1 y 2. Of79 - Límites de Consistencia. Acanalador empleado: ASTM y método: mecánico.

Límite Líquido	Indeterminable
Límite Plástico	Indeterminable
Índice de Plasticidad	NP

HUMEDAD NATURAL

Humedad Natural (%)	11,8
----------------------------	-------------

V OBSERVACIONES:

PUERTO MONTT, 2 de noviembre de 2021



GUIDO BRICEÑO AICHELE
Ingeniero Civil - U. de Chile
Gerente Técnico

INFORME DE ENSAYES DE SUELO - N° PM - 1.534/2021**I IDENTIFICACION DEL CLIENTE**

OBRA : ENSAYES DE SUELOS EN CHILOE
UBICACIÓN : RELLENO SANITARIO PUNTRA - ANCUD
NOMBRE CLIENTE : GUILLERMO SAAVEDRA MOLINA INGENIERÍA EIRL
SOLICITANTE : ESTEBAN FICA

II IDENTIFICACION DEL LABORATORIO

Ingecontrol: Los Laureles N° 318 – Puerto Montt - F: 65 225 3736

III ANTECEDENTES DEL MUESTREO

Realizado por	: Ingecontrol	Procedimiento muestreo	: No se indica
Fechas Muestreo	: 14-10-2021	Registro muestreo	: ANC-C2-G2
Origen muestra	: Celda en construcción RRSS Puntra.	Tipo de material	: Arena limosa
Lugar de Muestreo	: ANC-C2-G2	Serie Ingecontrol N°	: 169
		Laboratorista responsable	: Esteban Fica - Ing. Civil Geólogo.

IV RESULTADOS

GRANULOMETRIA: M. de C. Vol 8, Sec. 8.102.1 (LNV 105) Tamizado y determinación de la granulometría		
(mm)	(US)	% que pasa
5	Nº 4	100
2	Nº 10	98
0,5	Nº 40	65
0,080	Nº 200	9

LIMITES DE CONSISTENCIA: NCh 1517/1 y 2. Of79 - Límites de Consistencia. Acanalador empleado: ASTM y método: mecánico.

Límite Líquido	Indeterminable
Límite Plástico	Indeterminable
Índice de Plasticidad	NP

HUMEDAD NATURAL

Humedad Natural (%)	29,2
----------------------------	-------------

V OBSERVACIONES:

PUERTO MONTT, 2 de noviembre de 2021



GUIDO BRICEÑO AICHELE
Ingeniero Civil - U. de Chile
Gerente Técnico

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

RES. MINVU N° 0001 del 04 de enero de 2011

Informe N° 31.468

Correlativo de Obra: 2

Cliente	:	I MUNICIPALIDAD DE ANCUD		
Dirección	:	Blanco Encalada 660 Ancud		
Obra	:	Relleno Sanitario Puntra		
Ubicación	:	Ruta W340 s/n, Ancud		
Contacto	:	Mario Cárcamo	Celular	: +56 9 4471 7362
N° Proyecto	:	No aplica	Fecha de emisión	: 24-11-2020

Controles y/o Ensayos

Control(es) y/o ensayo(s) realizado(s) por personal de Laboratorio Geocontrol.

Nota: La reproducción total o parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de Laboratorio Geocontrol, los resultados son aplicables sólo a los controles realizados y/o a las muestras ensayadas.

Identificación de Muestra (Extracción y preparación de muestras, según norma NCh 164-2009) * Ensayo fuera del alcance de acreditación

O.T. N°	:	25327	Registro N°	:	35735	Fecha muestreo	:	29-10-2020
Procedencia	:	Existente		Lugar de muestreo	:	Relleno Sanitario Puntra		
Material	:			Muestreado por	:	Walter Diaz Guaman		

Análisis

Granulometría (MC-V8 8.102.1, diciembre 2003)

Fecha de ensayo	:	30 de Octubre de 2020		
Tamiz		Peso que pasa		
(mm)	ASTM	%		
150	6"	100		
125	5"	100		
100	4"	100		
80	3"	100		
63	2½"	100		
50	2"	100		
40	1½"	96		
25	1"	89		
20	¾"	81		
10	¾"	61		
5	N° 4	49		
2	N° 10	44		
0,5	N° 40	15		
0,08	N° 200	2		
Sobretamaño %	0			
Humedad; NCh 1515.Of79				
Humedad natural %	11.4			

Constantes hídricas (NCh 1517/1.Of79 / NCh 1517/2.Of79)

Fecha de ensayo	:	30 de Octubre de 2020	
Tipo de Acanalador	:	ASTM	
Método Empleado	:	Mecánico	
Límite Líquido %	:	0	
Límite Plástico %	:	0	
Índice de Plasticidad	:	NP	

Clasificación ASTM D 2487 (*)

Sistema U.S.C.S.	:	GP
* Ensayo fuera del alcance de acreditación		

Compactación, método Proctor Modificado (NCh 1534/2.Of79)

Fecha de ensayo	:	31 de Octubre de 2020	
Mat. retenido en 20 mm. reemplazo (%)	:	19	
Método empleado	:	C	
D.M.C.H. (g/cm³)	:	2.05	
Humedad Óptima (%)	:	12.7	
D.M.C.S. (g/cm³)	:	1.82	

Cód. de verificación: e779a8e76215c832d9fc2658bd31bc31

Puede verificar la autenticidad del documento en la url "<http://cve.geocontrol.cl>".

Informe N° 31.468
Correlativo de Obra: 2
ISM/Ed.01/Ago19 Pág. 1 de 2

Análisis

Razón de soporte CBR (NCh 1852.Of81)

Fecha de inicio de inmersión	:	2 de Noviembre de 2020
Fecha de término de inmersión y ensayo	:	6 de Noviembre de 2020
Método empleado para preparar y compactar las probetas	:	D
Acondicionamiento de la muestra	:	Inmersión

Datos confección probeta

Compactación (golpes/capa)	25	56
Masa Sobre Carga (Kg)	5.00	5.06
D. antes de inmersión (g/cm3)	1.67	1.83
D. después de inmersión (g/cm3)	1.70	1.90
Hdad. antes de compactación (%)	12.0	12.0
Hdad. después de compactación (%)	12.8	12.7
Hdad. capa superior de 25 mm. después de inmersión (%)	15.4	14.2
Hdad. promedio después de inmersión (%)	14.2	13.1
Hinchamiento	0.0	0.0
CBR para 0,2" penetración	45	72
CBR correspondiente al 95% de la DMCS a 0,2" penetración	55	

Cubicidad de partículas (MC-V8 8.202.6, junio 2009)

Fecha de ensayo	:	-
Chancado total (%)	:	-
Rodadora total (%)	:	-
Laja total (%)	:	-

Desgaste de las gravas (NCh 1369-2010)

Fecha de ensayo	:	-
Grado N°	:	-
Desgaste %	:	-

Cód. de verificación: e779a8e76215c832d9fc2658bd31bc31

Puede verificar la autenticidad del documento en la url "<http://cve.geocontrol.cl>".

Informe N° 31.468
Correlativo de Obra: 2
ISM/Ed.01/Ago19 Pág. 2 de 2

Informe N° 31.468

Correlativo de Obra: 3

Cliente	:	I MUNICIPALIDAD DE ANCUD		
Dirección	:	Blanco Encalada 660 Ancud		
Obra	:	Relleno Sanitario Puntra		
Ubicación	:	Ruta W340 s/n, Ancud		
Contacto	:	Mario Cárcamo	Celular	: +56 9 4471 7362
N° Proyecto	:	No aplica	Fecha de emisión	: 24-11-2020

Controles y/o Ensayos

Control(es) y/o ensayo(s) realizado(s) por personal de Laboratorio Geocontrol.

Nota: La reproducción total o parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de Laboratorio Geocontrol, los resultados son aplicables sólo a los controles realizados y/o a las muestras ensayadas.

Identificación

O.T. N°	:	25326	Registro N°	:	144
Fecha control	:	29-10-2020	Calicata N°	:	1
Ubicación calicata	:	-			
Cota napa de agua (m)	:	-	Controlado por	:	Walter Diaz Guaman

Estratigrafía ASTM D-2488

Horizonte N°	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del suelo
1	0,00-0,20	0.2	Capa vegetal.
2	0,20-1,20	1	Limo arcilloso de color café humedo consistencia blanda, estructura migajan, plasticidad media fuerza seca baja, dilatancia ninguna, raices dispersas.
3	1,20-4,50	3.3	Arena gravosa de color gris humeda, no plasticidad levemente cementada, gravas redondeadas de tamaño maximo 4" compacidad media, fuerza seca ninguna dilatancia rapida.

Obs. : Sin observaciones.

Cód. de verificación: 88eddf2c312b13c7c7c92ae94079d13

Puede verificar la autenticidad del documento en la url "<http://cve.geocontrol.cl>".

Informe N° 31.468
Correlativo de Obra: 3
ISE/Ed.01/Ago19
Pág. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

RES. MINVU N° 0001 del 04 de enero de 2011

Informe N° 31.468

Correlativo de Obra: 4

Cliente	:	I MUNICIPALIDAD DE ANCUD		
Dirección	:	Blanco Encalada 660 Ancud		
Obra	:	Relleno Sanitario Puntra		
Ubicación	:	Ruta W340 s/n, Ancud		
Contacto	:	Mario Cárcamo	Celular	: +56 9 4471 7362
N° Proyecto	:	No aplica	Fecha de emisión	: 24-11-2020

Controles y/o Ensayos

Control(es) y/o ensayo(s) realizado(s) por personal de Laboratorio Geocontrol.

Nota: La reproducción total o parcial del presente informe debe ser hecha con la autorización de Laboratorio Geocontrol, los resultados son aplicables sólo a los controles realizados y/o a las muestras ensayadas.

Identificación

O.T. N°	:	25325	Registro N°	:	35376
Fecha de control	:	29-10-2020	Controlado por	:	Walter Díaz Guaman

Determinación densidad "In-Situ" Método Cono de Arena (NCh 1516.Of79) / Humedad (NCh 1515.Of79)

Item a controlar	1
Ubicación	Relleno Sanitario Puntra
Sector	Poniente
De	—
Lado	—
Cota	4,50
Capa	Pozo 1
Espesor control (cm)	23
Espesor capa (cm)	23
Densidad húmeda (g/cm ³)	1,916
Humedad (%)	11,0
Densidad seca (g/cm ³)	1,726
D.M.C.S. (g/cm ³)	1,820
Humedad óptima (%)	12,7
Compactación (%)	94,8

Obs. : Valor DMCS Proctor Modificado, según Informe N° 31.468-2, Lab. Geocontrol.

Cód. de verificación: 276450a38bd1c55ec5a7cbcd5779dc9b
 Puede verificar la autenticidad del documento en la url "<http://cve.geocontrol.cl>".

Informe N° 31.468
Correlativo de Obra: 4
ISDCA/Ed.01/Ago19
Pág. 1 de 1

ENSAYO COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA RELLENO SANITARIO RSD COMUNA DE ANCUD

Procedimiento MINVU 1996

Fecha: 24-02-2020

Coordenadas: N=5.339.200m

E=593.282 m.

Z= -4,5m.

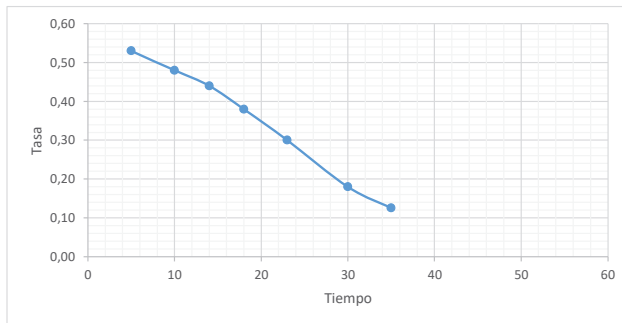
Altura	0,6	m			
Diametro	0,6	m	R	30	cm

K promedio	1,0522E-04	909,11	0,010522
	m/s	cm/dia	cm/seg

A B Coef. Permeabilidad
0,007 1 0,00714 cm/seg
257 mm/hr

Tiempo (seg)	dif_t (seg)	min	h (m)	vel (mm/seg)	h1/h2	ln(h1/h2)	A	B	K (m/s)	K (cm/dia)	K (cm/seg)
0		0	0,60								
300	300	5	0,53	0,233	1,132	0,124	0,037	600	0,00006	535,9	0,006
600	300	10	0,48	0,167	1,104	0,099	0,030	600	0,00005	428,1	0,005
840	240	14	0,44	0,167	1,091	0,087	0,026	480	0,00005	469,9	0,005
1080	240	18	0,38	0,250	1,158	0,147	0,044	480	0,00009	791,7	0,009
1380	300	23	0,30	0,267	1,267	0,236	0,071	600	0,00012	1021,2	0,012
1800	420	30	0,18	0,286	1,667	0,511	0,153	840	0,00018	1576,3	0,018
2100	300	35	0,13	0,180	1,429	0,357	0,107	600	0,00018	1540,8	0,018

A	B	K
0,0071429	0,99967	0,00714 cm/seg
257 mm/hr		



Luis Fuentes Espinoza
RUT 7.797.790-2
Ingeniero Civil

Anexo 4: Planos.