TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Título: “Caracterización ambiental y propuestas de cierre del vertedero a cielo abierto de Junín de los Andes”

Director: Natalia D’Amico

Co-director: Martin Nini

Jurado evaluador: Beatriz Marquez, Rene Paz Zalazar y Marcelo Caputo

Institucion educativa: Universidad Nacional de Rio Negro

Contenido

Contenido - 1 -

Información general - 3 -

Resumen - 4 -

Abstract - 4 -

Palabras clave - 4 -

Keywords - 5 -

Capítulo I: Introducción - 6 -

Justificación y antecedentes - 8 -

Objetivos - 11 -
Objetivo general - 11 -
Objetivos específicos - 12 -

Hipótesis - 12 -

Capítulo II: Marco teórico - 13 -

Descripción del medio - 13 -
Clima - 13 -
Geología - 16 -
Flora - 17 -
Fauna - 18 -
Suelos - 19 -
Hidrología superficial - 20 -
Hidrología subterránea - 21 -

Gases de vertedero presentes en un vertedero de residuos sólidos urbanos - 23 -
Generación de gases en un vertedero - 24 -
Condiciones que afectan la producción de gas - 26 -
Control pasivo de gases - 27 -

Calidad del agua subterránea - 28 -
Generación de lixiviados - 28 -
Composición del lixiviado - 29 -
Infiltración - 30 -

Capítulo III: Evaluación del sitio - 31 -

Zonificación y caracterización del predio - 31 -

Ubicación actual de los tubos de venteo - 33 -

Ubicación actual de los freatímetros - 34 -

Caracterización de los suelos del vertedero - 34 -

Capítulo IV: Metodología e instrumentación - 37 -

Gases del vertedero - 37 -

Determinación del estado de los tubos de venteo - 39 -

Agua subterránea - 40 -

Ensayo de infiltración - 42 -

Suelo del vertedero - 43 -

Estimación volumétrica de los residuos del vertedero - 47 -

Desarrollo del plan de monitoreo - 49 -
Monitoreo de gases - 49 -
Monitoreo de aguas - 51 -
Monitoreo de suelo - 53 -

Capítulo V: Resultados - 56 -

Determinación del estado de los tubos de venteo - 56 -

Medición de gases en los tubos de venteo - 57 -

Agua subterránea - 65 -

Ensayo de infiltración - 73 -

Suelo del vertedero - 82 -

Capítulo VI: Remediación del vertedero a cielo abierto - 84 -

Almacenamiento de mantillo y preparación del lugar - 84 -

Uso de mulch o cobertura orgánica en vertederos clausurados - 85 -

Técnicas de confinamiento - 86 -

Técnicas biológicas de remediación - 88 -
Selección de plantas - 90 -

Barreras reactivas permeables para el control del agua subterránea contaminada - 92 -

Revestimientos para el control de lixiviados en vertederos - 93 -

Recomendaciones y mejoras aplicables al vertedero a cielo abierto de Junín de los Andes - 94 -
Tubos de venteo - 94 -
Freatímetros - 95 -

Propuestas de remediación aplicables al vertedero - 97 -
Membrana semipermeable y cobertura de suelo - 97 -

Conclusiones - 103 -

Anexos - 104 -

Anexo I - 104 -
Resultados obtenidos en el muestreo del agua subterránea - 104 -

Anexo II - 108 -
Métodos de análisis de referencia - 108 -

Anexo III: Listado de abreviaturas y definiciones - 109 -

Referencias - 111 -

Información general

Título: Caracterización ambiental y propuestas de cierre del vertedero a cielo abierto en Junín de los Andes.

Alumno: Matías Valencia Mó.

Carrera: Ingeniería ambiental.

Directora: Natalia D'Amico.

Co-director: Martín Nini.

Resumen

La gestión de los residuos sólidos urbanos es una problemática que afecta a todas las poblaciones y que se ha incrementado debido al crecimiento de las urbanizaciones. Una incorrecta gestión de los residuos puede llevar a grandes problemas en el ambiente. En la localidad de Junín de los Andes se localiza un vertedero a cielo abierto, en el cual, actualmente no se disponen residuos y no se han aplicado medidas para la correcta disposición de los mismos, sino que se han enterrado en canteras y montículos. Se han muestreado y analizado diferentes parámetros en el agua subterránea, suelo y gases generados en el vertedero y, además, se han implementado metodologías para determinar el estado de los tubos de venteo y la composición de los suelos presentes en el sitio. Se han detectado algunos componentes peligrosos en el ambiente para la salud que deben ser contenidos. Es necesaria la implementación de diferentes medidas las cuales se han diferenciado por zonas en función de la necesidad de remediación, las características propias de cada zona y los componentes contaminantes detectados en los diferentes muestreos.

Abstract

Urban solid waste management is a problem that affects all populations and that has increased due to urbanizations development. Inappropriate waste management can lead to major environmental problems. Located in the town of Junín de los Andes there is an open-air landfill where, currently, no waste is available and not only action has not been taken for its proper disposal, but also, they are being buried in quarries and mounds. Different parameters in groundwater, soil and gases generated in the landfill have been sampled and analysed. In addition, methodologies have been implemented in order to determine vents tubes condition and the own composition of the soil. As a result, some dangerous to health components have been found in the environment and should be contained. It is necessary the implementation of different measures due to remediation needs, each zone features and the contaminating components found in the sampling process.

Palabras clave

Vertedero, contaminación, monitoreo.

Keywords

Dump, contamination, monitoring.

Capítulo I: Introducción

Desde tiempos remotos los seres humanos han utilizado los recursos provenientes de la tierra para satisfacer sus necesidades, y debido al aprovechamiento de los mismos se generaban residuos. En tiempos antiguos la generación de residuos no ocasionaba un problema significativo debido a que la población era pequeña y había gran disponibilidad de terrenos para la asimilación de los mismos. Con el paso del tiempo los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades y de esta manera la acumulación de residuos empezó a tomar mayor peso y generar diversas problemáticas [1].

La urbanización es uno de los fenómenos más importantes de nuestra época, en donde la población rural migra hacia los grandes centros urbanos por diferentes razones, creándose grandes ciudades con necesidades y problemas emergentes. Normalmente los procesos de urbanización en países subdesarrollados ocurren de manera caótica, sin planeamiento y sin infraestructura. Una de las mayores problemáticas de dicho crecimiento urbano es el aumento de la generación de residuos y su necesidad de tratamiento [2].

En muchas localidades del país, el acelerado crecimiento urbano y la falta de planificación y organización territorial, fomentó el aumento de la disposición de residuos en vertederos a cielo abierto. Un vertedero a cielo abierto se define como un sitio en el cual se lleva a cabo la eliminación indiscriminada de residuos sólidos sin control de operación o con medidas limitadas para proteger el ambiente.

Estimaciones sugieren que solo entre el 30-70% de los residuos generados en ciudades se recolecta para su eliminación, en cambio, el resto se eliminan a menudo en vertederos a cielo abierto, a lo largo de la calle o en cuerpos de agua [3]. La rápida urbanización y el crecimiento de las actividades industriales y comerciales generan una gran cantidad de residuos, cuya composición está determinada por el tipo de actividades que se desarrollan.

La eliminación inadecuada de los residuos está relacionada con diferentes consecuencias como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la contaminación del aire y del suelo, propagación de

enfermedades, problemas estéticos y olores, emisión de metano y bloqueo de drenajes, entre otros. Existe una clara relación entre la salud pública y el almacenamiento, recogida y eliminación inapropiada de los residuos. Un ejemplo de esto son las enfermedades transmitidas por las ratas, moscas u otros transmisores de enfermedades que se reproducen en vertederos incontrolados.

La urbanización e industrialización tienen un efecto marcado en el agua subterránea, vinculados al uso del suelo y a las prácticas de disposición de desechos y efluentes [4]. El agua subterránea y superficial son recursos vitales para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, por lo tanto, es necesario tomar medidas para asegurar su protección y salubridad [5].

En Argentina, el manejo de los residuos constituye un problema creciente para las autoridades y población, ya que su gestión se reduce normalmente, a la recolección domiciliaria e higiene urbana y a la disposición final, en muchos casos, en basurales a cielo abierto[1] [6]. El contexto histórico de Argentina muestra una falta de adecuación de la planificación urbana a las necesidades de la sociedad. Especialmente, en la segunda mitad del siglo XX se ha producido una urbanización con crecimiento exponencial, que presenta superposiciones en el uso del suelo y sin un aumento correspondiente de infraestructura [7].

El manejo de los residuos sólidos urbanos en Argentina es de incumbencia municipal, por lo tanto, en los gobiernos municipales recae la responsabilidad de su gestión. Consecuentemente, los municipios, también quedan obligados a su cuidado y preservación, evitando los posibles impactos negativos que pueden surgir del manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos.

La clausura de un vertedero implica un conjunto de operaciones con las cuales se busca cumplir con los siguientes objetivos: evitar la proliferación de vectores, reducir la generación de lixiviados, proteger la red hidrológica, limitar las posibilidades de incendio, controlar los gases producidos, estabilizar físicamente el vertido y dar una imagen paisajística aceptable [8]. Algunas de las medidas aplicables para el sellado del vertedero se pueden observar en la tabla 1.1:

[1] El término basural a cielo abierto extraído de la estrategia nacional para la gestión integral de residuos sólidos urbanos de Argentina es similar a vertedero a cielo abierto

Medida	Descripción
Capa de drenaje de gases	Capa a la que el gas llega fácilmente para extraerlo sin forzar su salida. Solo en vertederos con presencia importante de residuos biodegradables
Capa mineral impermeable	Capa de material arcilloso para impedir que el agua pluvial entre en contacto con el vertido y que los gases emanados sean contenidos y enviados por la canalización de desgasificación
Capa de drenaje	Facilita el drenaje de las aguas pluviales
Capa de cobertura	Capa de tierra de espesor superior a 1 metro

Tabla 1.1: Medidas para el cierre de un vertedero. Fuente: Gómez Órea, 2004.

Los residuos que se encuentran acopiados en el vertedero generan diferentes gases y lixiviados que pueden contaminar el medio en el que se encuentran, por tal motivo, es necesario tener un control sobre estas variables. Para garantizar que las migraciones y/o emisiones que ocurren de gases y lixiviados no superen los límites establecidos por normativas es necesario contar con un plan de monitoreo [9]. El plan de monitoreo que se diseñará estará adaptado al tipo de vertedero y al sitio en el cual se encuentra el mismo.

Justificación y antecedentes

La ciudad de Junín de los Andes se localiza en el sector Norte de los Andes Patagónicos, en la provincia del Neuquén (ver imagen 1.1). El ejido municipal tiene una gran extensión, de aproximadamente 6.49 kilómetros, llegando por el sur a la desembocadura del lago Lolog y por el norte, la del lago Huechulafquen (ver imagen 1.2). La ciudad ha experimentado un crecimiento poblacional sostenido durante las últimas décadas, y en líneas generales, la urbanización ha tenido un carácter desordenado por lo que actualmente se deben enfrentar numerosos problemas ambientales [10].

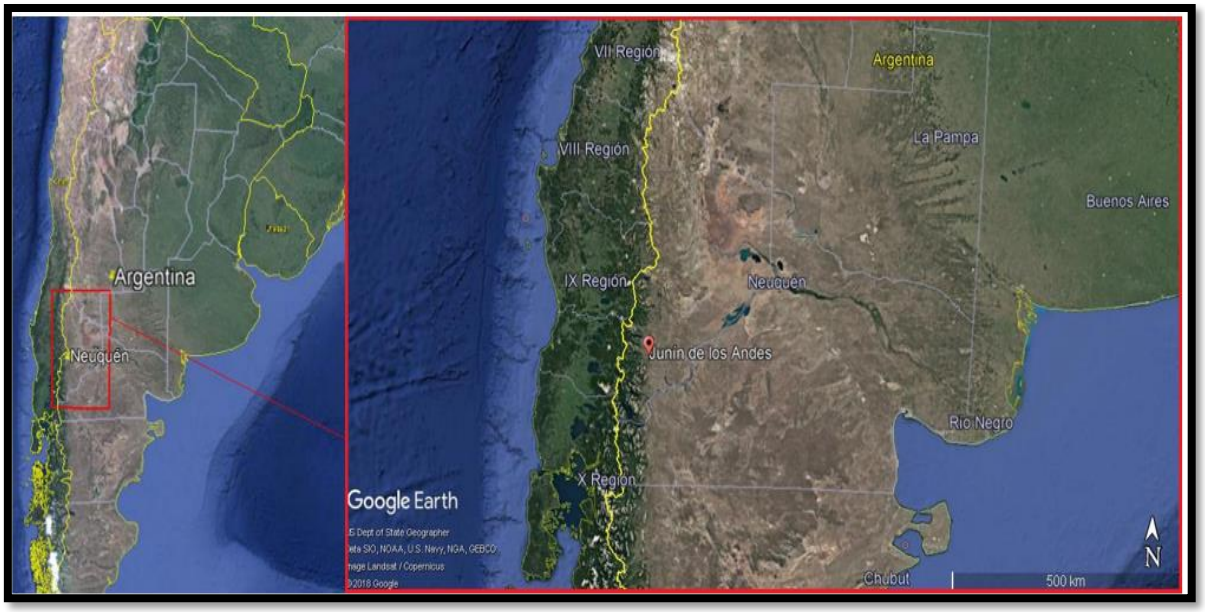

Imagen 1.1: Ubicación de la ciudad de Junín de los Andes en Argentina. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Imagen 1.2: Extensión del ejido urbano de la ciudad de Junín de los Andes. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

En la localidad de Junín de los Andes se localiza un vertedero de residuos sólidos urbanos, sobre la ruta Nacional N°40, a casi 4 km del centro de la ciudad y cercano al río Chimehuin. El predio abarca un área aproximada de 18 ha. Cuenta con una casilla de vigilancia y control, sin embargo, no posee un sistema de vigilancia continuo con personal controlando el ingreso de residuos. En la imagen 1.3 se puede apreciar la distancia entre el vertedero y el casco urbano central.

Imagen1.3: Ubicación del vertedero a cielo abierto en la ciudad de Junín de los Andes. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Los residuos fueron dispuestos en celdas sin estructura ni tecnologías de retención de lixiviados. Las celdas formaban parte de las terrazas de origen fluvio-glaciar [11]. Los residuos allí depositados fueron cubiertos con tierra y escombros, y no se realizó otro tipo de tratamiento.

Por otro lado, a pocos metros del vertedero se encuentra el barrio “101 viviendas”, el cual es afectado principalmente por la presencia de malos olores. También existen alrededor del vertedero nuevos barrios sociales y loteos (loteo social y cooperativa de vivienda, crédito y cooperativa de consumo nueva esperanza de Junín de los Andes limitada, cooperativa de vivienda de trabajadores de la educación, asociación mutual empleados judiciales Neuquén y cámara de comercio, industria, turismo y afines), en los cuales la fase de construcción de viviendas se encuentra muy avanzada. En la imagen 1.4 se pueden apreciar dichos barrios.

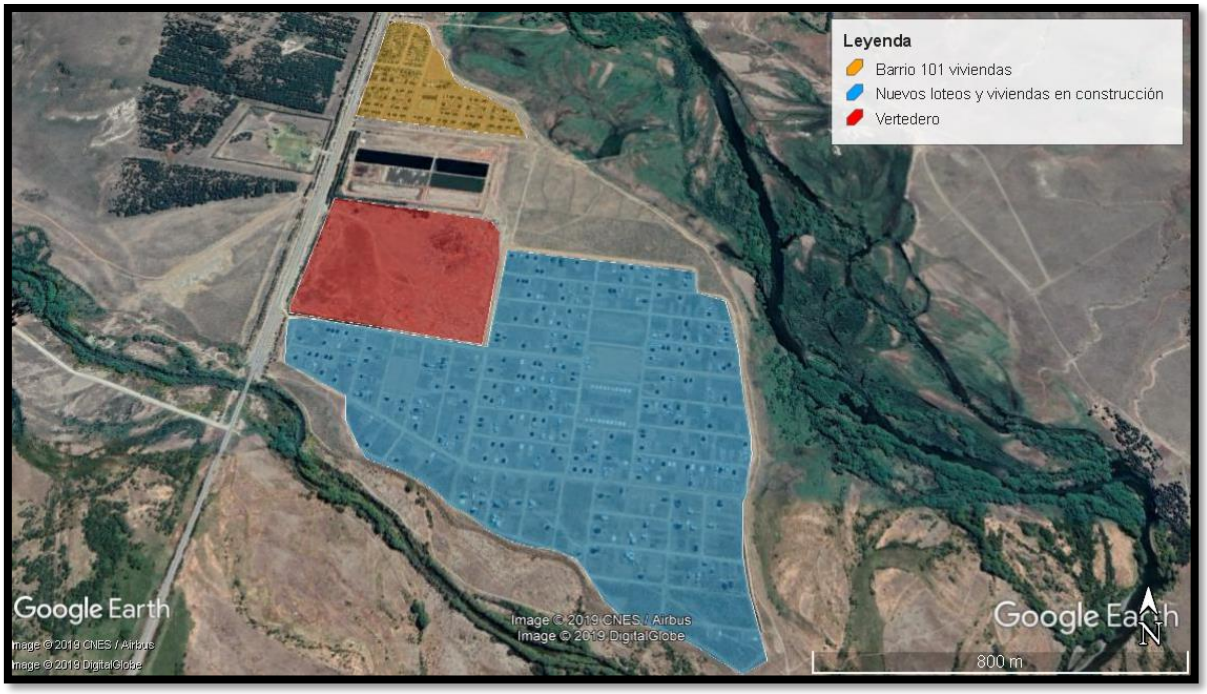

Imagen 1.4: Ubicación de los barrios aledaños al vertedero. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

El vertedero se encontró en funcionamiento hasta el 30 de junio de 2018, donde fue clausurado debido a diversos amparos ambientales presentados por diferentes organizaciones sociales que exigían el cierre del mismo. La clausura consistió en el cese de la disposición de residuos en este predio y fue el resultado de años de trabajo de distintas organizaciones sociales que exigían que a los residuos de la ciudad se les aplique el tratamiento necesario para reducir la contaminación de todos los componentes del ambiente en la zona. A pesar de que ya no se disponen residuos en el predio no se han aplicado medidas para contener o disminuir los contaminantes presentes en el sitio. Algunas de las organizaciones sociales que participaron fueron: cooperativa de vivienda y consumo nueva esperanza, cooperativa de vivienda y trabajo de la educación (Co.Vi.Tra.E.), centro de investigación y acción comunitaria mingaco, asociación civil conservación patagónica y asamblea socioambiental de Junín de los Andes.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la línea de base ambiental del vertedero y en función de la información obtenida realizar propuestas para la mejora ambiental de las celdas y del predio.

Objetivos específicos

I. Relevar y analizar estudios previos realizados en el vertedero.
II. Desarrollar el plan de monitoreo y monitorear aguas subterráneas y gases.
III. Caracterizar el suelo del sitio.
IV. Estimar el volumen de residuos que se encuentran acopiados en la totalidad del vertedero.
V. Proponer mejoras y relevar diferentes técnicas de remediación ambiental para el vertedero.

Hipótesis

La hipótesis del trabajo sostiene que el vertedero a cielo abierto en Junín de los Andes presenta un elevado riesgo de contaminación ambiental y, por lo tanto, requiere de medidas para remediar el sitio, permitiendo disminuir los impactos negativos en el ambiente en el que se encuentra, acorde a la normativa vigente y aplicable.

Capítulo II: Marco teórico

Descripción del medio

A fin de proponer una mejora notable en las condiciones ambientales del sitio donde se ubica el vertedero a cielo abierto, es necesario conocer el medio natural donde se encuentra ubicado y las características de la zona. Las propuestas ambientales que se propongan y el éxito de su aplicación están sujetas en gran parte a las condiciones naturales del sitio, por tal motivo, es necesario realizar una descripción de estas variables.

Clima

Para la descripción del clima se utiliza la información disponible en un estudio realizado por el Servicio Geológico Minero Argentino en el año 2010, en el cual se utilizaron los datos aportados por la Dirección de Bosques de la provincia de Neuquén que posee una estación meteorológica en la ciudad de Junín de los Andes y los registros aportados por los establecimientos agrícola-ganaderos cercanos a la localidad. Esta información está compuesta por registros continuos de temperatura, humedad, precipitaciones, dirección y frecuencia de los vientos en el periodo comprendido entre febrero de 1991 y el 2010.

La temperatura media anual para el sector es de alrededor de 16°C, con temperaturas medias para los meses más cálidos del orden de los 23°C (enero-febrero) y para los meses más fríos del orden de los 6°C a 8°C (junio-julio). La temperatura mínima media es de 3.11°C con al menos 3 meses por debajo del punto de congelación (junio, julio y agosto). Por su parte, la temperatura máxima media es de 20.93°C, con valores superiores a los 25°C para los meses de enero, febrero y diciembre. En la tabla 2.1se pueden observar los principales parámetros climáticos de la ciudad de Junín de los Andes.

Meses	Temperatura media [ºC]			Humedad [%]	Lluvia [mm]
	Mensual	Máxima diaria	Mínima diaria		
Enero	23.95	29.48	7.62	31.28	11.30
Febrero	22.69	28.42	6.54	33.36	7.90
Marzo	20.05	25.15	5.15	38.97	15.40
Abril	15.27	20.98	2.99	48.22	36.50
Mayo	11.62	16.81	1.72	57.77	65.00
Junio	6.58	11.16	-0.61	64.73	189.50
Julio	8.54	12.99	-1.74	61.49	96.80
Agosto	9.64	14.88	-1.10	55.01	80.50
Septiembre	12.37	17.02	0.48	45.39	48.30
Octubre	17.11	21.89	3.03	40.08	32.50
Noviembre	18.71	23.34	5.27	39.17	28.20
Diciembre	22.15	27.90	7.97	34.43	17.20
Anual	15.72	20.83	3.11	45.83	629.10

Tabla2.1: Principales parámetros climáticos de la ciudad de Junín de los Andes. Fuente: SEGEMAR, 2010.

Con respecto a las precipitaciones, la media anual para la zona es de aproximadamente 650 milímetros, mientras que el periodo entre abril y septiembre acumula valores cercanos a los 500 milímetros. El resto de las precipitaciones se producen en los meses de primavera, con una marcada sequía entre enero y marzo. Existe un gradiente marcado de precipitaciones, en el cual, aumentan hacia el oeste y disminuye notoriamente hacia el este. En la imagen 2.1se puede apreciar un climodiagrama en el cual se muestran las temperaturas medias mensuales en color rojo y las precipitaciones medias mensuales en color azul, para el lapso temporal comprendido entre 1991 y 2010.

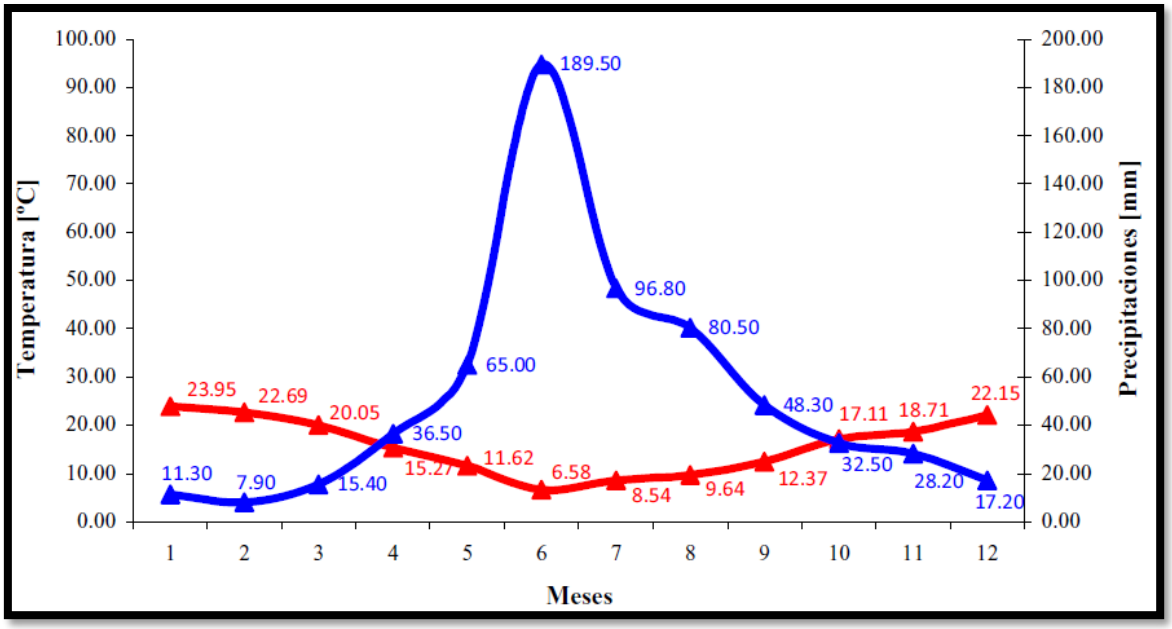

Imagen 2.1: Climodiagrama con las temperaturas y precipitaciones medias mensuales. Fuente: SEGEMAR, 2010.

Los vientos cargados de humedad, provenientes del océano Pacífico, al encontrarse con la Cordillera de los Andes, ascienden rápidamente y se enfrían produciéndose la condensación del vapor de agua que se descarga en forma de lluvia sobre una angosta faja cercana a la Cordillera, que origina en algunos sectores un gradiente pluviométrico de casi 50 milímetros por kilómetro en sentido oeste-este.

El viento tiene sentido y frecuencia predominante del oeste, es intenso en toda el área y especialmente en los meses de primavera y principios de verano, sin embargo, es de esperarse vientos fuertes durante todas las estaciones del año como puede verse en la tabla 2.2. La letra F representa la frecuencia y VM la velocidad media. La velocidad media mensual más baja registrada corresponde al mes de mayo de 1999 con 3.8 km/h, mientras que la mayor se registró en enero de 1997 con 17.5 km/h.

	N		NE		E		SE		S		SO		O		NO	
	F	VM	F	VM	F	VM	F	VM	F	VM	F	VM	F	VM	F	VM
Enero	0		16	10.93	2	8.00	27	9.36	1	22.00	79	15.49	2	29.50	22	9.55
Febrero	1	4.00	20	9.79	5	10.38	17	14.36	4	14.67	48	16.14	2	28.00	18	11.39
Marzo	1	5.00	27	12.55	3	4.00	15	7.72	2	9.50	71	16.07	4	15.67	32	10.68
Abril	2	4.00	30	9.06	3	5.00	25	5.44	2	9.00	44	13.44	9	13.81	33	8.79
Mayo	7	2.90	36	9.34	3	5.00	26	6.34	5	4.44	46	9.67	4	11.50	26	9.30
Junio	3	9.00	31	6.16	1	12.00	17	4.23	6	3.33	29	6.49	4	17.00	20	6.93
Julio	4	3.00	18	3.92	5	4.50	16	4.14	3	6.00	45	10.96	6	9.61	23	15.50
Agosto	1	6.00	16	8.82	7	7.00	22	6.36	2	3.50	66	11.15	7	12.00	29	9.10
Septiembre	0		18	10.42	2	8.00	10	6.34	2	9.00	68	12.29	3	15.75	35	11.19
Octubre	0		14	12.07	3	5.33	20	7.75	0		78	14.11	6	12.38	30	11.17
Noviembre	1	11.00	21	10.33	2	4.50	23	9.01	6	7.00	81	14.79	7	12.09	36	9.39
Diciembre	1	11.00	15	6.10	4	6.34	20	9.00	4	7.34	98	15.71	7	5.25	21	10.54

Tabla 2.2: Frecuencia de los vientos en la ciudad de Junín de los Andes. Fuente: SEGEMAR, 2010.

Geología

La localidad de Junín de los Andes se localiza en la provincia geológica de los Andes Patagónicos, en su segmento norte (Cordillera Patagónica Septentrional). La misma corresponde a una faja plegada y corrida de retroarco, de edad terciaria e incluye pequeños sectores del arco volcánico actual. Dentro de la misma se pueden encontrar diferentes litologías de variadas edades y orígenes, las cuales se engloban en la estructuración terciaria-cuaternaria. Estas litologías preexistentes fueron parcialmente modificadas por el accionar de diferentes procesos en las últimas decenas de miles de años, en especial durante el periodo cuaternario.

Es posible diferenciar en la zona dos grandes conjuntos litológicos. Por un lado, un conjunto rocoso formado por rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentarias paleógenas y neógenas, y por otro lado un conjunto heterogéneo de sedimentos cuaternarios y recientes no consolidados, formados por depósitos inconsolidados cuaternarios glaciarios, glacifluviales, fluviales y tefras.

Además, se pueden diferenciar ocho unidades, de más joven a más antiguas:

1. Depósitos fluviales holocenos y actuales.
2. Depósitos aluvio-coluviales holocenos y actuales.
3. Depósitos cineríticos holocenos.
4. Depósitos pedemontanos cuaternarios.
5. Depósitos glacifluviales pleistocenos.

6. Depósitos glaciarios pleistocenos.
7. Basaltos y volcánicas neógenos.
8. Formación Chimehuin: areniscas, tobas, tufitas y conglomerados neógenas.

Flora

La localidad de Junín de los Andes se ubica en una zona de transición entre el distrito del bosque caducifolio y el distrito patagónico occidental. En dicha zona pueden observarse distintas asociaciones vegetales.

En las zonas bajas y planas se observan pastizales empobrecidos por la actividad ganadera y pastoril, con una alta presencia de *Mulinum spinosum* (neneo), *Stipa speciosa* (coirón amargo), *S. humilis, Acaena pinnatifida, A. ovalifolia y sisyrinchium junceum, Cortaderia araucana, Loasa acanthifolia, Calceolaria sp.,* entre otras.

En zonas más altas se observan pastizales de *Festuca pallescens* y en lugares más húmedos praderas de gramíneas, ciperáceas y juncáceas con presencia de *Taraxacum officinalis, Trifolium repens y Carex subantática,* las que suelen estar acompañadas por arbustos como *Escallonia virgata, E. rubra, Ribes magallanicum, R. cucullatum,* y *Myoschilos oblongum*, entre otros.

Los pastizales en general presentan de baja a media cobertura de arbustos, tales como *Schinus patagónicus, Colletia spinossisima, Discaria trinervis, D. chacaye, Adesmia boronioides, A. trijuga, Senecio sp., Baccharis sp., Berberis sp., Rosa eglanteria,* entre otras.

Entre las especies exóticas se pueden encontrar *Populus sp*. (álamos), *Salix sp*. (sauces), *Pinus contora* y *Pinus ponderosa* (pinos), entre otras especies de pinos.

En las lomas de tipo morena hay arbustos bajos de *Maytenus chubutensis, Schinus patagónicus, Colletia spinossisima, Discaria trinervis, D. chacaye, Mulinum spinosum, Adesmia boronioides, A. trijuga, Ephedra frustillata* y algunos ejemplares de *Lomatia hirsuta, Embothrium coccineun y Austrocedrus chilensis* de muy bajo porte.

En los bordes de arroyos, ríos y cañadones se encuentra el bosque en galería, formado por *Schinus patagónicus, Colletia spinossisima, Discaria trinervis, D. chacaye, Maytenus boaria, Nothofagus antárctica, Austrocedrus chilensis, Lomatia hirsuta, Escallonia virgata, E. rubra, Ribes magellanicum, Ribes cucullatum* y *Myoschilos oblongum.*

Por último, hacia el oeste de la ciudad y en las laderas de las montañas, se encuentran masas boscosas, en general de alta densidad y cobertura, integrados por *Austrocedrus chilensis, Lomatia hirsuta y Nothofagus antarctica*, acompañados principalmente por *Embothrium coccineum, Maytenus boaria, Discaria trinervis* y *Discaria chacaye.* Finalmente, cabe destacar la existencia de grandes superficies ocupadas por forestaciones de pinos que se encuentran en diferentes etapas de crecimiento.

Fauna

Entre los mamíferos mayores que pueden encontrarse en la zona se encuentran algunos nativos como el *Puma concolor (*puma*)*, *Lycalopex gimnocercus* y *Lycalopex culpeus* (zorros) y otras especies exóticas como el *Cervus elaphus (*ciervo), *Sus scrofa* (jabalí) y *Mustela visón* (visón).

También se observan otras especies, entre las nativas se distinguen el *Galictius cuja* (hurón), *Histiotus sp., Laciurus varius* y *Myotis chilensis* (murciélagos), numerosos roedores como *Phyllotis xanthopygus*, *Reithrodon auritus*, *Irenomys tarsalis*, *Abrothrix longipilis*, *A. olivaceus* y *Oligorizomys longicaudatus,* entre otros. Entre las especies exóticas se pueden observar el *Lepus capensis* (liebre) y *Oryctolagus cuniculus* (conejo), los que constituyen en algunos lugares los animales predominantes.

Hay numerosas aves, entre las especies nativas se pueden observar *Polyborus plancus* (carancho), *Milvago chimango* (chimango), *Zonotrichia capensis* (chingolo), *Zenaida auriculata* y *Columba araucana* (palomas), *Sturnella loica* (loica*)*, *Colaptes pitius* y *Picoides lignarius* (pájaros carpinteros), *Ceryle torquata* (martín pescador), *Cloephaga sp*. (cauquenes), *Theristicus melanopsis* (bandurria*)* y *Enicognathus ferrugineus* (cachaña), entre otros.

A partir de la introducción de los salmónidos en la zona, los ambientes acuáticos están poblados principalmente por especies exóticas como *Salmo gairdneri* (trucha arcoíris), *Salmo trutta* (trucha marrón), *Salmo salar sebago* (salmón

encerrado) y *Salvelinus fontinalis* (trucha de arroyo). También puede encontrarse algunas especies nativas como *Percichthys sp*. (percas) y en forma menos probable *Galaxias sp*. (puyénes), *Diplomystes viedmensisi* (otuno) y otros peces menores.

Suelos

Los suelos reconocidos en la ciudad de Junín de los Andes perteneces a cuatro órdenes: andisoles, molisoles, entisoles e inceptisoles. Los suelos de la zona, en general, poseen perfiles poco desarrollados y diferenciados, con un horizonte diagnóstico del tipo mólico. Otro rasgo que tienen en común es la textura, que va de gruesa a medianamente gruesa en la mayor parte de los suelos. Se ha notado la existencia de una secuencia edáfica de oeste a este, en el cual los procesos de alteración de cenizas (andosolización) disminuyen hacia el este, como así también las propiedades ándicas tales como retención hídrica, retención de fosfatos, índices de cargas variables y pH en fluoruro de sodio, debido a un clima progresivamente más seco.

Esta variación climática explica el cambio de oeste a este, de andisoles a molisoles. La incorporación de la materia orgánica es preferentemente subsuperficial y su transformación en humus ha generado el oscurecimiento de los epipedones (melanización).

Los suelos de la región se caracterizan por poseer perfiles simples, en general A1-C o a lo sumo A1-AC-C, con escaso contraste morfológico. Además, casi siempre se encuentran bien drenados y tienen estructura poco desarrollada lo que puede deberse a la naturaleza de los materiales parentales, ya sean cenizas, depósitos fluviales y glacifluviales, todos ellos de textura gruesa.

Los suelos del vertedero a cielo abierto de la localidad de Junín de los Andes se clasifican como haploxerol ándico. Los suelos clasificados como haploxerol son andisoles que se encuentran en transición a un régimen xérico. Se trata de suelos de moderado a bajo grado de desarrollo, perfiles simples y frecuentes discontinuidades litológicas.

El régimen xérico está caracterizado por inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos con sequías prolongadas. Existe un déficit de agua que coincide con el verano. Las lluvias se producen en otoño, momento en que la evapotraspiración

es baja y el agua permanece en el suelo a lo largo del invierno. Suele haber otro pico de precipitación en primavera, pero la reserva de agua se agota rápido por la elevada evapotranspiración. Las lluvias durante el verano son poco frecuentes y, aunque a veces son importantes por la cantidad de agua, son muy poco eficientes por la elevada evapotranspiración y debido a que la mayor parte del agua de estas lluvias se pierde por escorrentía superficial [12].

Hidrología superficial

La ciudad de Junín de los Andes se encuentra dentro de la cuenca del río Chimehuín, el cual, a su vez, forma parte de la cuenca del Collón Cura-Limay. Este curso tiene sus nacientes a 30 kilómetros de la ciudad, en el lago Huechulafquen que, en conjunto con los lagos Paimún y Epulafquen forman un complejo lacustre de gran extensión. Además, hacia el este de la ciudad pueden encontrarse los lagos Curruhue Grande y Chico donde nace el río del mismo nombre y el lago Lolog, del cual nace el rio Quilquihue, que en conjunto forman un área lacustre de 154 km^2. En la imagen 2.2 se pueden apreciar los cuerpos de agua anteriormente mencionados:

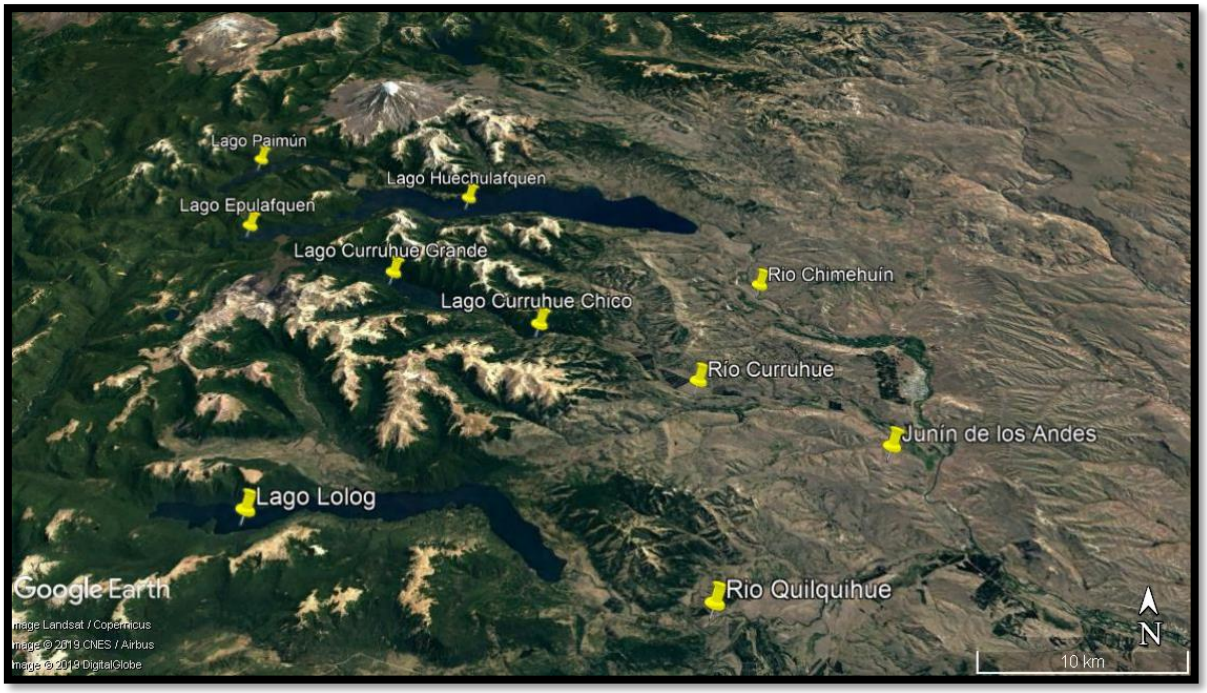

Imagen 2.2: Cuerpos de agua cercanos a la localidad de Junín de los Andes. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

La cuenca del río Chimehuín está localizada entre los paralelos de latitud 39° 30’ y 40° 50’ sur y entre los meridianos 70° 45’ y 71° 45’ oeste y abarca una superficie

de 2649 km^2. El río Chimehuín posee un régimen regulado naturalmente por el complejo lacustre anteriormente mencionado. A pesar de esto, en épocas de crecidas el rio afecta las áreas ribereñas de la localidad de Junín de los Andes.

El rio Chimehuín tiene un régimen predominantemente pluvionival, presentando un periodo de aguas bajas en febrero, marzo y abril y dos épocas de crecientes. La primera época de crecientes ocurre en el invierno, en los meses de junio, julio y agosto en los que se producen los máximos eventos de precipitación. La segunda creciente ocurre en la primavera, en los meses de septiembre, octubre y noviembre donde se fusiona la nieve en la alta cordillera. Los caudales varían durante el año, notándose de manera clara las ondas de crecientes correspondientes a las épocas mencionadas anteriormente.

El cauce principal del rio está compuestos por gravas y bloques, con escasa presencia de partículas finas de limos y arcillas. En la planicie de inundación se encuentran árboles de porte mediano y alto, matorrales bajos y pastizales. El hábito es típicamente anastomosado, con frecuentes barras transversales y longitudinales que forman rápidos y pequeñas islas semipermanentes.

Hidrología subterránea

Se pueden identificar en la zona de estudio distintas unidades hidrogeológicas que, a grandes rasgos, se pueden clasificar en basamento hidrogeológico y depósitos cuaternarios. El basamento hidrogeológico está constituido esencialmente por la formación Chimehuin (sedimentaria y piroclástica) del Terciario superior y presenta, generalmente, muy baja permeabilidad primaria. Todo el complejo mencionado anteriormente fue plegado y fracturado con el surgimiento de la Cordillera de los Andes, adquiriendo una permeabilidad secundaria de la cual no existen referencias cuantitativas.

Existen zonas de mayor diaclasamiento, que se ubican cerca de fallas. En estas zonas, se pueden encontrar acuíferos en roca fracturada que muestran una temperatura correspondiente con su profundidad y presentan un gradiente geotérmico elevado.

Dentro de la definición de depósitos cuaternarios se incluyen depósitos morénicos, glacifluviales, glacilacustres y fluviales indiferenciados, que poseen distintos comportamientos hidrogeológicos, lo cual permite identificarlos. No se

conoce el espesor total de esta cubierta cuaternaria, pero la misma puede superar los 100 metros de espesor en algunos sectores.

Los depósitos morénicos tienen una granulometría muy heterogénea que puede ir desde limo fino a bloques. A grandes rasgos, la permeabilidad es media a media-alta, sin embargo, presenta sectores de menor permeabilidad. Tal característica provoca que esta unidad actúe como límite lateral discontinuo de unidades de mayor permeabilidad, o bien como límite inferior de acuíferos colgados, pudiendo dar lugar a vertientes.

Los depósitos glacifluviales son consecuencia del material que fue transportado por el glaciar y luego fue seleccionado y depositado por los arroyos generados por el derretimiento del hielo. Están compuestos, generalmente, por gravas y arenas estratificadas. Las permeabilidades son altas a muy altas. Representan las unidades de mayor importancia hidrogeológica en la zona de estudio.

Por último, los depósitos fluviales indiferenciados corresponden a los depósitos fluviales de cursos actuales y paleocauces, compuestos generalmente por gravas y arena, que actúan en ciertos casos como acuíferos subálveos. Sin embargo, poseen poco espesor y extensión, por lo tanto, son considerados acuíferos de menor importancia.

Los acuíferos observados en la zona, se comportan hidráulicamente como acuíferos libres, a excepción de los posibles acuíferos que puedan existir en profundidad entre el basamento hidrogeológico y un depósito de till de fondo, entre dos depósitos de till de fondo o en lentes permeables dentro de los mismos, que se comportarían hidráulicamente como acuíferos confinados.

La recarga de los acuíferos libres es de tipo local por infiltración del agua de lluvia-nieve y por infiltración del agua que escurre por las laderas de los cerros. En menor medida, y en forma estacional, puede producirse una recarga limitada desde los lagos y ríos. Esto provoca que muchos cauces superficiales que nacen en los cerros, pierdan o atenúen su identidad al alcanzar la zona donde afloran los depósitos de origen glaciar, glacifluvial o fluvial. La descarga de las aguas subterráneas se produce esencialmente hacia el rio Chimehuín, y en menor medida, hacia las numerosas vertientes y en los arroyos más importantes.

Gases de vertedero presentes en un vertedero de residuos sólidos urbanos

El gas de los vertederos está compuesto de varios gases que pueden encontrarse en diferentes cantidades y algunos de estos pueden ser tóxicos y podrían presentar riesgos para la salud humana. Los gases que se encuentran en los vertederos incluyen amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2). En la tabla 2.3 se pueden observar las composiciones típicas de los gases presentes en un vertedero de residuos sólidos urbanos.

Componente	**Porcentaje (base volumen seco)**
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxígeno	0.1-1
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0-1
Amoníaco	0.1-1
Hidrógeno	0-0.2
Monóxido de carbono	0-0.2
Constituyentes en cantidades traza	0.01-0.6

Tabla 2.3: Composición típica de los gases de un vertedero. Fuente: Tchobanouglous, 1994.

La composición porcentual exacta de gases variará según la antigüedad del vertedero. El metano y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaeróbica de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos. Cuando el metano está en el aire en concentraciones entre el 5 (límite inferior de explosividad en volumen) y el 15 por ciento (límite superior de explosividad en volumen), se lo considera explosivo [13].

Generación de gases en un vertedero

El gas en los vertederos se genera principalmente por tres procesos: descomposición bacteriana, volatilización y reacciones químicas. La descomposición bacteriana se produce por bacterias presentes naturalmente en los residuos y en el suelo utilizado para cubrir el vertedero.

Los gases del vertedero pueden crearse cuando ciertos desechos, en especial los orgánicos, cambian de líquido o sólidos a gas, y a tales procesos se los conoce como vaporización y volatilización. Los compuestos orgánicos distintos al metano presentes en el gas del vertedero pueden ser el resultado de la volatilización de ciertos productos químicos eliminados en el vertedero.

La generación de los principales gases de vertedero se produce en cinco fases, las cuales se describen a continuación:

Fase I: Ajuste inicial

Los componentes orgánicos biodegradables de los residuos sólidos urbanos (RSU) sufren descomposición microbiana mientras se colocan en el vertedero y durante un tiempo, acorde a las condiciones ambientales o del entorno. Los residuos sólidos urbanos consisten en artículos de uso cotidiano como alimentos, botellas y latas, electrodomésticos, electrónicos y baterías, empaques de productos, muebles y ropa, entre otros. Las fuentes de RSU incluyen los residuos residenciales, los comerciales y los institucionales [14]. La descomposición biológica es aeróbica en un principio, debido a que hay cierta cantidad de aire atrapado en el vertedero. La fuente principal de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos es el material de suelo que se utiliza como cubrición.

Fase II: Fase de transición

En esta fase, el oxígeno desciende y comienzan a desarrollarse condiciones anaeróbicas. Bajo estas condiciones, los nitratos y sulfatos pueden convertirse en gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El potencial de oxidación/reducción comienza a bajar y los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica en metano y dióxido de carbono empiezan un proceso de tres pasos (con una fase inicial, una fase de transición y una fase ácida), con la

conversión del material orgánico complejo en ácido orgánico y otros productos intermedios.

Fase III: Fase ácida

En esta etapa, se acelera la actividad microbiana iniciada en la etapa anterior, con la producción de cantidades importantes de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. El primer paso implica la transformación de compuestos de alto peso molecular, a través de la acción de enzimas, en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y carbono celular. El segundo paso se denomina acidogénesis, y en el mismo, los compuestos resultantes del primer paso son convertidos en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como ácido acético, ácido fúlvico y otros ácidos más complejos.

Fase IV: Fase de fermentación del metano

En esta fase, el segundo grupo de microorganismos, que convierten el ácido acético y el gas de hidrógeno en metano y dióxido de carbono, comienzan a ser predominantes. Los microorganismos responsables de esta fase son anaerobios estrictos y se denominan metanogénicos. Como los ácidos y el gas hidrógeno se han convertido en metano y dióxido de carbono, el pH dentro del vertedero subirá a valores más neutros, en el rango de 6.8 a 8.

Fase V: Fase de maduración

La fase de maduración se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en metano y dióxido de carbono durante la fase IV. La humedad sigue migrando a través de los residuos y se convierten partes del material biodegradable que antes no estaban disponibles. Durante esta etapa, la velocidad de formación de gases disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de degradación lenta [1]. Los principales gases que han evolucionado en esta fase son metano y dióxido de carbono.

La reacción química generalizada para la descomposición anaeróbica de RSU puede escribirse de la siguiente manera en la reacción 1:

Reacción 1:

Materia orgánica (residuos sólidos) + H_2O ⟶ Materia orgánica biodegradable + CH_4 + CO_2 + otros gases

Condiciones que afectan la producción de gas

La velocidad y el volumen de los gases del vertedero producido en un sitio específico depende de las características de los residuos (por ejemplo, la composición y la edad de los mismos) y una serie de factores ambientales como por ejemplo la presencia de oxígeno en el vertedero, el contenido de humedad y la temperatura [15].

Composición del residuo: Mientras más residuos orgánicos estén presentes en el vertedero, mayor será la producción de gases, por ejemplo, dióxido de carbono, metano, compuestos nitrogenados y sulfuro de hidrógeno son producidos por la actividad de las bacterias durante la descomposición. Mientras más productos químicos contenga el vertedero, mayor probabilidad de que se produzcan compuestos orgánicos distintos al metano y otros gases, por volatilización o reacciones químicas.

Edad del vertedero: En general, los residuos más recientemente enterrados (es decir, los residuos enterrados hace menos de diez años) producen más gases de vertedero a través de la descomposición bacteriana, la volatilización y las reacciones químicas que los residuos más antiguos (es decir, los residuos enterrados hace más de 10 años). La producción pico de gas suele ocurrir entre los 5 y 7 años después de que se entierran los residuos.

Contenido de humedad: La presencia de humedad en el vertedero incrementa la producción de gas porque favorece la descomposición bacteriana. La humedad puede también promover reacciones químicas que producen gases.

Temperatura: A medida que aumenta la temperatura del vertedero, aumenta la actividad bacteriana lo que favorece una mayor producción de gases. El aumento de la temperatura también puede aumentar las tasas de volatilización y reacciones químicas.

Control pasivo de gases

Uno de los métodos pasivos más utilizados para controlar los gases de vertedero se basa en el hecho de que se puede reducir la migración lateral de los gases rebajando la presión del gas en el interior del vertedero. Para tal motivo, se instalan tubos a través de la cobertura final, extendiéndose hacia abajo en la masa de residuos sólidos. Si el gas metano que se libera se encuentra en una concentración suficiente se puede realizar la quema del mismo, de manera manual o utilizando un quemador. En la imagen 2.3 se puede observar la composición de un sistema pasivo para la liberación de gases de vertedero

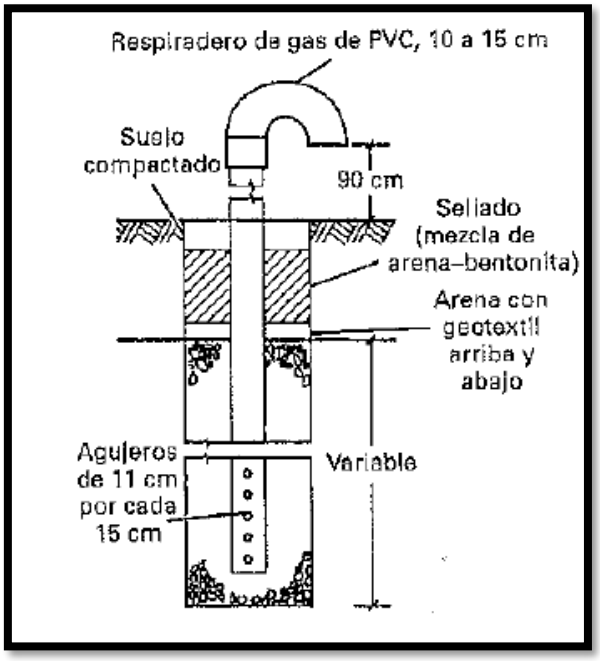

Imagen 2.3: Ilustración de un tubo de venteo para la extracción pasiva de gases. Fuente: Tchobanouglous, 1994.

Los sistemas pasivos de recolección de gases usan las variaciones de presiones existentes en los vertederos y la concentración de gases para ventilarlos hacia la atmósfera o hacia un sistema controlado. Los sistemas de recolección pasiva pueden instalarse durante la operación activa del vertedero o después de su cierre. Los sistemas pasivos utilizan pozos de recolección, también conocidos como tubos de venteo. Los pozos de recolección se construyen típicamente de plástico perforado o ranurado y se instalan verticalmente en toda la extensión del vertedero para profundidades que van del 50% al 90% de la altura de la capa de los residuos.

La eficiencia de un sistema de recolección pasivo de gases depende también de las condiciones ambientales, que puede ser o no controlado por el diseño del sistema. Cuando la presión en la masa de residuos es insuficiente para empujar al gas al sistema de ventilación, el gas del vertedero es insuficientemente evacuado. Una alta presión barométrica, puede resultar en que el aire exterior ingrese a la masa de residuos a través de los conductos de ventilación. Por estos motivos, los sistemas de recolección pasivos de gases no se consideran lo suficientemente confiables para áreas con un alto riesgo de migración de gases, especialmente, donde el metano puede acumularse a niveles explosivos.

Calidad del agua subterránea

Las aguas subterráneas tienen una importancia fundamental en el suministro a las redes de agua potable y son explotadas intensivamente para usos domésticos, privados e industriales. El control de la calidad del recurso hídrico es fundamental para asegurar un abastecimiento confiable de agua para consumo y demás usos. Debido al crecimiento urbano y a las actividades industriales cada vez más intensivas, se hace más marcado el deterioro de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas. Un vertedero a cielo abierto presenta un alto riesgo de afectar negativamente a las aguas subterráneas y superficiales, por tal motivo es indispensable realizar estudios de la calidad del recurso y establecer medidas en caso que sea necesario para el control de la contaminación [16].

Debido al acelerado y desordenado crecimiento urbano que se ha producido en la localidad de Junín de los Andes, distintos barrios se han asentado en las inmediaciones del sitio donde se ubica el vertedero a cielo abierto. Si bien, actualmente no se depositan residuos en dicho lugar, los residuos que se encuentran enterrados están en proceso de degradación y pueden liberar sustancias peligrosas al medio. Al no contar con tecnologías para la retención de los lixiviados existe un riesgo de que los mismos alcancen los niveles subterráneos del agua.

Generación de lixiviados

Uno de los mayores problemas en los vertederos a cielo abierto es la generación de lixiviados que se producen en los residuos sólidos dispuestos y la posibilidad de que los mismos contaminen a las fuentes de agua. Los lixiviados se pueden

definir como los líquidos que se filtran a través de los residuos sólidos y que extraen materiales disueltos o en suspensión. En la mayoría de los vertederos el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas (drenaje superficial, precipitaciones, aguas subterráneas) y por el líquido producido por la descomposición de los residuos.

Composición del lixiviado

Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y químicos. En la tabla 2.4se pueden observar algunos datos representativos de las características de los lixiviados en vertederos maduros y nuevos. Cabe destacar, que la composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del vertedero y el momento de muestreo. La biodegradabilidad del lixiviado variará con el tiempo, la misma se puede medir mediante el control de la relación DBO_5/ DQO. Inicialmente, las relaciones estarán en el rango de 0.5 o más. Las relaciones en el rango de 0.4 a 0.6 son indicadoras de que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos antiguos la relación DBO_5/DQO está en el rango de 0.05 a 0.2.

Constituyente	**Vertedero nuevo (menos de 2 años) (mg/L)**		**Vertedero maduro (mayor de 10 años) (mg/L)**
	Rango (*)	**Típico (**)**	
DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno en 5 días)	2000-30000	10000	100-200
COT (carbon orgánico total)	1500-20000	6000	80-160
DQO (demanda química de oxígeno)	3000-60000	18000	100-500
Total de sólidos en suspensión	200-2000	500	100-400
Nitrógeno orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como $CaCO_3$	1000-10000	3000	200-1000

Tabla 2.4. Composición de los lixiviados en vertederos nuevos y maduros. Fuente: Tchobanouglous, 1994

** El valor de rango representan valores de referencia entre los que pueden variar los diferentes parámetros.*

*** Los valores típicos del vertedero varían según el estado metabólico del vertedero*

Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual, el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo. La capacidad de infiltración o tasa de infiltración es la capacidad máxima con que un suelo, en una condición dada, puede absorber agua, se expresa normalmente en mm/h. A la capacidad de infiltración, solo se llega durante una precipitación si el exceso de la misma es mayor o igual a cero. Para realizar la medición de la capacidad de infiltración se pueden utilizar instrumentos como por ejemplo los infiltrómetros.

Estos infiltrómetros se entierran en el terreno, sin embargo, no son representativos de un área extensa y sólo pueden utilizarse para estudios locales en los puntos de medición. Entre las desventajas de los infiltrómetros se pueden mencionar:

- Al colocarlos se altera el terreno.
- El recorrido del agua infiltrada en un infiltrómetro es diferente del que realiza el agua en un área considerable
- La falta de homogeneidad del suelo hace que los resultados del infiltrómetro no puedan ser muy reales respecto a las condiciones de un área más extensa.
- Para la correcta simulación del proceso deben utilizarse simuladores de lluvia, los cuales son muy costosos.

Capítulo III: Evaluación del sitio

Zonificación y caracterización del predio

El predio utilizado posee identificadas 4 zonas con características similares que permiten establecer una zonificación de la superficie, permitiendo así realizar una caracterización más precisa de las situaciones a intervenir (imagen 3.1).El vertedero tiene una superficie total de 17.9 hectáreas. La primera de las zonas (1) se caracteriza por no contener depósitos de residuos domiciliarios enterrados bajo superficie, la segunda (2) comprende las superficies que recibieron residuos en forma más reciente (últimos 5 años), la tercera (3) se presenta como un área con residuos parcialmente estabilizados y la cuarta porción (4) se presenta como un área con depósito principal de residuos verdes y topografía no consolidada. La información de las características de las distintas zonas fue proporcionada por la Subsecretaria de Ambiente de la Municipalidad de Junín de los Andes.

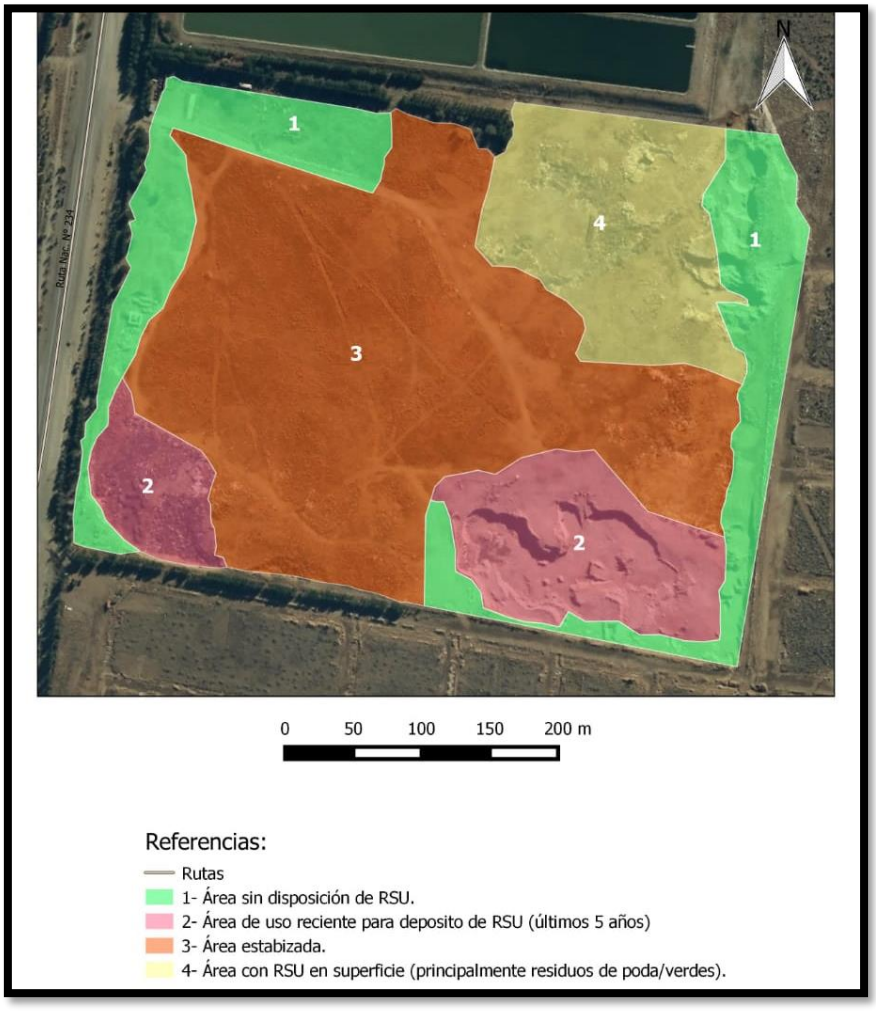

Imagen 3.1: Plano de extensión superficial de cada una de las zonas identificadas dentro del predio del vertedero a cielo abierto. Fuente: Elaboración propia.

Zona 1

Esta zona posee una extensión total aproximada de 15000 m^2, caracterizada por no haber sido utilizada para la disposición bajo superficie de residuos. Dentro de esta zona se encuentra el ingreso principal del predio, la casilla de vigilancia y control de acceso, además, se presentan residuos separados en superficie: neumáticos, línea blanca, chatarra y algunos residuos domiciliarios generales.

Zona 2

Zona de uso para la disposición de residuos sólidos domiciliarios desde el año 2013 hasta el cierre a medidos del 2018. Se estima que la profundidad máxima de la capa de residuos dispuestos en este sector es de 6 a 7 metros y ocupa una superficie aproximada de 33500 m^2. Además, en la porción oeste aún se encuentra un sector con depresión de hasta 6 metros producto de la extracción de áridos (cava).

Zona 3

Se verificó la existencia de una antigua cantera de áridos que fue rellenada con tierra y residuos, los cuales además fueron sometidos a quemas periódicas. Esta zona se encuentra actualmente cubierta y sellada casi en su totalidad, presentando además 5 tubos de venteo de gases. Se estima que el espesor máximo de la capa de residuos dispuestos en este sector llegaría a los 7 u 8 metros de profundidad en algunos puntos. La superficie total aproximada de la zona es de 88400 m^2.

Zona 4

En esta zona se realizó la disposición intermitente de residuos hasta el año 2013, siendo también utilizada para la disposición de residuos de poda y algunos elementos aislados en los últimos años. Los residuos del sector han sido sometidos a quemas en varias ocasiones, actualmente presenta una topografía irregular, con una zona de pendiente fuerte y algunos restos de materiales vegetales de gran dimensión. La superficie total aproximada del sector es de 42200 m^2.

Ubicación actual de los tubos de venteo

Actualmente se cuenta con 5 tubos de venteo, todos ubicados dentro de la zona 3. Para realizar un adecuado control de los gases producidos en todos los sitios donde se realizó la disposición de residuos sólidos es necesario instalar nuevos tubos de venteo dentro del predio. Debido a que los residuos depositados en las zonas 2 y 4 no cuentan con sistemas de recolección de gases, es necesario extender la red de venteos a fin de captar y liberar los gases que se generen en estos sitios.

La ubicación geográfica de los tubos de venteo ubicados en el predio del vertedero se detalla en la tabla 3.1 y se pueden apreciar en la imagen 3.2:

Tubo de venteo N°	Lat°	Long°
1	39.98141134	71.08207091
2	39.98205232	71.08177067
3	39.9823433	71.08172917
4	39.9826015	71.08171403
5	39.98201958	71.08273346

Tabla 3.1: Ubicación geográfica de los tubos de venteo.

Imagen 3.2: Ubicación de tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Los tubos de venteo fueron instalados en el año 2011 y los mismos están constituidos por caños de policloruro de vinilo (PVC) recubiertos en superficie por un encamisado de concreto. El diámetro interior de los tubos de venteo es de 15.5 centímetros. La profundidad exacta de los tubos de venteo no se pudo obtener, pero la máxima profundidad hasta la que podrían llegar es de 4 metros, que es el máximo que puede llegar la maquinaria empleada para la instalación de estos tubos.

Ubicación actual de los freatímetros

Actualmente el vertedero a cielo abierto cuenta con tres freatímetros ubicados dentro del predio para el control de la calidad del agua subterránea. Los freatímetros consisten en perforaciones que alcanzan los niveles subterráneos del agua y permiten tomar muestras para ser analizadas. El primero se encuentra cerca de la entrada del vertedero cercano a la ruta (FR01), el segundo se ubica sobre el centro y al sur del predio del vertedero (FR02) y último freatímetro se ubica sobre el margen norte del vertedero (FR03). La ubicación espacial se puede observar en la imagen 3.3:

Imagen 3.3: Ubicación geográfica de los freatímetros. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Caracterización de los suelos del vertedero

En el área de estudio se puede encontrar la formación Collún Co, integrada por depósitos glacifluviales. Se trata de gravas, arenas y limos vinculados a procesos

de ablación glaciar, y que constituyen el relleno del fondo de los valles. Las litologías mencionadas, especialmente las gravas y arenas, presentan por lo general porosidad y permeabilidad relativamente altas, lo cual permite caracterizarlas como aptas para alojar acuíferos. El espesor de estos sedimentos se estima en unos 20 metros [17].

Sobre estos materiales se ha desarrollado una cobertura superficial de material coluvial con evolución a suelos. La formación Collún Co se encuentra sobre unidades estratigráficas más antiguas entre las cuales se destaca la formación Chimehuín, constituida principalmente por tobas y tufitas.

En estudios realizados por el Servicio Geológico Minero Argentino en el año 2010 se determinaron los perfiles del suelo y se analizaron distintos parámetros. Los perfiles encontraron fueron los siguientes:

A: 0-20 cm. Color (h) 10 YR 2/2. Castaño muy oscuro. Textura areno-franca. Bloques subangulares medios débiles. Escasas raíces. Límite gradual.

AB: 20-40 cm. Color (h) 10 YR 2,5/2. Castaño muy oscuro. Textura areno-franca. Bloques subangulares medios débiles. Escasa pedegrosidad. Límite gradual.

Grisáceo muy oscuro. Textura areno-franca. Estructura en bloques angulares medios moderados. Tefras escasas. Límite gradual.

BC: >60 cm. Color (s) 10 YR 3/4. Castaño amarillento oscuro. Textura areno-franca. Estructura masiva. Tefras abundantes.

Las siglas YR utilizadas para la descripción del color del suelo corresponden al sistema de especificación Munsell, en el cual se asigna la letra del tono o matiz predominante, representado por la escala nominal rojo-amarillo-verde-azul-púrpura (R-Y-G-B-P).

El material parental son gravas glacifluviales, bien drenada, con anegamiento raro. Erosión laminar y en surcos baja. El suelo se clasifica como Haploxerol ándico.

En la tabla 3.2 se presentan los resultados analíticos obtenidos en distintas muestras de suelo, las cuales se identifican con los números 2501, 2502 y 2503.

	N° de Muestra		2501	2502	2503
%	Mat. Org.		1.17	1.13	1.10
	C Org.		0.68	0.66	0.64
	Nitrógeno		0,08		
%	Arcilla		1.2	1.2	1.2
	Limo		23.1	18.2	25.5
	Arena		75.7	80.6	73.3
	Clase textural		Af	Af	Af
%	$PO_4^{=}$ ret.		67	78	88
	PH pasta		6.18	6.66	6.74
	PH FNa	2´	9.65	9.55	9.83
		60´	10.70	10.71	10.81
dS/m	Conduct. Electr..		0.10	0.11	0.08
Meq/100 gr	Ca^{+2}		1.46	2.08	2.60
	Mg^{+2}		0.16	0.86	1.39
	Na^{+1}		0.18	0.18	0.20
	K^{+1}		0.39	0.73	1.06
	C.I.C		9,6	8,8	12,4
%	Agua a 0.3 atm		8.2	10.1	14.0
	Agua a 15 atm		3,4	5,7	6,2
	Agua útil				

Tabla 3.2: información de la composición del suelo del vertedero. Fuente: SEGEMAR, 2010.

** Af representa la clase textural franco arenosa.*

Capítulo IV: Metodología e instrumentación

Gases del vertedero

Previo a realizar la medición de los gases en cada uno de los tubos de venteo se realizó la medición de la presión, temperatura y humedad dentro del predio en los diferentes horarios en que se realizaron las mismas. Por tal motivo, se utilizó un barómetro digital para registrar estas variables de marca Control Company modelo 99760-00.

Una vez realizada la medición de las variables climáticas, se efectuó una descripción de la situación en el momento de la medición (nubosidad, intensidad del viento). Luego se introdujo el equipo de medición de gases en los 5 tubos de venteo disponibles en el vertedero. Se procuró introducir el equipo de medición los más profundo posible dentro de la boca del tubo, registrándose los valores medidos una vez que el equipo se estabilizaba. Las variables climáticas se midieron en diferentes épocas del año, en primavera y verano del año 2018 y en otoño del año 2019.

Los diferentes tubos de venteo pueden apreciarse en la imagen 4.1:

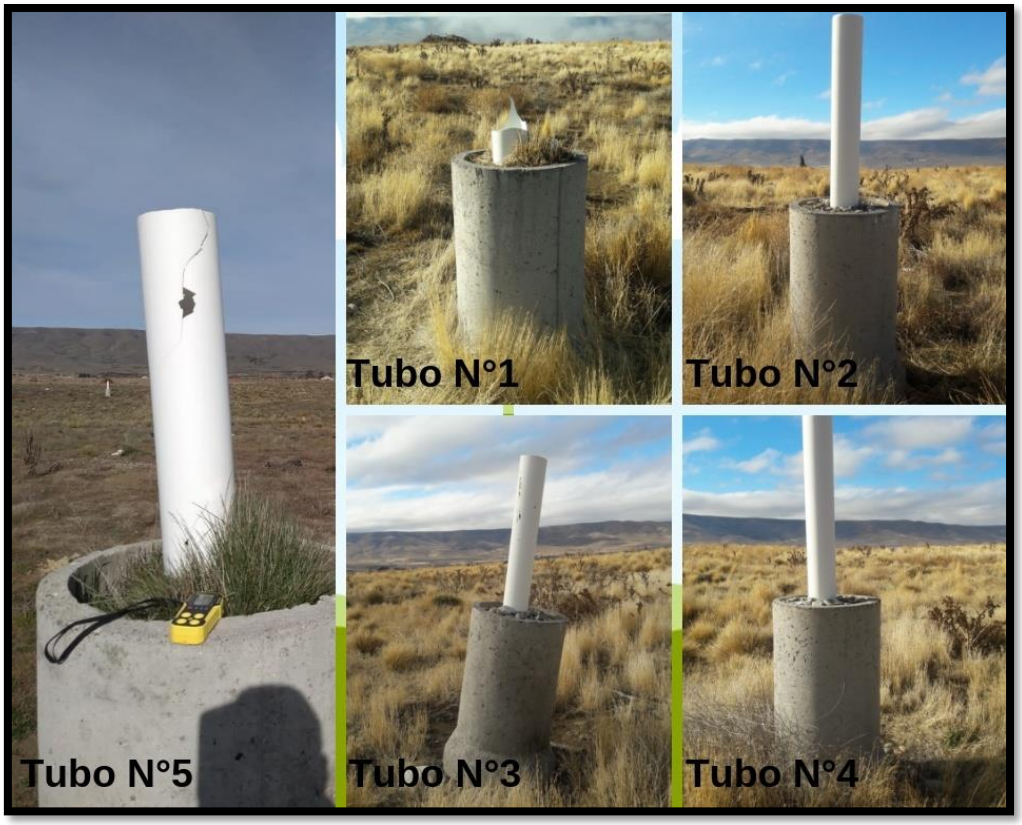

Imagen 4.1: Tubos de venteo presentes en el vertedero a cielo abierto. Fuente: Imagen propia.

En la imagen 4.2 se observa la medición realizada con el equipo de medición de gases en uno de los tubos de venteo ubicados en el predio.

Imagen 4.2: Medición de gases realizada en el predio del vertedero a cielo abierto. Fuente: Imagen propia.

Debido a que se buscaba determinar la variabilidad en la producción de gases se realizaron mediciones en distintos horarios del día y en diferentes estaciones del año, bajo condiciones climáticas distintas.

Determinación del estado de los tubos de venteo

Al realizar el relevamiento visual del estado en que se encontraban los tubos de venteo, se pudo observar que el tubo N°1 se encontraba fisurado a partir del final del encamisado de concreto, el tubo N°3 se encontraba torcido desde el comienzo del encamisado y el tubo N°5 se encontraba dañado en distintas partes. Además, todos los tubos se encontraban sin protección superior para evitar el ingreso de precipitaciones al vertedero por este medio. Debido a estas observaciones, se sospechó que los tubos podrían estar parcialmente tapados, y por lo tanto los gases no saldrían de la manera esperada. Por tal motivo, se realizó una prueba para determinar la profundidad de los mismos. Se utilizó una soga a la cual se le colocó un peso en la punta y se la introdujo por la boca de los tubos, tomándose como el inicio del tubo al encamisado de concreto (ver imagen 4.3). Una vez que la soga llegaba hasta el tope, se retiraba del tubo y se medía la profundidad utilizando una cinta métrica. Se repitió el procedimiento en los cinco tubos de venteo instalados en el predio.

Imagen 4.3: Metodología para determinar la profundidad de los tubos de venteo. Fuente: Imagen propia.

Agua subterránea

El agua subterránea bajo estudio pertenece al acuífero freático libre de la primera porción del subsuelo, correspondiente a la formación Collún Co, la cual se extiende de los 4 a 5 metros de profundidad hasta los 18 a 27 metros.

Se realizó la toma de muestras y análisis de agua subterránea de 3 freatímetros ubicados en el interior del predio, más una muestra de agua sobre el río Chimehuín (RCH04). La muestra tomada en el río Chimehuín sirve para comparar los valores de los freatímetros con los del agua del río y determinar si los contaminantes se mueven en esa dirección. En la tabla 4.1se presentan los detalles técnicos de los freatímetros existentes, de los cuales se obtuvieron las muestras para análisis y en la imagen 4.4, la ubicación espacial de los mismos, incluyendo el punto en el rio Chimehuín.

Código ID	Descripción	Coordenadas Geográficas	Nivel Freático (msnbp*)	Fondo del freatímetro (msnbp*)
FR01	Freatímetro N° 1, Vertedero a cielo abierto, Junín de los Andes	39°58'51.36"S; 71°04'57.27"O	9.33	11.30
FR02	Freatímetro N° 2, Vertedero a cielo abierto, Junín de los Andes	39°59'0.48"S; 71°04'51.76"O	8.91	17.26
FR03	Freatímetro N° 3, Vertedero a cielo abierto, Junín de los Andes	39°58'50.14"S; 71°04'47.43"O	9.67	14.81

**msnbp: metros sobre el nivel de boca de pozo.*

Tabla 4.1: Nombre y descripción de los freatímetros ubicados en el vertedero a cielo abierto.

Imagen 4.4: Ubicación de los puntos de toma de muestra de agua. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth

Las muestras fueron tomadas en conjunto con el personal de la Subsecretaria de Recursos Hídricos de la provincia de Neuquén el día 22 de mayo de 2018 y se entregaron para el análisis al Centro de Investigación y Asistencia Técnica a la Industria (CIATIac), acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) (N°163/L.E.349). Los ensayos realizados incluyeron 192 parámetros físicos y químicos generales, entre los que se destacan la determinación de metales pesados, plaguicidas, compuestos clorados, hidrocarburos y otros

compuestos que pueden estar presentes en los residuos. En el Anexo I se presenta un resumen de los valores encontrados en cada muestra, incluyendo el blanco.

Ensayo de infiltración

Para la realización del ensayo de infiltración se seleccionaron diferentes puntos para determinar la velocidad de infiltración del agua. En la selección de los puntos en los que se realizaron los ensayos se buscó abarcar las diferentes zonas del vertedero con distintos tiempos de disposición de residuos. Además, se realizó el ensayo en una zona cercana al vertedero, pero fuera del predio para utilizar como blanco (identificadas en la imagen como E10, E11 y E12). El primer sitio donde se realizó el ensayo corresponde a un sitio que no contenía residuos en ese momento (Identificados en la imagen 4.5 como EI1, EI2 y EI3), luego esa zona fue cubierta con residuos y tierra. En algunos sitios, debido a la composición de la cobertura de suelo no se pudo hincar el anillo para realizar el ensayo, por tal motivo estas zonas fueron descartadas. El ensayo se repitió dentro de las zonas elegidas tres veces para poder obtener datos representativos. En la imagen 4.5 se puede observar la ubicación de los puntos donde se realizó el ensayo.

Imagen 4.5: Ubicación de los puntos donde se realizó el ensayo de infiltración. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Suelo del vertedero

Existen diferentes metodologías para la recolección de muestras de suelos dependiendo las características de la zona de estudio, el dinero disponible, el tiempo y otros factores. En el presente trabajo se utilizará la metodología de muestras compuestas. La combinación de unidades de muestreo en una sola muestra para el análisis es un método efectivo para obtener una estimación precisa de la media mientras se reducen los costos y tiempos [18]. Los requisitos para las muestras compuestas son:

- La muestra obtenida debe ser homogénea.
- Cada submuestra debe ser del mismo volumen que las demás y representar la misma sección transversal del volumen del que se toma la muestra.
- No debe haber interacciones entre las submuestras de manera tal que afecte la composición de la muestra compuesta [19].

El tipo de muestreo más utilizado para muchos trabajos de campo es el muestreo sistemático, que se utiliza ya sea en transectas o en grillas. La elección de una transecta o de una grilla depende de varios factores, por ejemplo, los diseños

para estudios geoestadísticos típicamente usan diseños de cuadrícula, mientras que las grillas se utilizan para el estudio de patrones espaciales. La distancia entre los puntos de muestreo, ya sea en una transecta o en una grilla, debe ser menor que la distancia requerida para representar la variabilidad en el campo. Es deseable basar el espaciado entre los puntos de toma de muestra en el conocimiento previo del área [20].

Otro tipo de muestreo utilizado es el muestreo dirigido, el mismo consiste en la toma de muestras representativas sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado o contaminante y/o es evidente la extensión de la afectación.

Para la caracterización de los suelos presentes en el vertedero a cielo abierto se tomaron tres muestras en diferentes zonas del mismo. Las muestras fueron compuestas, es decir, que se obtuvieron por la extracción de varias submuestras reunidas en un recipiente y bien mezcladas, obteniéndose en total 1 kg de muestra por cada sitio de muestreo. Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 30 cm utilizando una pala y procurando obtener una capa uniforme desde la superficie hasta la profundidad determinada. Además, se utilizó un vaso medidor para asegurase de tomar el mismo volumen de suelo en cada extracción.

Se tomaron 17 muestras en cada zona de estudio. Los sitios elegidos para el muestreo se pueden observar en la imagen 4.6, y estos sitios corresponden a la región determinada de superficie de muestreo.

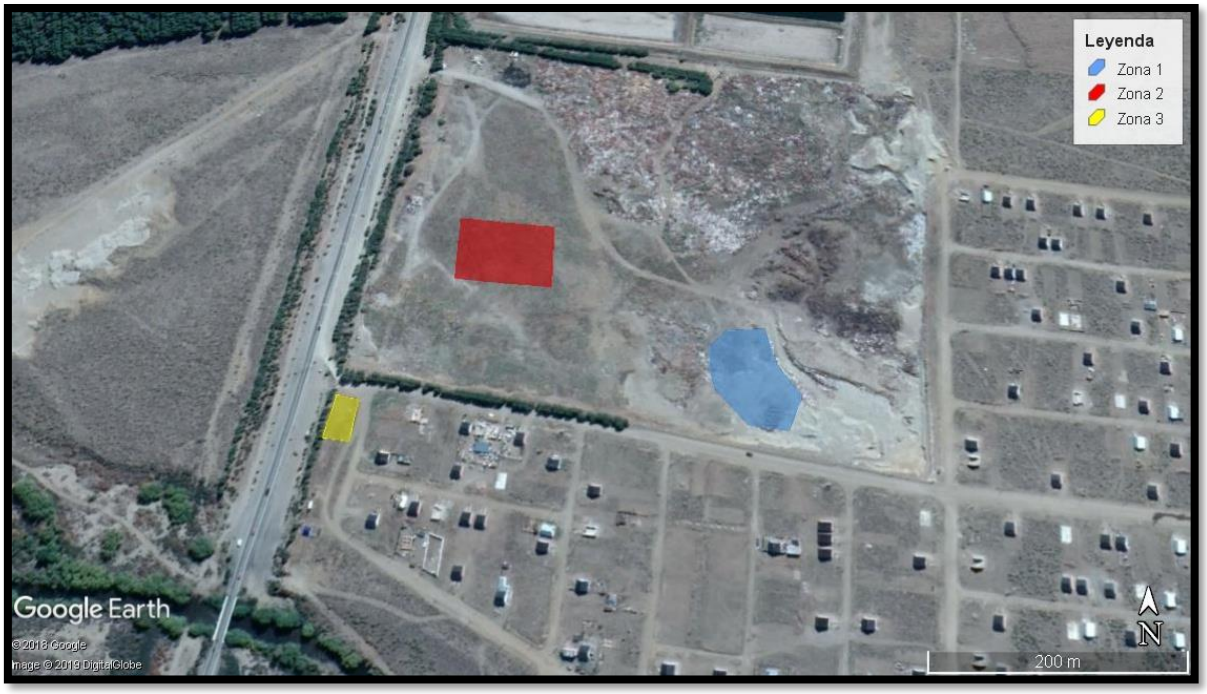

Imagen 4.6: Ubicación de los sitios de toma de muestra de suelos. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth

El primer sitio de estudio fue dentro de la zona 1 y el tipo de muestreo fue dirigido, en el cual se tomaron muestras de suelo en sitios donde la capa de residuos enterrada se podía ver y el suelo se recogió debajo de esta capa, esto puede apreciarse en la imagen 4.7. Se realizó este tipo de muestreo debido a que esta zona del vertedero era la única en la cual se podía tener acceso a suelo con residuos mezclados en profundidad.

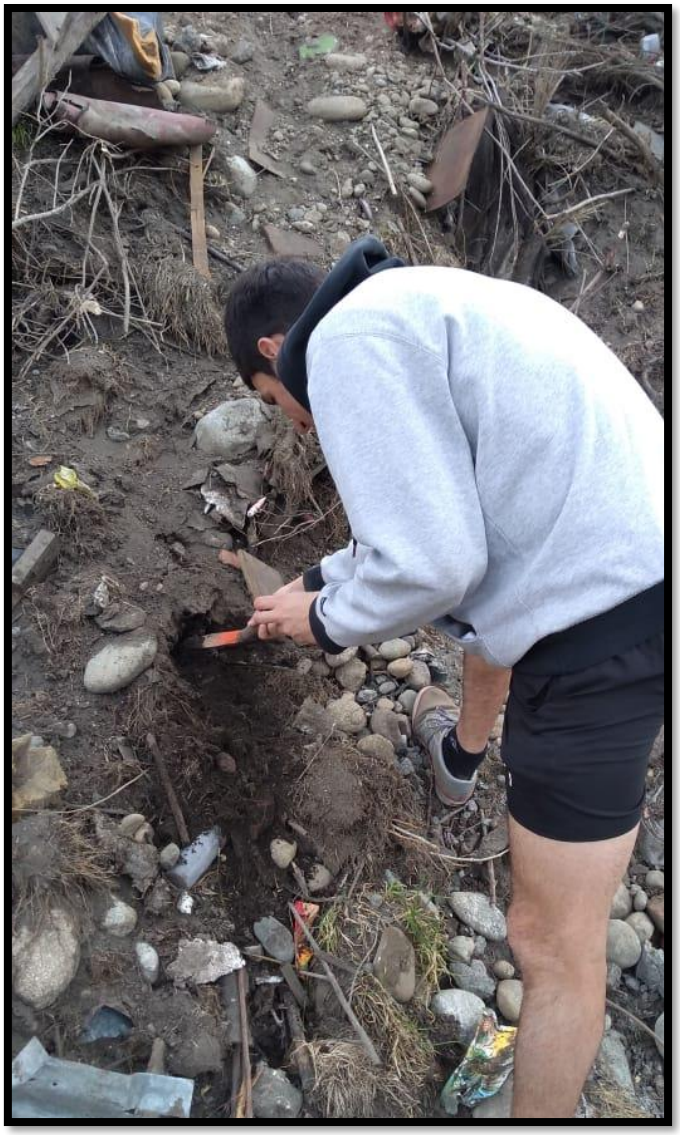

Imagen 4.7: Toma de muestras de suelo en el vertedero de Junín de los Andes (25/10/2018, 10:00 hs). Fuente: Imagen propia.

El segundo sitio donde se tomaron las muestras fue clasificado como zona 2, siendo un sitio donde la vegetación recolonizó el lugar. Para la toma de muestras se realizaron pozos de aproximadamente 30 cm y el tipo de muestreo fue sistemático por transectas, tomándose las submuestras con una distancia aproximada de 3 metros entre cada una.

Por último, la zona 3 se utilizó como blanco, y se realizó en un lugar cercano al vertedero, pero sin residuos enterrados. El tipo de muestreo realizado fue sistemático por transectas, realizándose pozos de aproximadamente 30 cm y equidistanciados en 3 metros aproximadamente entre cada pozo.

Se eligieron estos sitios de muestreo debido a que los mismos pertenecían a las zonas del vertedero con suelos mayormente estabilizados, de más fácil acceso y en muchas partes con vegetación por sobre la capa de suelo.

Estimación volumétrica de los residuos del vertedero

Para la estimación volumétrica de los residuos se contó con información de un estudio realizado por el agrimensor Armando Rentería (matrícula profesional N° 286) donde se calculó el volumen estimado de residuos dispuestos en la zona que se detalla en la imagen 4.8 [21].

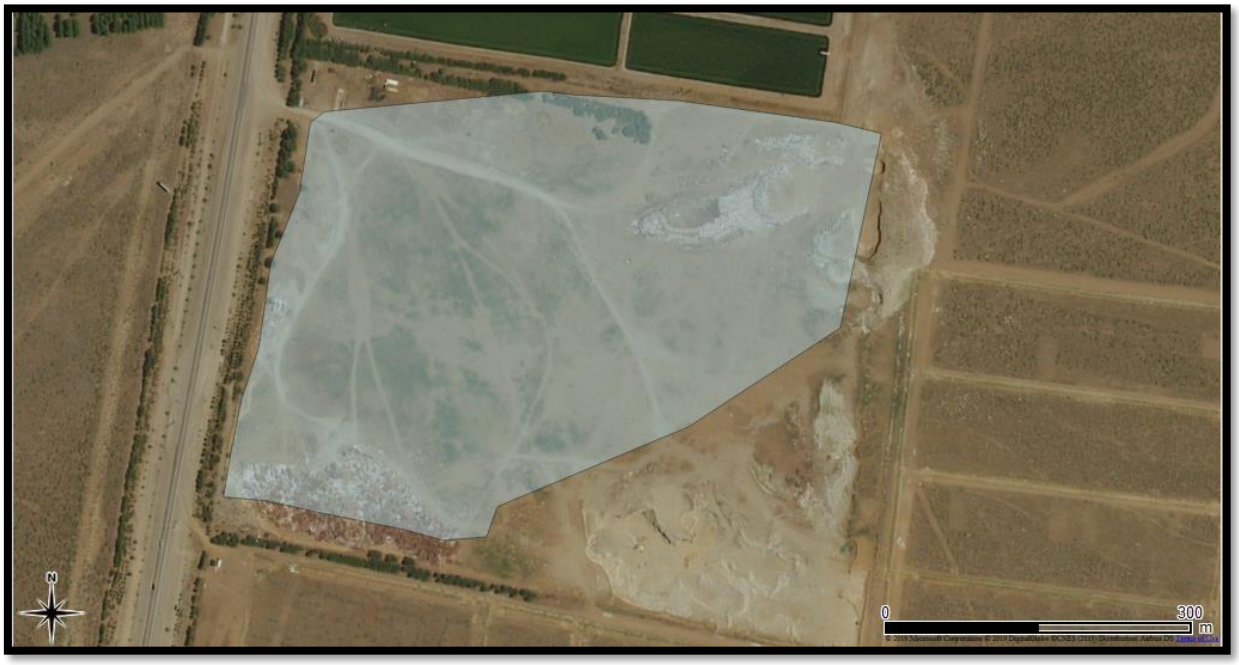

Imagen 4.8: Zona relevada en la estimación volumétrica. Fuente: Elaboración propia utilizando QGIS.

El volumen estimado de residuos que ocupa la zona es de 791740 m^3 (ver zona en imagen 4.8). Este estudio abarca la zona 4 y gran parte de las zonas 1, 2 y 3 (las zonas se describen en la imagen 3.1)

Sin embargo, dicho estudio no está actualizado, por lo que se procedió a calcular el volumen de residuos dispuestos posteriormente. Se aplicaron dos metodologías debido a la forma en la cual se dispusieron los residuos. Cabe destacar, que en ambas metodologías se realizó una estimación por lo que el valor obtenido del volumen de residuos dispuestos es aproximado.

Los residuos que se dispusieron con menor antigüedad se acumularon en montículos que luego fueron cubiertos con tierra en dos sectores (identificados como A1 y A2 en la imagen 4.9), en otro sector se depositaron los residuos dentro

de una cantera existente en el vertedero (identificada como A3 en la imagen 4.9). Para realizar el cálculo del volumen dispuesto se realizó una medición a campo utilizando un GPS (marca Garmin y modelo Colorado 300) del perímetro de los montículos y de la cantera, y luego se procesó la información obtenida utilizando un sistema de información geográfico llamado QGIS. El sistema de información geográfico QGIS es un software libre utilizado a lo largo de la carrera ingeniería ambiental. El equipo utilizado tenía un error de 1 metro. El dato de la altura de los montículos se realizó mediante la utilización de GPS, tomándose los puntos de base del montículo y la altura máxima para plantear la situación más crítica. En la imagen 4.9 se puede observar el área ocupada por los residuos mencionados anteriormente.

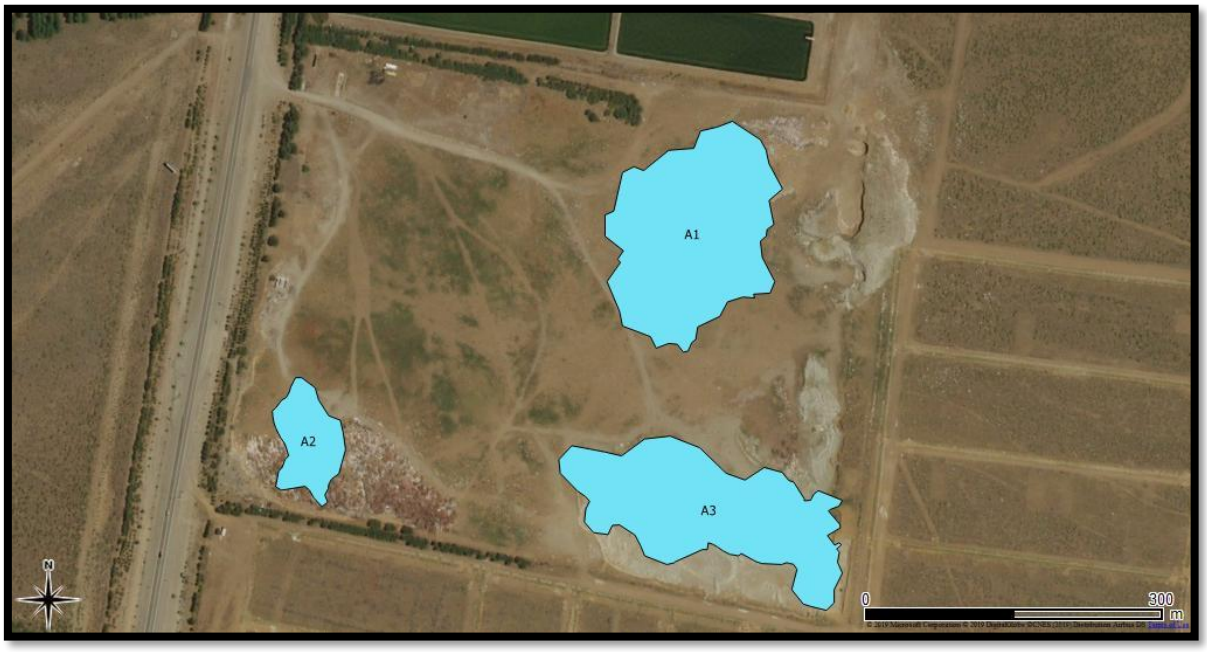

Imagen 4.9: Área ocupada por los residuos de menor antigüedad del vertedero. Fuente: Elaboración propia utilizando QGIS.

El área, la altura de los montículos, la profundidad de la cantera y el cálculo de volumen se detallan en la tabla 4.2.

Zona	Área (m^2)	Altura o profundidad (m)	Volumen (m^3)
A1	21637	2	43274
A2	4583	3	13749
A3	19803	6	118818
Total			175841

Tabla 4.2: Cálculo del volumen de residuos dispuestos con menor antigüedad en el vertedero.

A partir de la información obtenida del cálculo del volumen de residuos de los montículos, la cantera y sumado al valor del dato del estudio se estima que el volumen total de residuos dispuestos en el vertedero es de 967581 m^3.

Desarrollo del plan de monitoreo

Monitoreo de gases

Periodicidad del muestreo: El control de gases deberá ser representativo de cada sección del vertedero. En aquellos vertederos en los que no se realice aprovechamiento energético de los gases, su control se realizará en los puntos de emisión o quema de dichos gases. La periodicidad del control de las emisiones de gases se debe realizar semestralmente. Tras la clausura del vertedero se deberá realizar por un plazo superior a 30 años el mantenimiento, vigilancia, análisis y control de los gases generados. En este trabajo el control de las emisiones gaseosas se realizará al menos dos veces en el año, a fin de obtener valores comparables en el tiempo.

Aspectos relevantes en el muestreo de gases: Las condiciones de presión, temperatura y humedad pueden modificar la generación de gases que se producen en el vertedero, por tal motivo, es importante registrar las condiciones climáticas en el momento de muestreo. Debido a que las precipitaciones afectan la producción de gases no se deben realizar estos muestreos en tales casos y tampoco en los días posteriores. Es recomendable llevar un registro de las condiciones climáticas de los días previos y si se cuenta con información pluviométrica de alguna estación meteorológica registrar tal información también.

Equipo de medición: Para realizar la medición de los gases producidos en el vertedero se utilizó un equipo con cuatro sensores distintos que permitió medir los gases más importantes que se producen en los vertederos. Es importante que a la hora de la toma de muestras se inserte el equipo de medición lo más profundo posible dentro de la boca del tubo para que las condiciones ambientales externas no afecten las mediciones y realizar la medición hasta el momento en que el equipo se estabilice, registrándose ese valor. También es significativo contar con equipos para la medición de la temperatura y la presión en el momento del muestreo. Se debe tener en cuenta que todos estos equipos deben estar calibrados para evitar errores en el momento de la toma de muestras.

Para la medición de gases se utilizó un detector de gas múltiple portátil modelo SAW4 y marca ICON ARGENTINA I y E. Las características del equipo de medición de gases utilizado se detallan en la tabla 4.3:

Detección de gases	CH_4/LEL, CO, H_2S, O_2
Sensores	CO, H_2S, O_2: Sensor electroquímico importados de Reino Unido, City Tech. 2 años de vida. LEL/CH_4: Sensor catalítico, 1 año de vida
Rango de medición	CO: (0-1000) ppm H_2S: (0-100) ppm O_2: (0.0-30.0) %Vol CH_4: (0.00-5.00) %Vol, LEL: (0-100) %LEL
Exactitud y precision	CO: 1 ppm; H_2S: 1 ppm; O_2: 0.1 %Vol; CH_4: 0.01 %Vol, LEL: 1 %LEL

Tabla 4.3: Características del equipo de medición de gases

El error del equipo varía para los diferentes sensores. Para el sensor de CH_4 el error es de 0.1%, para el sensor de CO el error es de 2 ppm, para el sensor de O_2 el error es de 0.5% y, por último, el error para el sensor de H_2S es de 3 ppm. Se puede apreciar el equipo utilizado y sus cuatro sensores en la imagen 4.10:

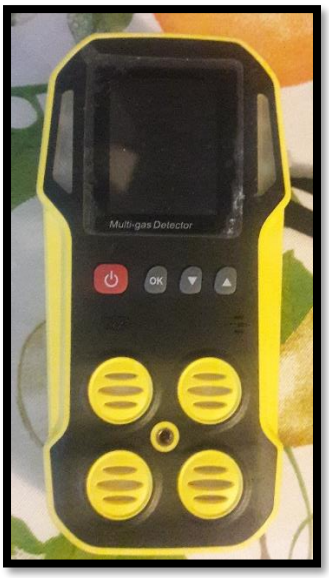

Imagen 4.10: Equipo de medición de gases con sus cuatro sensores.

El equipo de medición de gases fue comprado el 20 de septiembre de 2018 por lo que se utilizó por primera vez para la realización de las mediciones de gases

de este trabajo. El equipo de medición vino calibrado de fábrica por lo cual no se cuenta con la fecha de la última calibración del mismo.

Monitoreo de aguas

Periodicidad del muestreo: El Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES) determina la periodicidad de muestreo para los diferentes componentes físico-químicos y establece plazos de muestreo, dependiendo la concentración de los componentes, entre 6 meses y 2 años. Esta frecuencia de muestreo es para el agua tratada antes que ingrese a la red de distribución. Sin embargo, en el presente trabajo el agua subterránea que se analiza no tiene como fin el consumo humano, por tanto, se recomienda una frecuencia de muestreo de 6 meses para los parámetros básicos y los metales pesados. Además, se deberían sumar a estos parámetros analizados los parámetros microbiológicos con una frecuencia de muestreo semestral.

En el presente trabajo se realizó un solo muestreo completo, con excepción de las variables microbiológicas, del agua subterránea en 3 muestras tomadas de los diferentes freatímetros disponibles. Debido a condicionamientos económicos y temporales no se realizó otro muestreo que hubiese sido de utilidad para tener una comparación temporal de los parámetros analizados.

Aspectos relevantes en el muestreo de agua: Es de importancia que antes de realizar la toma de muestras en los freatímetros se realice una limpieza de los mismos, esto puede realizarse dos días antes tomando el agua disponible mediante sondas. Es importante porque de esta manera disminuye el riesgo de contaminación de las muestras por algún factor externo.

Otro aspecto de relevancia es realizar 3 lavados con la muestra a los envases y embudos. El líquido de lavado se descarta y se procede a la toma de la muestra. Para el análisis de determinados parámetros, es importante que las muestras no sean afectadas por la fotodegradación o temperatura, por lo cual se recomienda almacenarlas en un sitio fresco y sin presencia de luz, esto puede hacerse en un contenedor de telgopor o algún otro material aislante.

Las muestras extraídas deben cumplir con dos condiciones básicas:

- El agua que entra en el recipiente debe ser una muestra representativa.
- La concentración de los componentes o características del agua que se van a determinar no se deben modificar durante el tiempo que transcurre entre la toma de la muestra y el análisis de la misma.

Equipos de medición: Para la realización de la toma de muestras de agua subterránea se han utilizado sondas, las cuales se encontraban sin abrir y esterilizadas previamente. Para cada muestra se utilizó una sonda nueva. Luego para conservar y transportar las muestras, las mismas se almacenaron en envases de plásticos, vidrio y viales, todos sin utilizar previamente. Esto puede variar dependiendo los parámetros a analizar y los requerimientos de los laboratorios que analizaran posteriormente a las muestras.

Para el desarrollo del muestreo se utilizó un kit de 8 envases en cada punto de muestreo, el cual contenía 2 envases plásticos de 1 litro, 4 envases de vidrio color caramelo de 1 litro y 2 viales. Para la toma de las muestras se utilizaron sondas sin ningún uso previo y se realizó la limpieza de las mismas, antes de la toma de muestras, con agua destilada y con una sustancia no polar. También se utilizaron embudos y se realizó el mismo procedimiento de limpieza.

La subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Neuquén contaba con un equipo multiparámetro para la determinación de oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad y presión de saturación del agua.

Los métodos analíticos de referencia aplicados por el Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios para determinar diferentes parámetros, se pueden apreciar en el Anexo II.

Técnica de muestreo utilizada: Para la toma de muestras de agua subterránea se realizó el procedimiento descripto a continuación. Primero se identificó el sitio de la toma de muestra, registrando la ubicación satelital por medio de GPS. Luego se realizó el rotulado de los envases a utilizar en cada punto de muestreo. Antes de realizar la toma de la muestra es necesario realizar el enjuague del envase por lo menos de 2 a 3 veces con el agua a muestrear. En caso de ser posible, antes de la toma de la muestra, es conveniente realizar la limpieza de los freatímetros, bombeando el agua de los mismos hasta que el agua emerja

con menos carga de sedimentos y restos vegetales. En el presente trabajo se utilizaron sondas para la toma de la muestra, las mismas se encontraban esterilizadas de fábrica y se realizó el mismo procedimiento de enjuague que con los envases.

Monitoreo de suelo

Periodicidad del muestreo: El tiempo y la frecuencia de muestreo están determinados por las condiciones y objetivos del estudio. Para la comparación de las mediciones de flujo (por ejemplo, nutrientes, gases, agua) entre sitios o entre años, se recomienda que se realicen mediciones en base a la temporada de crecimiento de la vegetación. Determinar las variaciones interanuales en las mediciones de flujo es sin duda un factor esencial en un programa a largo plazo y es necesario para poder realizar comparaciones legítimas. Si es posible se recomiendan mediciones estacionales ya que las condiciones entre verano e invierno varían mucho, sobre todo en sitios donde en el verano existen sequías que limitan la actividad biológica.

Para parámetros que determinan la química del suelo (por ejemplo, pH, nitratos, cationes extraíbles, materia orgánica, entre otros) se recomiendan muestreos anuales en lo posible durante aquellos períodos que son más estables o por lo menos repetibles.

Aspectos relevantes en el muestreo de suelos: Para la realización del ensayo de infiltración es importante tener registro de las condiciones climáticas en los días previos al momento planeado para el ensayo y en el mismo día. Debido a que en este ensayo se determina la velocidad con la que el agua se mueve en el suelo, es importante que el suelo no se encuentre saturado, debido a que los datos obtenidos en tal caso serían erróneos. Se debe procurar que entre 4 y 5 días antes de la realización del ensayo no haya precipitaciones en el área de estudio para asegurarse que el suelo no se encuentra saturado de agua.

Para la toma de muestras sólidas se debe acordar con el laboratorio la cantidad de muestra necesaria para los análisis a realizar. En función de esto y de las condiciones del sitio se determinará el tipo de muestreo a realizar y la cantidad de submuestras a tomar. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) recomienda para muestras compuestas entre 15 y 20 submuestras por parcela de muestreo. Es importante que todas las submuestras sean tomadas a

la misma profundidad y que representen el mismo volumen. Las muestras pueden ser almacenadas en bolsas o contenedores plásticos que no contengan elementos que puedan reaccionar modificando las propiedades de la muestra.

Si la muestra no va a ser entregada al laboratorio en los días posteriores para su análisis es necesario una correcta conservación de la misma. Es posible conservar la muestra en una heladera (cerca de los 4°C) ya que se minimiza la actividad microbiana. Es importante que, la misma, no se congele ya que puede modificar las propiedades del suelo.

La muestra de suelo debe estar debidamente identificada con datos como información de la parcela, ubicación geográfica, fecha de muestreo, nombre del responsable de la muestra y localidad. Se pueden agregar otros datos de importancia que ayuden a identificar a la misma.

La toma de blancos es de vital importancia tanto en la toma de muestra como en el ensayo de infiltración. Los blancos son útiles para detectar contaminación por parte de los contenedores de las muestras, de reactivos analíticos y en el manejo de las muestras. Para que el blanco sea significativo es importante evaluar las técnicas de limpieza, muestreo y manejo de las muestras, para estandarizar el proceso para todas las muestras.

Equipos de medición: Para la realización del ensayo de infiltración se utilizó el anillo de un infiltrómetro con un radio interior de 9.5 centímetros, un vaso medidor de volumen y una maza para hincar los anillos.

Para la toma de muestras de suelo se requirió una pala para la realización de los pozos y una palita de jardinería para la toma de muestras. Para el almacenamiento de las muestras se utilizaron contenedores plásticos

Infiltrómetros

Consisten básicamente en dos cilindros concéntricos (imagen 4.11) y un dispositivo para medir el volumen de agua a agregar. La técnica consiste en colocar agua al mismo tiempo tanto en el cilindro interno como en el externo. El agua colocada en el cilindro interno es la única que se mide. La razón por la cual se coloca agua en el anillo externo es la de proveer la cantidad necesaria a la infiltración lateral debida a la capilaridad, dejando la infiltración propiamente

dicha para que sea medida solo en relación con el área limitada por el cilindro interno. Una vez que se agrega agua dentro del anillo interno se empieza a medir el tiempo y se registra el valor cuando el agua termina de infiltrar, agregándose un nuevo volumen de agua y repitiendo este procedimiento hasta que los tiempos que tarda el agua en infiltrar en el suelo empiezan a ser constantes. El procedimiento puede realizarse también con un solo anillo, pero hay un mayor error en esta técnica debido a las perdidas laterales de flujo.

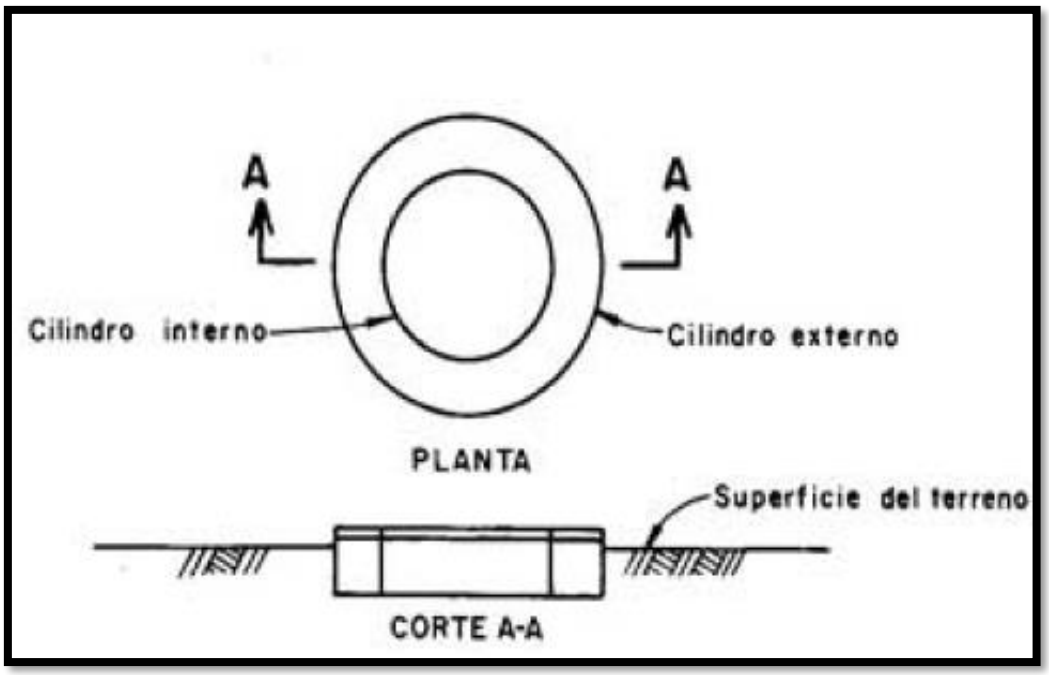

Imagen 4.11: Esquema general de un infiltrómetro. Fuente: Monsalve Sáenz, 1999.

Capítulo V: Resultados

Determinación del estado de los tubos de venteo

Los resultados obtenidos al realizar la medición de profundidad de los tubos de venteo se detallan en la tabla 5.1:

Tubo N°	Profundidad máxima del tubo (metros)	Profundidad máxima alcanzada (metros)	Observaciones
1	4	2.82	Roto desde el encamisado y sin protección superior
2	4	1.72	Sin protección superior
3	4	2.67	Torcido y sin protección superior
4	4	0.75	Sin protección superior
5	4	2.32	Roto en distintas partes y sin protección superior

Tabla 5.1: Resultados obtenidos de la determinación del estado de los tubos de venteo.

De la metodología realizada para determinar el estado de los tubos de venteo puede observarse que, independientemente del valor exacto de profundidad de los tubos, los mismos se encuentran obstruidos en distintas profundidades. El tubo N°4, seguido del N°2 fueron los que se encontraban obstruidos a menor profundidad. El tubo N°1 fue el que se encontró obstruido a mayor profundidad, seguido de los tubos N°3 y N°5.

Se considera que los tubos de venteo se encuentran tapados con residuos, escombros, tierra o cualquier otro material que impida que los gases generados sean liberados totalmente al medio. Es de suma relevancia lograr que los tubos de venteo funcionen correctamente a fin de minimizar el incremento de la presión interna del vertedero debido a la acumulación de los gases.

Medición de gases en los tubos de venteo

En la tabla 5.2 se puede apreciar las mediciones realizadas en los tubos de venteo instalados en el vertedero. Se tomaron 8 muestras en cada tubo de venteo. Se detalla, en la tabla 5.3, las condiciones climáticas de los días en que se tomaron las muestras. Se registra en las tablas el horario de inicio de la toma de muestras. Debido a que la distancia entre los 5 puntos de muestreo era chica y el tiempo total de muestreo no superaba los 25 minutos, las condiciones climáticas no variaron y solo se registraron los valores de las condiciones climáticas al inicio de cada muestreo.

N°de ID de muestra	Descripción climática observada
M1	Soleado. Cielo parcialmente nublado. Brisa leve
M2	Parcialmente nublado. Con viento.
M3	Soleado. Nubosidad baja. Brisa leve.
M4	Soleado. Baja nubosidad.
M5	Alta nubosidad. Viento en dirección norte.
M6	Alta nubosidad. Con viento
M7	Parcialmente nublado. Viento en dirección norte.
M8	Soleado. Nubosidad baja. Poco viento

Tabla 5.2: Descripción de las características climáticas en el momento del muestreo. Fuente: Elaboración propia

N° ID de Muestra	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Presión (hPa)	Humedad (%)
M1	12/10/2018	13:10	20	936	26
M2	12/10/2018	17:10	19.50	937	28
M3	13/10/2018	10:05	17.50	939	32
M4	13/10/2018	13:00	18.50	938	33
M5	13/10/2018	17:00	18.50	936	31
M6	14/10/2018	10:30	19	936	32
M7	14/10/2018	14:00	25	934	31
M8	14/10/2018	17:10	22	933	31

Tabla 5.3: Identificación de las muestras y descripción de las condiciones climáticas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en las mediciones se detallan en la tabla 5.4:

Punto	Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Tubo 1	O2 [%vol]	20.90	19.40	19.70	17.60	20.40	20.90	18.50	19.60
	CH4 [%vol]	0	0.40	0.06	0.08	0.05	0	0.06	0.04
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 2	O2 [%vol]	20.90	20.90	20.50	19.40	20	20.60	20	19.50
	CH4 [%vol]	0	0	0.03	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 3	O2 [%vol]	20.90	20.90	20.60	20.90	20.90	20.90	20.90	20.40
	CH4 [%vol]	0	0	0.03	0	0	0	0	0.03
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 4	O2 [%vol]	20.90	20.90	15.40	20.90	20.90	15.10	20.90	15
	CH4 [%vol]	0	0	0.12	0	0	0.11	0	0.12
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 5	O2 [%vol]	13.20	19.70	7.80	16.90	17.60	20.40	18.60	18
	CH4 [%vol]	0.42	0.30	0.75	0.33	0.32	0.05	0.25	0.26
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.4: Resultados obtenidos de la medición de gases. Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos 5.1 y 5.2 se grafica la variación en las mediciones de metano y oxígeno respectivamente, para los diferentes tubos de venteo.

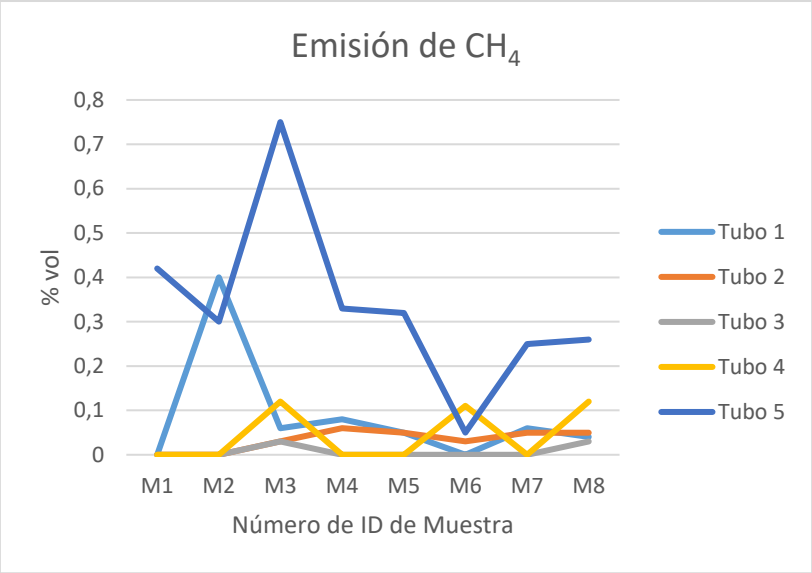

Gráfico 5.1: Variación de las emisiones de metano para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

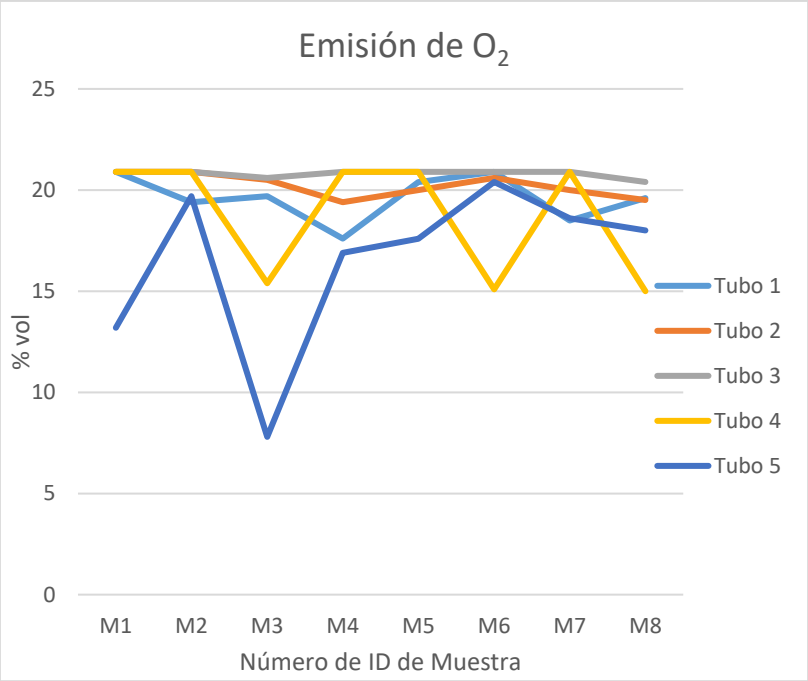

Gráfico 5.2: Variación de las mediciones de oxígeno para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

Se repitieron las mediciones realizadas en los tubos de venteo en otra fecha bajo condiciones climáticas diferentes. Se detalla, en la tabla 5.5, las condiciones climáticas de los días en que se tomaron las muestras, en la tabla 5.6 los números de identificación de las muestras y las condiciones climáticas, y en la tabla 5.7 los resultados obtenidos en las mediciones.

N° de ID de muestra	Descripción climática observada
M1	Soleado. Leve brisa. Sin nubosidad
M2	Soleado. Sin nubosidad y sin viento
M3	Nubosidad alta y con viento
M4	Soleado. Nubosidad alta. Mucho viento
M5	Soleado. Nubosidad baja. Mucho viento
M6	Alta nubosidad. Leve brisa

Tabla 5.5: Descripción de las características climáticas en el momento del muestreo. Fuente: Elaboración propia

N° ID de Muestra	**Fecha**	**Hora**	**Temp. (°C)**	**Presión (hPa)**	**Humedad (%)**
M1	8/12/2018	14:00	32	930	22
M2	8/12/2018	17:30	30	929	28
M3	9/12/2018	10:15	22	1050	31
M4	9/12/2018	13:50	23	1050	32
M5	9/12/2018	16:35	25.50	1050	30
M6	10/12/2018	10:45	20	1050	40

Tabla 5.6: Identificación de las muestras y descripción de las condiciones climáticas. Fuente: Elaboración propia.

Punto	Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Tubo 1	O2 [%vol]	17.10	13.40	20	20.90	20.40	16.40
	CH4 [%vol]	0.08	0.09	0.07	0.06	0.07	0.14
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0
Tubo 2	O2 [%vol]	17.90	19.40	20.90	20.40	19.70	19.90
	CH4 [%vol]	0.08	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0
Tubo 3	O2 [%vol]	20.30	20.10	20.90	20.30	20.90	20.90
	CH4 [%vol]	0.03	0.04	0.06	0.09	0.07	0.05
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0
Tubo 4	O2 [%vol]	20.20	20.40	15.30	20.90	15.80	20.90
	CH4 [%vol]	0.05	0.03	0.17	0.06	0.17	0.09
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0
Tubo 5	O2 [%vol]	16.40	20.40	20.90	20.10	20.20	20.90
	CH4 [%vol]	0.30	0.03	0.07	0.14	0.15	0.06
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.7: Resultados obtenidos de las mediciones de gases. Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos 5.3 y 5.4 se grafica la variación en las mediciones de metano y oxígeno respectivamente para los diferentes tubos de venteo.

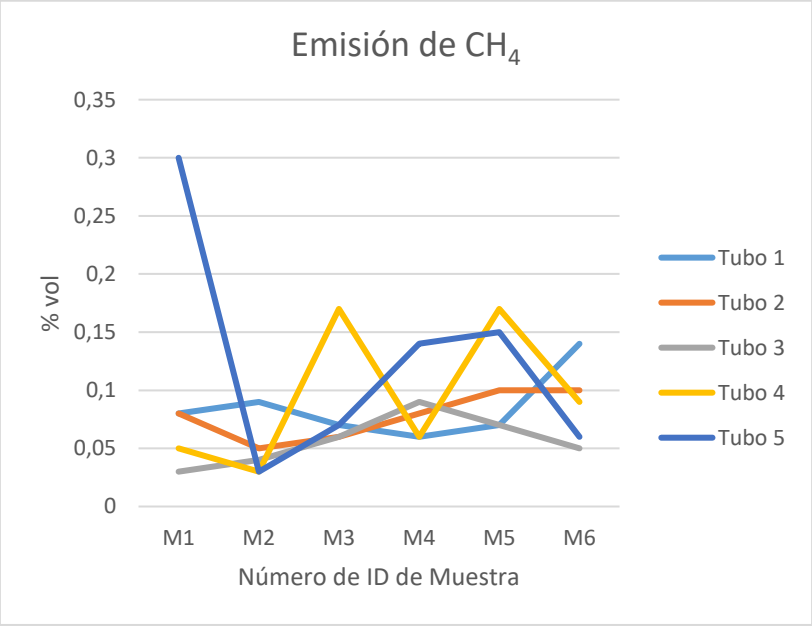

Gráfico 5.3: Variación de las emisiones de metano para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

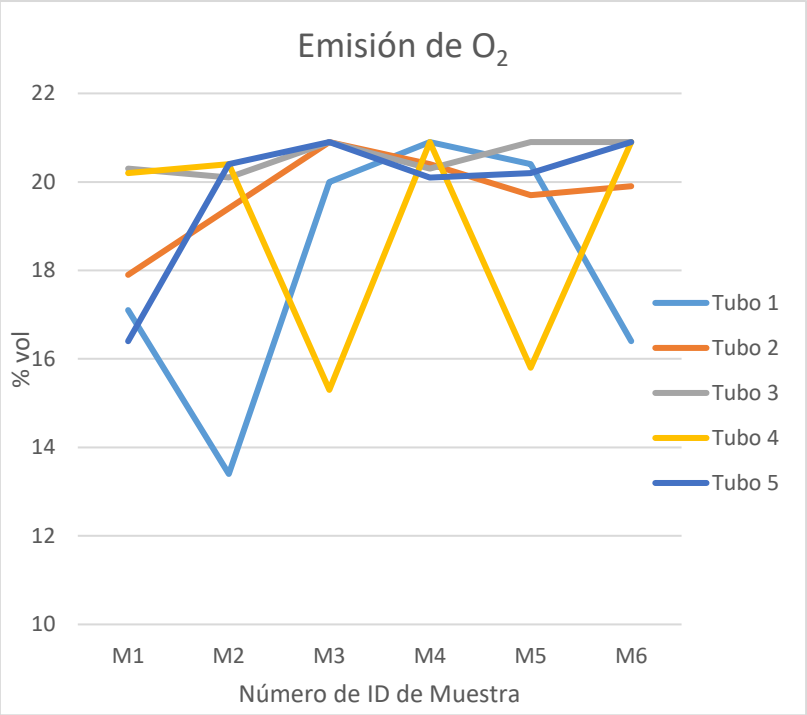

Gráfico 5.4: Variación de las mediciones de oxígeno para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se realizó una última medición de gases, se detalla en la tabla 5.8 las condiciones climáticas de los días en que se tomaron las muestras, en la tabla 5.9 los números de identificación de las muestras y las condiciones climáticas, y en la tabla 5.10 los resultados obtenidos en las mediciones:

N° de ID de muestra	Descripción climática observada
M1	Soleado. Poco viento. Suelo húmedo.
M2	Parcialmente nublado. Suelo húmedo.
M3	Completamente nublado. Sin viento y con niebla baja.
M4	Soleado. Totalmente despejado. Caluroso.
M5	Soleado, sin nubes. Leve brisa
M6	Soleado, sin viento y con nubes bajas. Caluroso
M7	Totalmente nublado. Leve brisa
M8	Nublado, con viento.

Tabla 5.8: Descripción de las características climáticas en el momento del muestreo. Fuente: Elaboración propia.

N° ID de Muestra	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Presión (hPa)	Humedad (%)
M1	6/5/2019	14:00	13	932	73
M2	6/5/2019	18:00	15	935	73
M3	7/5/2019	12:00	8	936	82
M4	7/5/2019	15:00	16	936	82
M5	7/5/2019	18:15	13	936	82
M6	8/5/2019	11:00	4	935	91
M7	8/5/2019	14:30	11	935	91
M8	8/5/2019	18:00	9	935	91

Tabla 5.9: Identificación de las muestras y descripción de las condiciones climáticas. Fuente: Elaboración propia.

Punto	Parámetro	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Tubo 1	O2 [%vol]	19.90	20.90	20.90	20.30	20.90	20.60	19.60	19.50
	CH4 [%vol]	0.10	0.06	0.04	0.08	0.05	0.05	0	0.05
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 2	O2 [%vol]	20	20.50	20.90	20.40	20.60	20.60	20.90	20.30
	CH4 [%vol]	0.10	0.08	0.05	0.07	0.07	0.05	0	0.03
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 3	O2 [%vol]	20.60	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90	20.60	20.90
	CH4 [%vol]	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.05	0	0
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 4	O2 [%vol]	17.70	20.90	19.70	19.50	20.90	20.90	17.40	20.90
	CH4 [%vol]	0.15	0.05	0.09	0.11	0.05	0.05	0.10	0
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
Tubo 5	O2 [%vol]	14.40	16.40	18.80	20.90	19.30	15.80	12.10	16.50
	CH4 [%vol]	0.72	0.52	0.22	0.09	0.12	0.65	1.16	0.52
	CO [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0
	H2S [ppm]	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.10: Resultados obtenidos de las mediciones de gases. Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos 5.5 y 5.6 se muestra la variación en las mediciones de metano y oxígeno respectivamente, para los diferentes tubos de venteo.

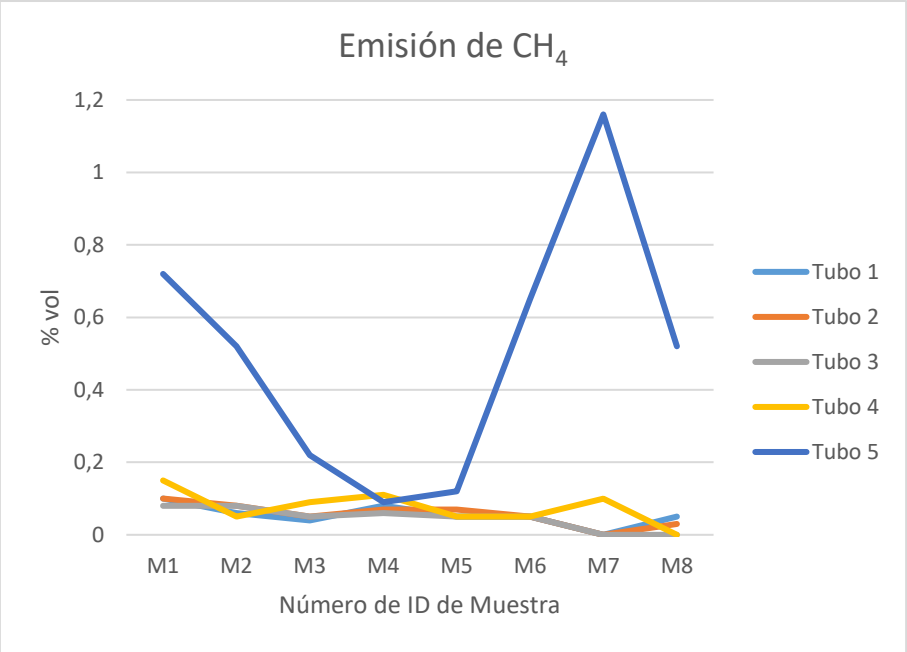

Gráfico 5.5: Variación de las emisiones de metano para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

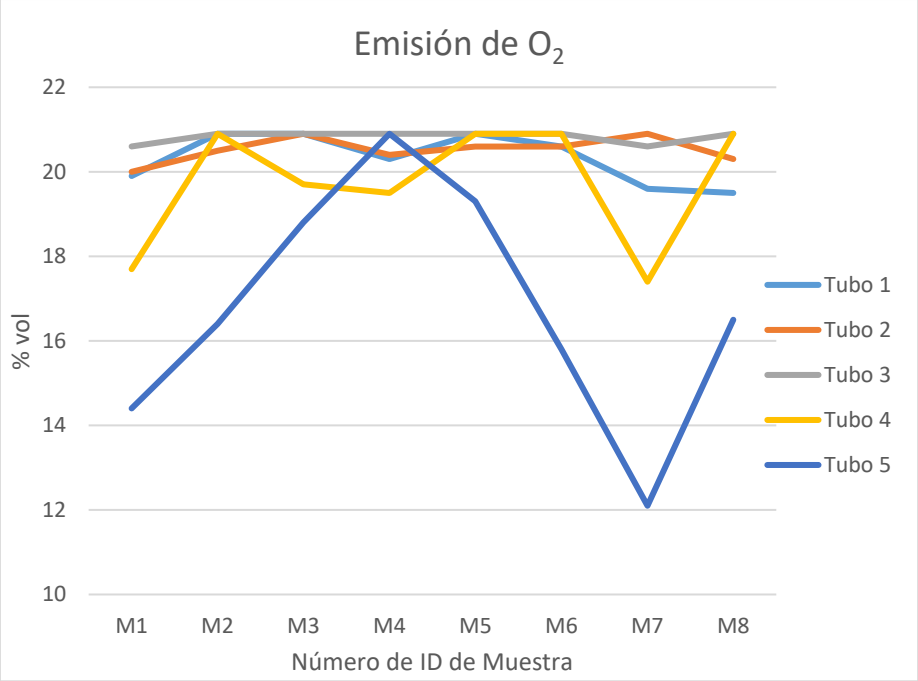

Gráfico 5.6: Variación de las mediciones de oxígeno para los diferentes tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia.

Realizando un análisis de los gráficos puede observarse que, al subir las concentraciones de metano, disminuye la concentración de oxígeno. Además, existe una tendencia de alcanzar mayores valores de metano y menores valores de oxígeno para el tubo N° 5. Puede observarse que en los meses más cálidos

y de menores precipitaciones (diciembre) los valores máximos de metano obtenido son menores que los valores máximos obtenidos en meses más húmedos y de temperatura más bajas (octubre y mayo).

Las grandes diferencias en los valores obtenidos de metano y oxígeno en el tubo N° 5 con respecto a los otros tubos puede deberse a que el tubo permite la salida de gases dado que no se encuentra completamente tapado. También, puede deberse a las características de los residuos acopiados en las cercanías de dicho tubo, el tiempo de degradación y el estado del mismo.

Puede notarse que existen grandes picos en las concentraciones de metano para el tubo N° 5 en distintos horarios del día, esto se debe a que el gas generado por la descomposición de la materia orgánica se acumula y no puede escapar libremente por el tubo de venteo al encontrarse parcialmente tapado, por lo cual, se incrementa la presión en el sitio, favoreciendo la liberación del mismo tiempo después.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) establece valores límites para la concentración de gas metano en vertederos de residuos sólidos, los cuales no deben exceder:

- 25% del LEL (límite inferior de explosión) para metano en las estructuras de colección de gases del vertedero (1.25% por volumen)
- El LEL para el metano en los límites del vertedero (5% por volumen)

Cabe destacar que en ninguna de las mediciones de metano realizadas en los tubos de venteo superan los valores límites establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

Los límites permisibles, en los valores del metano, reflejan el hecho de que el metano es explosivo dentro del rango del 5% al 15% de concentración en aire [22]. Si las emisiones de metano exceden los límites permitidos, se deben tomar acciones correctivas como, por ejemplo, alternativas en los sistemas de recolección de gas del vertedero.

Agua subterránea

El día de la realización de la toma de muestras se encontraba soleado, despejado y la temperatura registrada fue de 8 °C.

Se analizaron 129 parámetros (Anexo I), no detectando presencia de ningún herbicida o insecticida, lo cual es esperable debido a la baja actividad agrícola en la zona. Tampoco se detectó presencia significativa de hidrocarburos totales, siendo el límite permisible según Ley Provincial N°899, Decreto Reglamentario N°790/99, de 30 mg/L, hallándose valores de 0.00182 mg/L. Además, los valores de pH en agua son cercanos a 7 en todas las muestras, lo cual indica una condición neutra. En la tabla 5.11 se puede observar algunos de los parámetros analizados en las muestras.

Parámetro	Unidad	LD	Resultado			
			Rio Chimehuín	Freatímetro N°1	Freatímetro N°2	Freatímetro N°3
pH (25°)			7	6.80	7.80	7.70
Color en agua	Pt-Co		1	1	1	1
Conductividad (a 25°)	µS/cm		49	507	755	714
Turbidez	UNT		0.88	46.40	141	53.60
Alcalinidad total	mg CO_3Ca/L		< LC =20	97.20	124.30	96.40
Carbonato	mg CO_3Ca/L		< LC = 1	< LC = 1	< LC = 1	< LC = 1
Bicarbonato	mg CO_3Ca/L		< LC =20	97.10	123.60	95.90
DQO	mg/L	10	N/D	50	34	N/D
Amonio	mg/L	0.10	N/D	0.40	0.50	0.36
Fluoruro	mg/L		0.057	0.071	0.411	0.286
Bromato	mg/L	0.025	N/D	0.77	N/D	N/D
Cloruro	mg/L	1	< LC = 3	9.10	28.20	50.60
Nitrito	mg/L	0.025	N/D	0.094	0.094	0.127
Nitrato	mg/L	1	N/D	118	4.20	2.50
Sulfato	mg/L	5	N/D	103	182	158
Nitrógeno total	mg/L		< LC = 0.50	32.27	1.39	1.13
Suma de hidrocarburos aromáticos policíclicos	µg/L	0.01	< LC = 0.02	1.82	0.04	0.02
Sodio	mg/L		2.80	10	123	109
Potasio	mg/L		0.70	6	3	3.70
Calcio	mg/L		4.50	51.50	24.30	25.20
Magnesio	mg/L		1.30	21.30	4.80	4.50
Balance iónico	%		6	7.40	2.60	1.10
Dureza	mg CO_3Ca/L		17	216	80.40	81.50
Hierro total	µg/L	50	N/D	1421	18514	8093
Cinc total	µg/L	3	N/D	1360	49.20	50
Manganeso total	µg/L	1	N/D	29609	270	91.40
Cobre total	µg/L	0.30	N/D	911	35.90	12.50
Plomo total	µg/L	0.20	N/D	1064	32.60	60.30
Cadmio total	µg/L	0.04	N/D	3.87	< LC = 0.10	< LC = 0.10
Cromo total	µg/L	0.60	N/D	712	14.80	5.80
Arsénico total	µg/L	0.30	N/D	85.30	4.40	2.70
Mercurio total	µg/L	0.06	N/D	0.50	N/D	N/D
Níquel total	µg/L	1	N/D	488	9.10	5.30

Tabla 5.11: Resultado de diferentes parámetros analizados en las muestras extraídas en los freatímetros y en el río Chimehuín.

**LD: Límite de detección informado por CIATIac según técnica de análisis utilizada.*
**LC: Límite de cuantificación.*
**N/D: No detectado.*

Realizando una comparación de los valores obtenidos en los tres freatímetros con los valores obtenidos en el punto ubicado en el rio Chimehuín, se puede observar que la mayoría de los mismos superan ampliamente a los obtenidos en la muestra del rio. Esto puede deberse a la distancia a la que se encuentra el rio, la dilución de los contaminantes y a las características físico-químicas del curso de agua superficial en relación al curso de agua subterránea. Por tal motivo, sería conveniente para próximos muestreos de agua subterránea definir un blanco que se encuentre aguas arriba del vertedero para poder realizar una comparación con los freatímetros presentes en el vertedero. Para poder definir la localización óptima del freatímetro a utilizar como blanco es necesario realizar un estudio de cómo se mueven las aguas subterráneas en el sitio.

El valor analizado de materia orgánica presente (DQO) arroja valores por debajo de los límites de vuelco establecidos en la Ley Provincial de Neuquén N°899, Decreto Reglamentario N°790/99, para el cual el valor guía corresponde a 250 mg/L, valor que no es superado por ninguna de las muestras analizadas.

Los niveles de fluoruros arrojan valores mayores a los del agua superficial del río en los freatímetros 2 y 3, lo cual puede deberse a la presencia de minerales naturales en los cursos de agua subterránea como esluorita (CaF_2), fluorapatito ($Ca_5(PO_4)_3F$), anfíboles, micas, criolita (Na_3AlF_6), villiaumita (NaF), topacio ($Al_2(SiO_4)F_2$), triofluorita, maladrita, y algunas arcillas, en donde el aniónfluor sustituye al oxihidrilo dentro de la estructura mineral. Considerando que no hay límites establecidos para calidad de aguas subterráneas y que, los niveles guía establecidos por la US EPA como cantidad máxima de fluoruro que se permite en el agua potable es 4mg/L y según el Código Alimentario Argentino se adopta un límite máximo de 2 mg/L para agua de consumo humano, los valores máximos encontrados en las aguas subterráneas (0.411 mg/L) del vertedero no presentarían riesgos para el ambiente.

Los valores de cloruros encontrados en las muestras son significativamente menores a los establecidos como niveles guías de calidad determinados por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) para las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Río Negro, donde se fija como valor guía para la protección de la vida acuática 250 mg/L, siendo que los valores encontrados en las muestras no superan los 51 mg/L. De igual forma, para el caso de los sulfatos

se establece un valor guía de 250 mg/L como máximo en aguas superficiales para uso recreativo, obteniéndose valores por debajo del límite en todas las muestras [23].

Los nitritos y nitratos no poseen aún en Argentina niveles guía determinados para aguas subterráneas, sin embargo, existe un valor guía de referencia para agua como fuente para consumo humano dentro de los “Niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente”. Este valor establece niveles máximos de10 mg/L para nitratos y 0.1 mg/L para nitritos en fuentes de agua para consumo humano, valor que no es superado en ninguna de las muestras analizadas.

Para parámetros como sodio, calcio, potasio y magnesio, la legislación nacional no establece valores guía ni valores límites para la protección ambiental. Los valores obtenidos para el sodio en el Rio Chimehuín no superan los valores recomendados para el agua de consumo por US EPA, la cual recomienda valores menores a 20 mg/L, obteniéndose 2.8 mg/L en el punto de muestreo. El valor recomendado por la US EPA es superado en los freatímetros 2 y 3. En cuanto al potasio, calcio y magnesio a nivel internacional la Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece valores guías recomendados, ya que los valores que se hayan de estos componentes en agua son muy por debajo de los valores que pueden generar peligro a la salud y, además, hay incertidumbre en cuanto a los valores de los nutrientes minerales en el agua subterránea [24].

En la tabla 5.11 se puede apreciar que los valores de los parámetros cromo, cadmio, plomo, níquel, arsénico, cobre, mercurio y cinc entre otros, correspondiente al freatímetro N°1 son mayores a los demás puntos de muestreo. Todos los compuestos mencionados anteriormente poseen una alta toxicidad para los seres vivos, por tal motivo, sería conveniente que los mayores esfuerzos de remediación y de contención de los contaminantes se realicen primero en esta zona.

En información relevada de cuatro muestreos realizados en perforaciones de pozos de agua para consumo y en la red de agua, se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.12 y dichos valores se comparan con los resultados obtenidos en los freatímetros ubicados en el vertedero a cielo abierto. En el momento en que se hicieron estas mediciones ya se encontraba en

funcionamiento el vertedero. La ubicación espacial de las perforaciones se expresa en la imagen 5.1.

Parámetro analizado	Muestreo N°1	Muestreo N°2	Muestreo N°3	Muestreo N°4	Freatímetro N°1	Freatímetro N°2	Freatímetro N° 3
Turbiedad (UNT)	1	2	1	1	46.4	141	53.6
pH	7.9	7.7	7.0	Valor no legible	6.8	7.8	7.7
Sólidos disueltos totales (mg/L)	59	149	47	76	No determinado	No determinado	No determinado
Dureza total en $CaCO_3$ (mg/L)	29	52	18	43	216	80.4	81.5
Alcalinidad total en $CaCO_3$ (mg/L)	50	83	25	47	97.2	124.3	96.4
Cloruros (mg/L)	4	10	7	7	9.1	28.2	50.6
Sulfatos (mg/L)	2	13	1	2	103	182	158
Calcio (mg/L)	7	16	5	Valor no legible	51.5	24.3	25.2
Nitratos (mg/L)	1	22	7	11	118	4.2	2.5
Nitritos (mg/L)	< 0.05	<0.05	<0.01	<0.05	0.094	0.094	0.127
Amonio (mg/L)	< 0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.4	0.5	0.36
Arsénico (mg/L)	< 0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.085	0.004	0.0027
Fluoruros (mg/L)	< 0.04	<0.4	<0.4	<0.4	0.071	0.411	0.286
Sodio (mg/L)	13	35	10	11	10	123	109
Magnesio (mg/L)	2	2	1	2	21.3	4.8	4.5

Tabla 5.12: Comparación de los valores obtenidos en 4 puntos diferentes de muestreo con los 3 freatímetros presentes en el vertedero.

Imagen 5.1: Ubicación de las perforaciones de pozos de agua para consumo. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

El muestreo N°1 corresponde a la toma de agua del barrio Loteo Nehuen Che y el lugar de extracción de la muestra fue en la toma del Río Curruhue en el año 2016. Las muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Análisis Clínicos y Bacteriológicos G.C. LAB.

El muestreo N°2 corresponde a la perforación ubicada en el Loteo 101 Viviendas. La muestra fue tomada y analizada en el año 2016 por el Laboratorio de Análisis Clínicos y Bacteriológicos G.C. LAB.

El muestreo N°3 corresponde al primer tramo de la red de agua del Loteo Nehuen Che. La muestra fue tomada y analizada en el año 2015 por el Laboratorio de Análisis Clínicos y Bacteriológicos G.C. LAB.

Por último, el muestreo N°4 corresponde a una perforación de un pozo de agua del barrio Refugio del Sol. La muestra fue tomada y analizada en el año 2016 por el Laboratorio de Análisis Clínicos y Bacteriológicos G.C. LAB.

Cabe destacar que la comparación realizada en la anterior tabla contrasta valores obtenidos para la aptitud del agua para el consumo (muestreos del 1 al 4) con los valores obtenidos en los freatímetros ubicados dentro del predio del

vertedero a cielo abierto. Por tal motivo, es de esperar que los valores obtenidos en los freatímetros superen a los de las perforaciones para consumo de agua. Esta comparación es de utilidad para determinar parcialmente sobre que parámetros se debe hacer foco en siguientes muestreos.

El COFES establece valores límites tolerables para el agua, en función de la aceptabilidad del consumidor y los efectos en la salud [25]. En la tabla 5.13 se presentan algunos de los valores para diferentes parámetros y se comparan con los valores obtenidos en los freatímetros.

Parámetro	**Límite tolerable**	**Unidad**	**Freatímetro N°1**	**Freatímetro N°2**	**Freatímetro N°3**
Turbiedad	2	UNT	46.4	141	53.6
pH	6.5 - 8.5		6.8	7.8	7.7
Sólidos disueltos totales	1500	mg/L	No determinado	No determinado	No determinado
Sodio	200	mg/L	10	123	109
Sulfatos	250	mg/L	103	182	158
Arsénico	0.05	mg/L	0.085	0.004	0.0027
Flúor	1.5	mg/L	0.071	0.411	0.286
Plomo	0.01	mg/L	1.064	0.0326	0.0603
Cloruros	250	mg/L	9.1	28.2	50.6
Cadmio	0.003	mg/L	0.0039	< LC = 0.1	< LC = 0.1
Cromo	0.003	mg/L	0.712	0.0148	0.0058
Mercurio	0.001	mg/L	0.00005	N/D	N/D
Níquel	0.02*	mg/L	0.488	0.0091	0,0053

Tabla 5.13: Valores límites tolerables para el agua establecidos por el Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios

**Para Níquel el valor no corresponde al límite tolerable sino al valor guía establecido por el COFES (Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios).*

Como puede observarse en la tabla, existen muchos contaminantes que exceden los parámetros establecidos para el agua potable y debido a la cercanía a los cuerpos de agua superficiales de importancia (conexión mediante la formación litológica compartida, Collún Co), existe la necesidad de evitar la

dispersión de los contaminantes independientemente del nivel detectado, dado que los cuerpos de agua mencionados poseen niveles no detectables de algunos parámetros analizados.

Ensayo de infiltración

Para el correcto desarrollo de la metodología del ensayo de infiltración es importante que los días previos y el mismo día en que se desarrolla el ensayo no haya precipitaciones. A continuación, se expresan los datos climáticos obtenidos de la página web Weather Underground (https://www.wunderground.com extraído el 13/5/19) para los días previos y en los que se realizó el ensayo. La información de la temperatura, humedad y precipitaciones son los valores promedio de los días relevados.

Los puntos EI1, EI2 y EI3 se muestrearon el día 7/6/18, expresándose en la tabla 5.14 la información climática de los días del estudio.

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitaciones (milímetros)
7/6/18	1	75	-
6/6/18	8	50	-
5/6/18	5	74	-
4/6/18	4	69	-
3/6/18	4	69	-

Tabla 5.14: Información climática de los días en los que se realizó el ensayo de infiltración.

Los puntos restantes se relevaron el 20/3/19, expresándose a continuación la información climática de los días de estudio.

Fecha	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitaciones (milímetros)
20/3/19	12	42	-
19/3/19	11	44	-
18/3/19	11	46	-
17/3/19	15	54	-
16/3/19	14	55	-

Tabla 5.15: Información climática de los días en los que se realizó el ensayo de infiltración.

Puntos EI1 y EI3:

Al agregar el primer volumen de agua en el cilindro, la misma no infiltró en el suelo debido a la compactación del suelo, por lo que el ensayo se finalizó luego de pasado un tiempo considerado significativo. Por lo tanto, no se pudo determinar la capacidad de infiltración del suelo en estos puntos o la capacidad de infiltración es extremadamente baja o casi nula.

Punto EI2:

En el punto EI2 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.16 y en el gráfico 5.7.

t Parcial	Volumen (cm^3)	Volumen acumulado (cm^3)	Área (cm^2)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
13'05''	2000	2000	298.65	6.70	0.22	0.22	30.71	307.12
16'56''	500	2500	298.65	1.67	0.50	0.28	5.93	59.32
8'49''	250	2750	298.65	0.84	0.65	0.15	5.70	56.97
10'58''	250	3000	298.65	0.84	0.83	0.18	4.58	45.80
9'57''	250	3250	298.65	0.84	1.00	0.17	5.05	50.48
9'16''	250	3500	298.65	0.84	1.15	0.15	5.41	54.10
9'10''	250	3750	298.65	0.84	1.30	0.15	5.48	54.79

Tabla 5.16: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

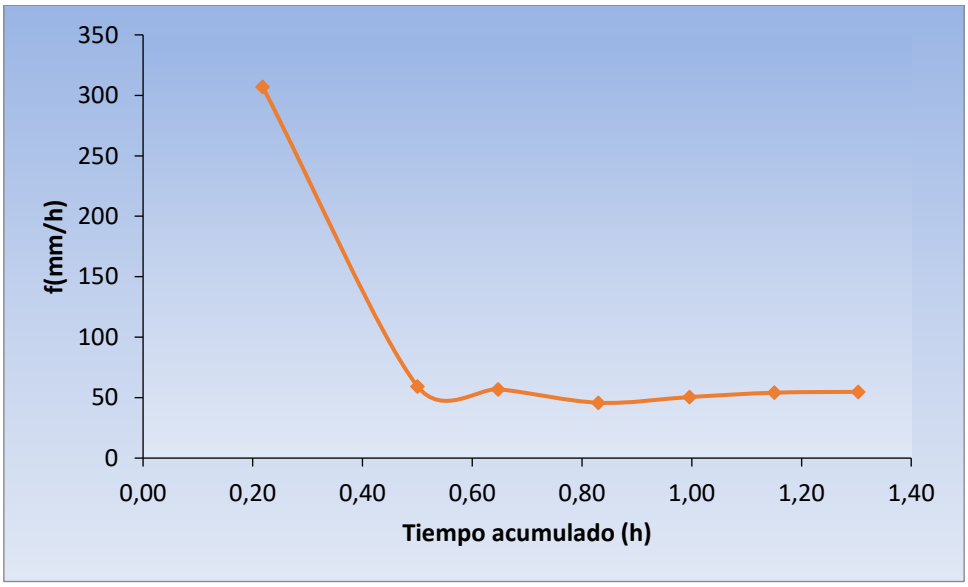

Gráfico 5.7: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI4:

En el punto EI4 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.17 y en el gráfico 5.8.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
1 min 27.46 seg	2400	2400	298.65	8.04	0.02	0.02	401.81	4018.11
2 min 11.73 seg	250	2650	298.65	0.84	0.06	0.04	22.88	228.77
3 min 6.92 seg	250	2900	298.65	0.84	0.11	0.05	16.12	161.22
4 min 2.68 seg	250	3150	298.65	0.84	0.18	0.07	12.42	124.18
4 min 15.14 seg	250	3400	298.65	0.84	0.25	0.07	11.81	118.11
4 min 27.07 seg	250	3650	298.65	0.84	0.33	0.07	11.28	112.85
4 min 29.76 seg	250	3900	298.65	0.84	0.40	0.07	11.17	111.71

Tabla 5.17: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

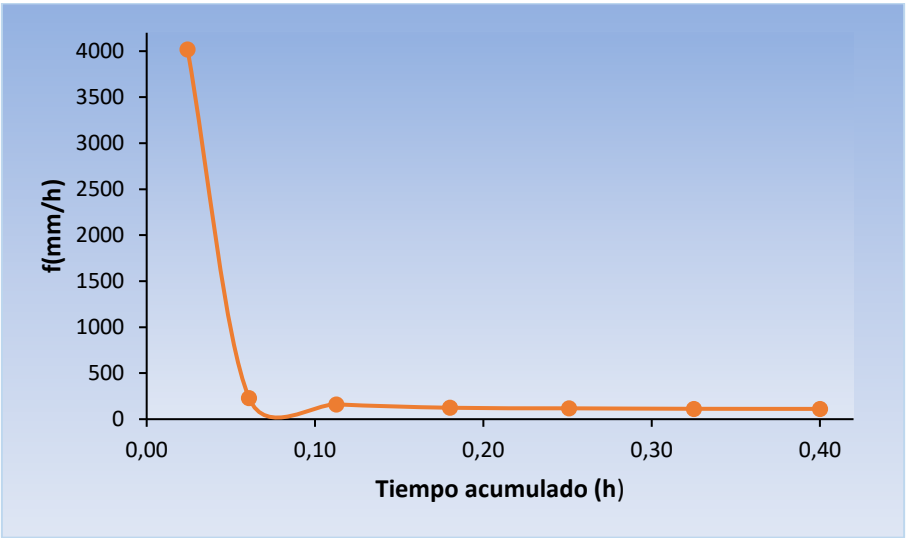

Gráfico5.8: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI5:

En el punto EI5 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.18 y en el gráfico 5.9.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
1 min 30 seg	3000	3000	298.65	10.05	0.03	0.03	334.84	3348.43
1 min 24.16 seg	250	3250	298.65	0.84	0.04	0.01	83.71	837.11
2 min 40.83 seg	250	3500	298.65	0.84	0.08	0.04	18.74	187.38
2 min 37.63 seg	250	3750	298.65	0.84	0.13	0.04	19.12	191.18
3 min 7.19 seg	250	4000	298.65	0.84	0.18	0.05	16.10	160.99
2 min 51.82 seg	250	4250	298.65	0.84	0.23	0.05	17.54	175.39
2 min 57.66 seg	250	4500	298.65	0.84	0.28	0.05	16.96	169.63
3 min 1.50 seg	250	4750	298.65	0.84	0.33	0.05	16.60	166.04
3 min 1.84 seg	250	5000	298.65	0.84	0.38	0.05	16.57	165.73

Tabla 5.18: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

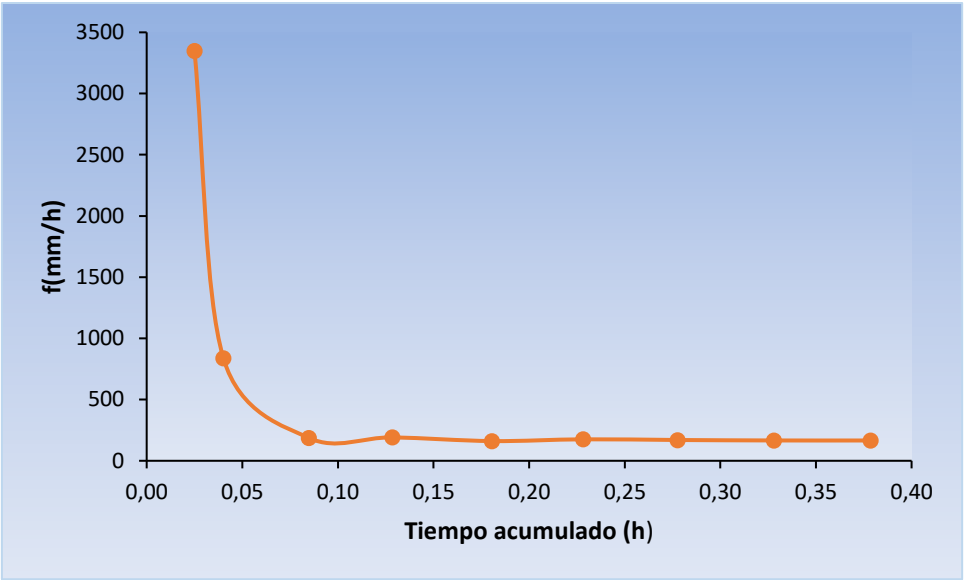

Gráfico 5.9: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI6:

En el punto EI6 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.19 y en el gráfico 5.10.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
1 min 45.24 seg	2000	2000	298.65	6.70	0.03	0.03	223.23	2232.28
2 min 24.33 seg	250	2250	298.65	0.84	0.07	0.04	20.93	209.28
3 min 7.71 seg	250	2500	298.65	0.84	0.12	0.05	16.05	160.54
3 min 8.86 seg	250	2750	298.65	0.84	0.17	0.05	15.96	159.57
3 min 13.05 seg	250	3000	298.65	0.84	0.23	0.05	15.61	156.10
3 min 18.37 seg	250	3250	298.65	0.84	0.28	0.06	15.19	151.92
3 min 24.64 seg	250	3500	298.65	0.84	0.34	0.06	14.73	147.26
3 min 27.48 seg	250	3750	298.65	0.84	0.40	0.06	14.52	145.25
3 min 24.22 seg	250	4000	298.65	0.84	0.45	0.06	14.79	147.86

Tabla 5.19: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

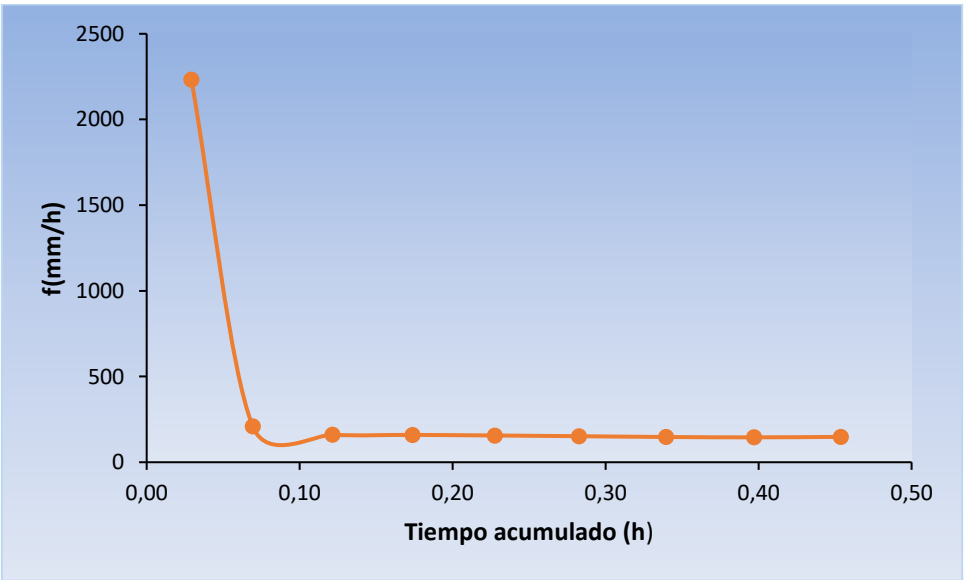

Gráfico 5.10: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI7:

En el punto EI7 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.20 y en el gráfico 5.11.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
53.04 seg	2400	2400	298.65	8.04	0.01	0.03	267.87	2678.74
1 min 22.5 seg	250	2650	298.65	0.84	0.04	0.02	36.53	365.28
1 min 29.6 seg	250	2900	298.65	0.84	0.06	0.02	33.84	338.38
1 min 33.94 seg	250	3150	298.65	0.84	0.09	0.03	32.08	320.80
1 min 56.4 seg	250	3400	298.65	0.84	0.12	0.03	25.89	258.90
2 min 2.14 seg	250	3650	298.65	0.84	0.15	0.03	24.67	246.73
2 min 9.31 seg	250	3900	298.65	0.84	0.19	0.04	23.31	233.05
2 min 12.78 seg	250	4150	298.65	0.84	0.23	0.04	22.70	226.96
2 min 20.6 seg	250	4400	298.65	0.84	0.27	0.04	21.43	214.34
2 min 15.49 seg	250	4650	298.65	0.84	0.30	0.04	22.24	222.42
2 min 29.3 seg	250	4900	298.65	0.84	0.35	0.04	20.18	201.85
2 min 32.46 seg	250	5150	298.65	0.84	0.39	0.04	19.77	197.66
2 min 30.67 seg	250	5400	298.65	0.84	0.43	0.04	20.00	200.01
2 min 25.97 seg	250	5650	298.65	0.84	0.47	0.04	20.65	206.45

Tabla 5.20: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

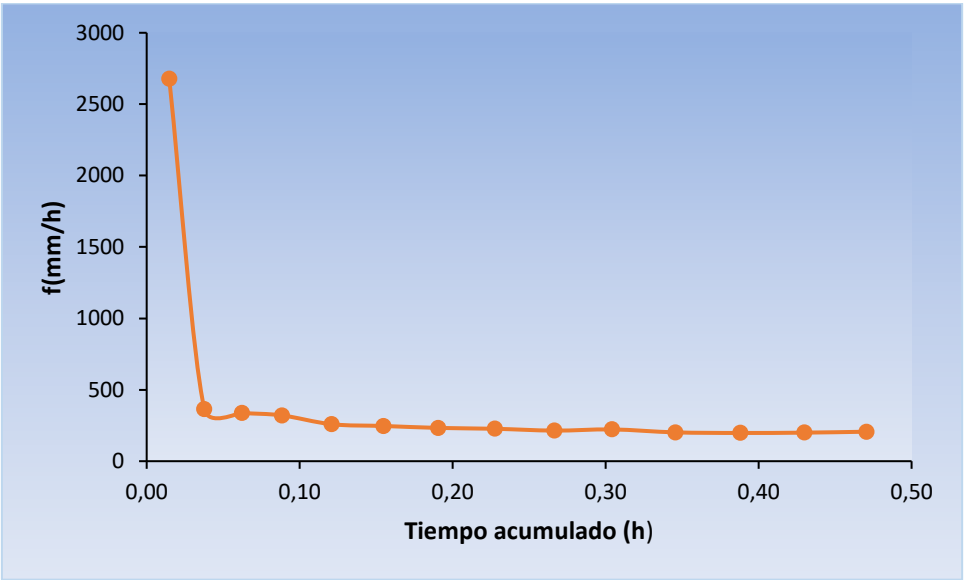

Gráfico 5.11: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI8:

En el punto EI8 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.21 y en el gráfico 5.12.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
2 min 58.86 seg	2400	2400	298.65	8.04	0.05	0.03	267.87	2678.74
1 min 59.73 seg	250	2650	298.65	0.84	0.08	0.03	25.17	251.70
3 min 2.77 seg	250	2900	298.65	0.84	0.13	0.05	16.49	164.88
3 min 52.26 seg	250	3150	298.65	0.84	0.20	0.06	12.98	129.75
4 min 24.54 seg	250	3400	298.65	0.84	0.27	0.07	11.39	113.92
4 min 34.25 seg	250	3650	298.65	0.84	0.35	0.08	10.99	109.88
4 min 41.86 seg	250	3900	298.65	0.84	0.43	0.08	10.69	106.92
4 min 27.39 seg	250	4150	298.65	0.84	0.50	0.07	11.27	112.70
4 min 34.49 seg	250	4400	298.65	0.84	0.58	0.08	10.98	109.79

Tabla 5.21: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

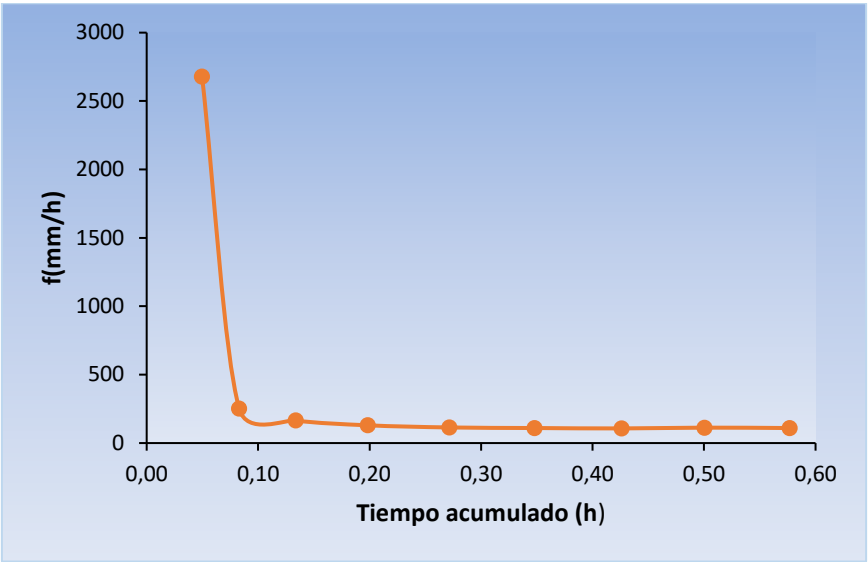

Gráfico 5.12: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI9:

En el punto EI9 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.22 y en el gráfico 5.13.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
2 min 40.74 seg	2400	2400	298.65	8.04	0.04	0.03	267.87	2678.74
1 min 20.78 seg	250	2650	298.65	0.84	0.07	0.02	37.31	373.06
1 min 12.18 seg	250	2900	298.65	0.84	0.09	0.02	41.75	417.51
1 min 12.18 seg	250	3150	298.65	0.84	0.11	0.02	41.75	417.51
1 min 18.29 seg	250	3400	298.65	0.84	0.13	0.02	38.49	384.93
1 min 17.35 seg	250	3650	298.65	0.84	0.15	0.02	38.96	389.60
1 min 22.07 seg	250	3900	298.65	0.84	0.17	0.02	36.72	367.20
1 min 21.47 seg	250	4150	298.65	0.84	0.20	0.02	36.99	369.90
1 min 25.1 seg	250	4400	298.65	0.84	0.22	0.02	35.41	354.12
1 min 26.2 seg	250	4650	298.65	0.84	0.24	0.02	34.96	349.60

Tabla 5.22: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

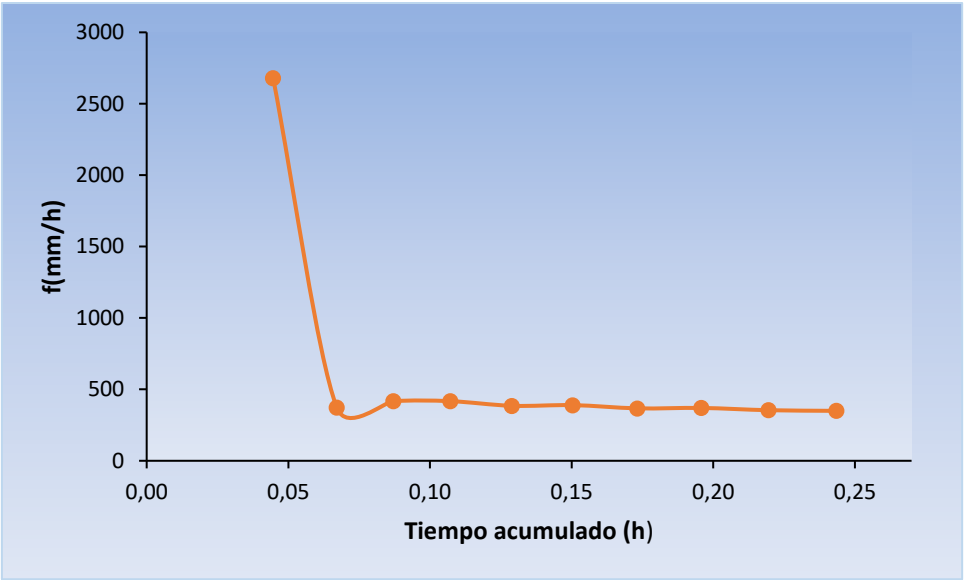

Gráfico 5.13: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI10:

En el punto EI10 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.23 y en el gráfico 5.14.

t Parcial	Volumen (cm^3)	Volumen acumulado (cm^3)	Área (cm^2)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
30.25 seg	2400	2400	298.65	8.04	0.01	0.03	267.87	2678.74
51.7 seg	250	2650	298.65	0.84	0.02	0.01	58.29	582.90
1 min 16.91 seg	250	2900	298.65	0.84	0.04	0.02	39.18	391.83
1 min 20.46 seg	250	3150	298.65	0.84	0.07	0.02	37.45	374.54
1 min 15.72 seg	250	3400	298.65	0.84	0.09	0.02	39.80	397.99
1 min 35.45 seg	250	3650	298.65	0.84	0.11	0.03	31.57	315.72
1 min 28.32 seg	250	3900	298.65	0.84	0.14	0.02	34.12	341.21
1 min 34.43 seg	250	4150	298.65	0.84	0.16	0.03	31.91	319.13
1 min 38.22 seg	250	4400	298.65	0.84	0.19	0.03	30.68	306.82
1 min 37.1 seg	250	4650	298.65	0.84	0.22	0.03	31.04	310.36
1 min 34.05 seg	250	4900	298.65	0.84	0.25	0.03	32.04	320.42
1 min 32.53 seg	250	5150	298.65	0.84	0.27	0.03	32.57	325.69
1 min 32.24 seg	250	5400	298.65	0.84	0.30	0.03	32.67	326.68

Tabla 5.23: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

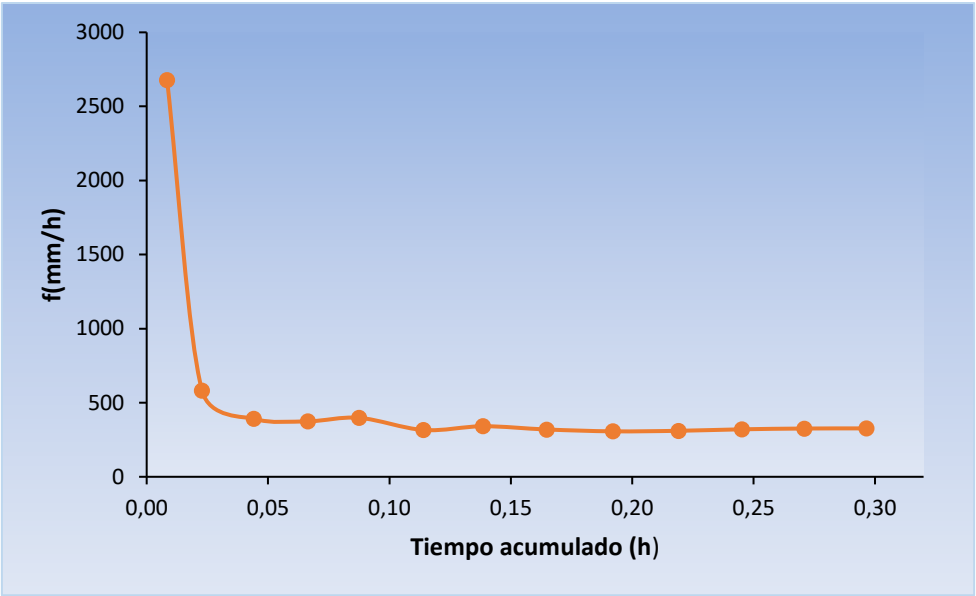

Gráfico 5.14: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI11:

En el punto EI11 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.24 y en el gráfico 5.15.

t Parcial	Volumen (cm^3)	Volumen acumulado (cm^3)	Área (cm^2)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
1 min 11.3 seg	1800	1800	298.65	6.03	0.02	0.03	200.91	2009.06
1 min 31.98 seg	250	2050	298.65	0.84	0.05	0.03	32.76	327.63
2 min 2.22 seg	250	2300	298.65	0.84	0.08	0.03	24.66	246.57
2 min 3.35 seg	250	2550	298.65	0.84	0.11	0.03	24.43	244.31
2 min 3.77 seg	250	2800	298.65	0.84	0.15	0.03	24.35	243.48
2 min 6.79 seg	250	3050	298.65	0.84	0.18	0.04	23.77	237.68
2 min 6.19 seg	250	3300	298.65	0.84	0.22	0.04	23.88	238.81
2 min 10.29 seg	250	3550	298.65	0.84	0.25	0.04	23.13	231.30
2 min 16.31 seg	250	3800	298.65	0.84	0.29	0.04	22.11	221.08
2 min 9.6 seg	250	4050	298.65	0.84	0.33	0.04	23.25	232.53
2 min 12.69 seg	250	4300	298.65	0.84	0.37	0.04	22.72	227.18
2 min 13.04 seg	250	4550	298.65	0.84	0.40	0.04	22.65	226.52

Tabla 5.24: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

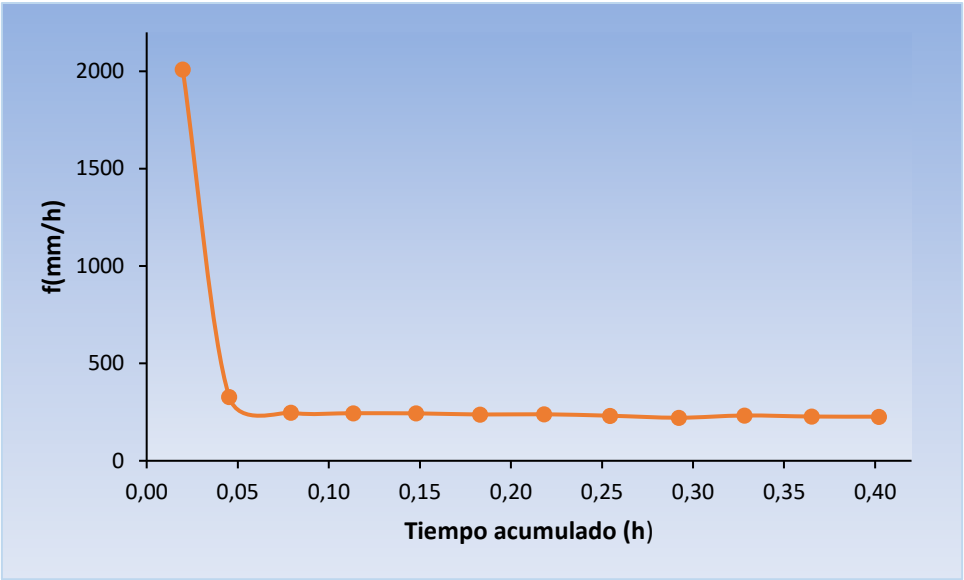

Gráfico 5.15: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Punto EI12:

En el punto EI12 se obtuvieron los resultados que se expresan en la tabla 5.25 y en el gráfico 5.16.

t Parcial	Volumen (cm³)	Volumen acumulado (cm³)	Área (cm²)	Lámina infiltrada	t acumulado (h)	t parcial (h)	f (cm/h)	f(mm/h)
1 min 54.89 seg	2000	2000	298.65	6.70	0.03	0.03	223.23	2232.28
3 min 5.82 seg	250	2250	298.65	0.84	0.08	0.05	16.22	162.18
3 min 21.68 seg	250	2500	298.65	0.84	0.14	0.06	14.94	149.42
3 min 19.45 seg	250	2750	298.65	0.84	0.19	0.06	15.11	151.09
3 min 43.38 seg	250	3000	298.65	0.84	0.26	0.06	13.49	134.91
3 min 46.23 seg	250	3250	298.65	0.84	0.32	0.06	13.32	133.21
3 min 32.1 seg	250	3500	298.65	0.84	0.38	0.06	14.21	142.14
3 min 31.95 seg	250	3750	298.65	0.84	0.44	0.06	14.22	142.18
3 min 34.26 seg	250	4000	298.65	0.84	0.50	0.06	14.07	140.65
3 min 35.89 seg	250	4250	298.65	0.84	0.56	0.06	13.96	139.59

Tabla 5.25: Cálculo de la capacidad de infiltración del suelo. Fuente: Elaboración propia.

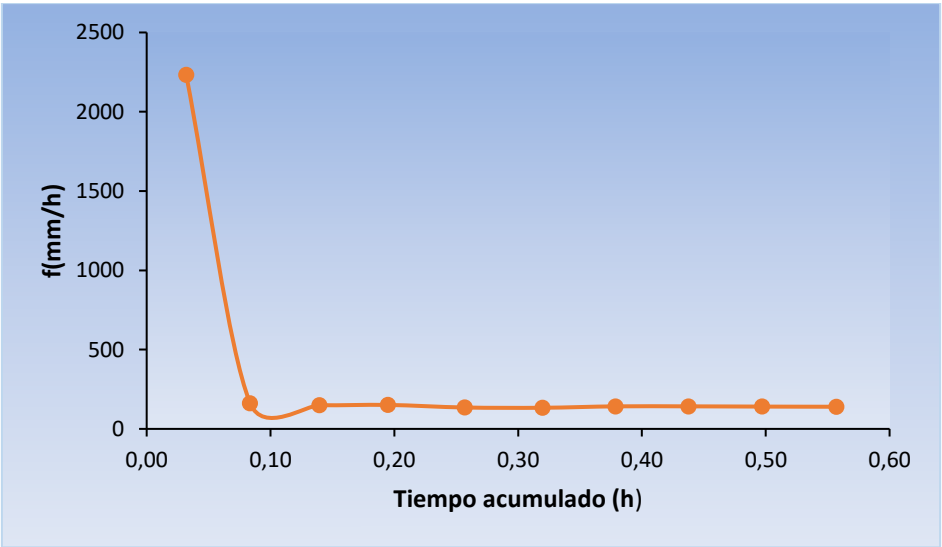

Gráfico 5.16: Variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo. Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos en los gráficos puede observarse que en la mayoría de los casos los resultados de infiltración en donde se estabilizan los valores son mayor a 100 mm/h. Estos valores, representan velocidades altas de infiltración que puede relacionarse a suelos de textura arenosa. También, puede notarse que los resultados obtenidos en zonas muy cercanas varían entre sí, esto puede deberse a que la capa de suelo superficial presente en el vertedero no es homogénea, sino que está compuesta por distintos tipos de suelos y materiales y, además, presentan diferentes grados de compactación, haciendo que la permeabilidad del suelo varíe en pocos metros de distancia.

Los valores más bajos de infiltración obtenidos corresponden al ensayo EI2 que fue realizado en una cantera antes que se coloquen los residuos. Los otros dos ensayos realizados en esta zona determinaron que la infiltración era muy lenta o nula, esto puede deberse a que en esa zona el suelo se encontraba muy compactado debido al movimiento de maquinaria pesada o también, a la variabilidad en la composición del suelo mencionada anteriormente.

En los infiltrómetros de anillo simple existe una componente lateral de flujo acumulativo que disminuye con el aumento del diámetro del anillo y con la disminución de la altura de la carga de agua o, también, utilizando anillos pequeños con correcciones teóricas de flujo divergente.

La metodología del anillo simple es tan eficiente como la de doble anillo, aunque en general suele dar valores más altos de infiltración. Estas diferencias entre metodologías es variable, y depende de varias cuestiones, entre ellas: clima, uso del suelo, dinámica de las raíces, pero principalmente del tipo de suelo, su textura, estabilidad y estructura. En general los valores medios de estas diferencias oscilan entre el 3% y el 10%. Para el caso de estudio de este trabajo, al ser suelos compactados, con baja tasa de infiltración, los valores se encontrarían cercanos al 3%.

Suelo del vertedero

Las muestras obtenidas fueron enviadas al laboratorio del Centro Regional Bariloche de la Universidad Nacional del Comahue (CRUB) donde se realizó la determinación de los siguientes parámetros:

- Fósforo extraíble (P-Olsen)

- Carbono total (C)
- Nitrógeno total (N)
- pH en agua (pH)
- Conductividad eléctrica (CE)
- Potasio intercambiable más soluble (K)
- Sodio intercambiable más soluble (Na)
- Calcio intercambiable más soluble (Ca)
- Magnesio intercambiable más soluble (Mg)

Los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados se presentan en la tabla 5.26:

Rotulo	pH	CE (µS/cm)	C(%)	N (%)	P-Olsen (µg/g)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Na (%)
Zona 1	7,5	217	1,1	0,08	11,8	0,20	0,05	0,02	< 0,01
Zona 2	7,9	69	0,6	0,05	14,0	0,11	0,03	0,01	< 0,01
Zona 3	7,0	27	0,7	0,05	7,9	0,03	0,02	0,01	< 0,01

Tabla 5.26: Resultados obtenidos del análisis realizado por el laboratorio del CRUB

Los suelos del vertedero se clasifican como Haploxeroles ándicos. Los mismos son andisoles bien drenados con régimen xérico de humedad y poseen perfiles sencillos AC o A, AC, C. Carecen de un horizonte melánico, hístico y retienen más del 15% de agua a 1500 kPa. Estos suelos son originados en cenizas volcánicas, de formación incipiente y tienen un conjunto de propiedades muy específicas como una alta retención hídrica, elevada retención de fosfatos (mayor al 85%), alto índice de cargas intercambiables, baja densidad, alta estabilidad de la materia orgánica y buena estructura. Estos suelos, además, tienen un pH en fluoruro de sodio mayor a 9.2-9.4 y como se puede observar en la imagen 3.2 los suelos del vertedero superan claramente estos valores. Además, por el contenido de arcilla, limo y arena estos suelos pueden clasificarse como arenosos, en donde la retención hídrica es baja pero debido a las propiedades ándicas de los suelos, este aspecto se ve mejorado. Los suelos arenosos al tener una baja retención hídrica favorecen la contaminación de las capas freáticas debido a los lixiviados que se producen en el vertedero. Además, observando los resultados obtenidos en los ensayos de infiltración puede notarse que los mismos tienen valores altos, lo cual se debe a la composición anteriormente mencionada de los suelos [26].

Capítulo VI: Remediación del vertedero a cielo abierto

En la localidad de Junín de los Andes, como en muchos otros lugares, la población se ha incrementado rápidamente y sin mantener un ordenamiento territorial adecuado, provocando que en las zonas cercanas al vertedero se construyan complejos residenciales. Como es deseable tener espacios abiertos en las zonas urbanas, los vertederos cerrados representan una oportunidad única para la recuperación del terreno. Algunos usos para los vertederos cerrados incluyen: parques, zonas de recreación, reservas naturales, jardines botánicos, entre otros [27]. La selección del uso final de un vertedero clausurado depende de las necesidades de la comunidad y de los fondos disponibles para el proyecto de recuperación. Sin embargo, todos los usos mencionados anteriormente tienen en común que requieren una revegetación para lograr su potencial. En este capítulo se describen diferentes técnicas de remediación que pueden ser de utilidad.

Almacenamiento de mantillo y preparación del lugar

Cuando sea posible, se recomienda la recogida y almacenamiento del mantillo nativo para su utilización posterior como cobertura final del vertedero clausurado. Especialmente cuando el uso final es la restauración del lugar a su condición natural y utilizando plantas autóctonas. La disponibilidad de suelo local será de gran ayuda para el éxito de las plantaciones. El uso de suelo almacenado reducirá un factor de estrés para las plantas creciendo bajo condiciones inherentemente adversas de un vertedero clausurado.

La capa final del suelo debería optimizarse para el cultivo de plantas. Deberían usarse los suelos de cobertura de buena calidad para la capa final, de 60 a 90 centímetros. Se recomiendan los siguientes procedimientos para la preparación del lugar:

- Deberían mezclarse enmiendas de suelo con el suelo de cobertura antes de esparcirlo. La mezcla previa produce una mezcla más uniforme.
- El suelo de cobertura debería esparcirse cuando está seco, para evitar una compactación excesiva.

- Se debería utilizar un equipo de traslado de tierra que no sea una cargadora de arrastre para aplicar y esparcir la cobertura de tierra, de forma que se minimice la compactación [28].

Uso de mulch o cobertura orgánica en vertederos clausurados

El mulch está formado por diversos materiales como ramas, hojas, chips de poda que se colocan sobre el suelo para mantener la humedad y mejorar las condiciones del mismo. La aplicación de mulch proporciona una capa superior de material orgánico e inorgánico a las superficies expuestas del suelo. A continuación, se detallan los beneficios y desventajas de los mulch orgánicos.

Beneficios de la aplicación de mulch: Además de los beneficios para el ambiente de crecimiento de las plantas, la aplicación de mulch proporciona una aplicación útil para los residuos de jardín triturados. Como la producción de mulch requiere solamente la trituración como proceso de entrada, proporciona beneficios tanto económicos como ambientales.

Control de la erosión: Una capa de 15 centímetros de residuos triturados de jardín reduce la erosión por el agua y el viento mediante la reducción del impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo, reduciendo la escorrentía, y proporcionando una barrera entre el viento y las partículas erosionables del suelo. Cuanto más inclinada sea la pendiente, más grueso debería ser el material para dar estabilidad.

Adición de nutrientes: Mientras se descompone la materia orgánica, los nutrientes se devuelven al suelo, reduciendo la necesidad de fertilización durante algún tiempo. La materia orgánica proporciona pequeñas cantidades de todos los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, que se emiten lentamente cuando se produce la descomposición, permitiendo así, la utilización total de estos nutrientes por parte de las plantas.

Retención de humedad: Como los suelos utilizados normalmente para la cobertura de vertederos son pobres, la retención de agua es uno de los beneficios importantes del mulch. El mulch retarda la evaporación desde la superficie del suelo, permitiendo que las plantas utilicen este suministro de agua mucho más tiempo del que sería posible de otra forma.

Moderación de la temperatura del suelo: El mulch nivela la temperatura del suelo, creando un medio más favorable para el crecimiento de raíces. Los efectos beneficiosos de la moderación de la temperatura son especialmente notables en zonas con climas extremadamente fríos o calurosos.

Inhibición del crecimiento de plantas no deseadas: Una capa de 10-15 centímetros de mulch es bastante eficaz contra la germinación de semillas. Cuando se desea la germinación de semillas, se debería reducir el espesor de la capa de mulch hasta aproximadamente 2.5 centímetros. Esta capa fina de mulch protegerá las plantas emergentes y proporcionará muchos de los beneficios de la capa más profunda.

Desventajas potenciales de la aplicación de mulch: A pesar de las múltiples ventajas que puede brindar el uso de mulch, existes distintas potenciales desventajas del uso de esta técnica. Las mismas pueden ser:

1. Pueden introducirse semillas de plantas no deseadas.
2. Pueden introducirse organismos responsables de enfermedades de plantas.
3. Hay que replicar el mulch anualmente para mantener el espesor deseado hasta que las plantas cubran la superficie del suelo.
4. Algunas plantas utilizadas para la producción del mulch pueden generar compuestos alelopáticos (tóxicos) que podrían impedir el crecimiento de plantas, especialmente la germinación de semillas.
5. La aplicación de mulch debe acompañarse de cambios en los métodos de cultivo, por ejemplo, menos riego para compensar las características de retención de humedad que tiene el mulch.

Técnicas de confinamiento

Las técnicas de confinamiento se basan en el aislamiento de las aguas o suelos contaminados, de forma que su objetivo básico es evitar que esos contaminantes se transfieran hacia otros suelos o cuerpos de agua. El aislamiento o confinamiento se basa en la construcción de barreras, las que pueden ser de distintos tipos, tales como barreras de lodo, lechada de cemento, barreras químicas, barreras de paneles, membranas sintética y vitrificación en el sitio.

Barreras de lodo: Consisten en trincheras verticales que se excavan alrededor del área contaminada y se rellenan con un lodo que impermeabiliza el perímetro a aislar. El relleno está constituido por mezclas del suelo con arcillas especiales, tales como la bentonita, que confieran determinadas propiedades filtrantes a la barrera. También el cemento puede utilizarse para aumentar el grado de confinamiento. Este tipo de barreras suelen tener profundidades máximas de 15 metros, entre 0.6 y 1.2 metros de espesor, y su mayor efectividad se consigue si quedan ancladas en una capa infrayacente de menor permeabilidad.

Lechada de cemento: La barrera de lechada de cemento se obtiene por inyección de una capa continua de cemento bajo toda el área inferior de la zona contaminada.

Barreras químicas: Como en el caso anterior, con el uso de barreras químicas se inyecta bajo el área afectada un producto químico que impide la dispersión del contaminante, que en algunos casos se emplea para reducir la permeabilidad del sustrato y, en otros, para producir algún efecto sobre el contaminante, como reducir su toxicidad o movilidad.

Barreras de paneles: Las barreras de paneles consisten en implantar barreras formadas por paneles o tabiques de madera, cemento, hormigón armado o acero, de forma que en algunos casos puedan penetrar en el terreno sin necesidad de excavación.

Membranas sintéticas: Las membranas sintéticas están formadas por las llamadas geomembranas, que pueden instalarme mediante la correspondiente excavación en el entorno del área afectada.

Vitrificación en el sitio: Consiste en fundir el suelo a muy alta temperatura (1600-2000 °C) mediante una corriente eléctrica, de forma que se consiga:

- La destrucción total de contaminantes orgánicos, los que se transforman en gases que son recogidos en una campana instalada con tal fin.
- El aislamiento completo de otros contaminantes que puedan contener el suelo, sobre todo metales pesados, que quedan formando parte de un vidrio muy resistente a la meteorización.

Se inicia el proceso utilizando una capa superficial de grafito y vidrio poroso que sirven como ruta de encendido. Normalmente, se emplean electrodos de un diseño rectangular.

La vitrificación en el sitio constituye una alternativa agresiva, pero muy efectiva para contaminantes poco profundos que incluyan compuestos muy resistentes a otros tratamientos. Esta técnica se ha llegado a aplicar con éxito hasta unos 6 metros de profundidad.

Técnicas biológicas de remediación

Biorremediación: La biorremediación es un método de remediación que utiliza diferentes organismos como plantas y microorganismos, principalmente bacterias, para eliminar o degradar sustancias peligrosas en otras de menor toxicidad o no tóxicas.

La biorremediación es especialmente efectiva en el tratamiento de contaminantes orgánicos, incluido el petróleo. Para que las bacterias puedan eliminar las sustancias perjudiciales, el suelo y las aguas subterráneas deben tener la temperatura, los nutrientes y la cantidad de oxígeno apropiadas. Esas condiciones permiten que las bacterias crezcan, se multipliquen y asimilen más contaminantes. Cuando las condiciones no son las adecuadas, las bacterias crecen muy despacio o mueren, o incluso pueden crear sustancias más peligrosas.

Si las condiciones del área a remediar no son las adecuadas, se intenta mejorarlas. Una manera de hacerlo es bombear aire al interior del suelo, así como nutrientes u otras sustancias. También, pueden agregarse bacterias capaces de metabolizar a los contaminantes.

Las condiciones adecuadas para la biorremediación no siempre se logran bajo tierra. En algunas áreas, el clima es muy frío o el suelo es demasiado denso. En estas áreas se puede recurrir a excavar y sacar el suelo a la superficie, donde se calienta para mejorar las condiciones. También, pueden añadirse nutrientes necesarios, o puede añadirse oxígeno revolviendo la mezcla o haciendo pasar aire a presión a través de ella.

Las bacterias pueden ayudar a eliminar la contaminación de las aguas subterráneas, al igual que del suelo. En este caso, el agua se mezcla con nutrientes y aireantes de ser reinyectada al terreno. También pueden bombearse nutrientes y aire por los pozos, de forma que la mezcla se produzca directamente en profundidad. Los nutrientes y el aire añadidos ayudan a biorremediar las aguas subterráneas.

Como principales ventajas de esta técnica se pueden indicar las siguientes:

- Es una técnica en el sitio, lo que evita la necesidad de extraer el suelo, e incluso el contacto de los trabajadores con el suelo o agua contaminados.
- Evita la liberación de gases peligrosos al aire y se generan muy pocos residuos.
- Generalmente no requiere tanto equipamiento ni trabajo como la mayoría de los métodos alternativos, por lo tanto, suele resultar más económica.

Como principales desventajas de esta técnica se pueden indicar las siguientes:

- Se utiliza casi exclusivamente para el tratamiento de contaminaciones de hidrocarburos biodegradables.
- No suele ser efectiva más que en condiciones relativamente superficiales.

Fitorremediación: La fitorremediación es una técnica que emplea plantas para eliminar la contaminación del medio en que se aplica. Las plantas ayudan a eliminar muchos tipos de contaminación, tales como metales pesados, plaguicidas y el petróleo en el suelo y en las aguas subterráneas. Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas.

La fitorremediación es más efectiva en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes. Las plantas extraen las sustancias peligrosas al tomar por las raíces el agua y los nutrientes que se hayan en el suelo. La cantidad de contaminantes que puede eliminar una planta depende, entre otros factores, de la profundidad hasta la que puedan creces sus raíces.

Una vez extraídos del suelo, y dentro de la planta, los contaminantes se ven sometidos a uno o varios procesos, tales como:

- Almacenamiento en las raíces, los tallos y las hojas.
- Acumulación o transformación en sustancias menos perjudiciales en el interior de la planta.
- Transformación en gases que se liberan al aire cuando la planta respira.

La fitorremediación puede tener lugar incluso sin que las raíces de la planta extraigan los contaminantes del suelo, ya que pueden sorberse a las raíces. Además, los contaminantes pueden transformarse en sustancias menos perjudiciales mediante la acción de microorganismos que viven en las raíces de las plantas.

En esta técnica, se deja que las plantas crezcan y que sorban las sustancias contaminantes. Luego se las corta y destruye. Por lo general, los árboles se dejan crecer y no se cortan. Las plantas que se cultivan para la fitorremediación también pueden contribuir a impedir que las sustancias peligrosas pasen de un sitio contaminado a otras zonas, ya que limitan la cantidad que puede arrastrar el viento o el agua de lluvia que penetra en el suelo o que fluye a otros sitios [29].

Selección de plantas

No se pueden dar criterios generalizados acerca de la correcta selección de plantas para la revegetación de vertederos. Cada región del país tiene condiciones ambientales idóneas para algunas especies y para otras no. Las plantas utilizadas en la revegetación tienen que adaptarse a la localización del vertedero, especialmente porque los vertederos ya son en sí mismos un ambiente adverso para el crecimiento de plantas. Otro aspecto a tener en cuenta cuando se restaura una zona es la fuente de semillas y plantas. Para preservar la genética local es deseable recoger las semillas y los recortes en la zona circundante al vertedero, y cultivar bajo condiciones controladas las plantas a utilizar para la revegetación.

Factores en la selección de plantas leñosas para la revegetación de vertederos: Los factores más importantes a tener en cuenta en la selección de plantas leñosas para la revegetación de vertederos incluyen la velocidad de crecimiento de las plantas, el tamaño del árbol, la profundidad de las raíces, la tolerancia a inundaciones, los hongos micorrizoides, la resistencia a

enfermedades y a cambios climáticos. A continuación, se expresan algunos factores que priorizan la utilización de ciertas especies por sobre otras.

1. Los árboles de crecimiento lento parecen adaptarse más fácilmente a las condiciones en un vertedero que los árboles que crecen más rápidamente. Los árboles de crecimiento más lento requieren menos humedad, que por lo general es un factor limitante en los suelos utilizados para cobertura en vertederos.
2. Los árboles más pequeños, menos de 1 metro de altura, son capaces de desarrollar sus raíces cerca de la superficie, evitando así el contacto con los gases presentes en las capas más bajas del suelo. Sin embargo, los árboles con raíces poco profundas requieren un riego más frecuente.
3. Los árboles con raíces naturalmente poco profundas están inherentemente mejor adaptados a las condiciones del vertedero. De nuevo, las raíces poco profundas requieren de mayor riego y estos árboles son propensos a caerse con el viento.
4. Las especies tolerantes a la inundación muestran una mejor adaptabilidad a las condiciones del vertedero que las especies no tolerantes a la inundación, pero su uso requiere un riego adecuado.
5. Los hongos micorrizoides tienen una relación simbiótica con las raíces de las plantas y permiten que las plantas absorban más nutrientes.
6. Las plantas especialmente sensibles a enfermedades específicas o a ataques de insectos no deberían usarse bajo las condiciones de crecimiento marginales de un vertedero clausurado.

Uso de hierbas para la revegetación de vertederos: Además de las plantas leñosas, el uso de hierbas puede ser beneficioso para la revegetación de vertederos. Como las otras plantas, las hierbas se verán afectadas por los suelos pobres y los gases de vertedero, pero son más fáciles de cultivar que las especies leñosas. Siendo autóctonas o no autóctonas, las raíces de las hierbas son fibrosas y poco profundas, lo que les permite sobrevivir más fácilmente en las condiciones del vertedero que las plantas leñosas. Sus ciclos de vida también proporcionan algunas ventajas, algunas hierbas son anuales, lo que quiere decir que cumplen su ciclo de vida en un año o menos. Por tal motivo, las hierbas anuales se siembran y crecen durante el tiempo del año más favorable. Las

hierbas perennes viven más de un año, pero muchas de sus características son similares a las de las hierbas anuales. El sistema de raíces, el ciclo de vida y la rápida reproducción hacen que las hierbas sean más fáciles de cultivar en condiciones adversas.

Barreras reactivas permeables para el control del agua subterránea contaminada

Las barreras reactivas permeables son similares a algunas de las utilizadas para el aislamiento vistas anteriormente, solo que, a diferencias de éstas, las barreras reactivas permeables se instalan donde se ha identificado un flujo de aguas subterráneas contaminadas. Las barreras reactivas permeables se construyen cavando una zanja larga y estrecha en el camino de las aguas subterráneas contaminadas. La zanja se llena de material reactivo capaz de eliminar las sustancias peligrosas.

Entre los materiales reactivos más corrientes que pueden emplearse están el hierro, la caliza y el carbón, activado o no. Los materiales reactivos se mezclan con arena para facilitar que el agua fluya a través de la barrera, en lugar de alrededor de ella. La zanja se cubre con tierra, por lo que no resulta visible en la superficie.

El material que se emplea para construir la barrera depende del tipo de contaminante que se encuentra en las aguas subterráneas. Los diferentes materiales usados en las barreras permeables eliminan la contaminación empleando distintos métodos:

- Atrapando o sorbiendo las sustancias en su superficie, como es el caso del carbón.
- Precipitando las sustancias disueltas en el agua. Por ejemplo, la caliza hace que ciertos metales disueltos precipiten como carbonatos o como óxidos hidratados.
- Transformando las sustancias nocivas, reduciendo significativamente la peligrosidad de las mismas.
- Estimulando a los microorganismos del suelo a que se alimenten de los contaminantes. Por ejemplo, los nutrientes y el oxígeno en las barreras

reactivas permeables contribuyen a que los microorganismos crezcan y asimilen más contaminantes.

Las barreras reactivas permeables eliminan muchos tipos de contaminación subterránea y funcionan mejor en suelos arenosos poco compactos y con flujo continuo de aguas subterráneas. La contaminación no debe encontrarse por debajo de unos 15 metros de profundidad. Dado que no hay que bombear las aguas subterráneas contaminadas a la superficie, las barreras reactivas permeables pueden resultar más económicas que otros métodos. No hay piezas que se rompan ni equipamiento sobre la superficie, de modo que los terrenos pueden utilizarse mientras se está llevando a cabo la descontaminación. No se incurre en costos energéticos, ya que las barreras reactivas permeables funcionan con el flujo natural de las aguas subterráneas.

Revestimientos para el control de lixiviados en vertederos

Mientras el lixiviado se filtra del estrato inferior se van separando muchos de los constituyentes químicos y biológicos contenidos, mediante la acción filtrante y absorbente del material que compone el sustrato. Generalmente, esto depende de las características del suelo, especialmente del contenido de arcilla. Debido al riesgo potencial que implica que el lixiviado se filtre hasta el agua subterránea, se recomiendan prácticas para su eliminación o contención.

Para evitar o disminuir la filtración del lixiviado, es conveniente proporcionar un sistema de revestimiento protector. Dependiendo del tipo de residuo que constituye el vertedero y de la sensibilidad del sitio, el revestimiento puede ser un sistema monocapa o multicapa. Los revestimientos pueden hacerse de:

- Arcilla natural *in situ*: Normalmente, los revestimientos de arcilla in situ no deben tener un espesor menor a los 2 metros. Además, los 25 a 30 centímetros superiores deberían ser amasados y compactados de nuevo para evitar zonas no homogéneas en la superficie.
- Arcilla importada: La arcilla importada debe tener un mínimo de profundidad total de 0.5 metros de espesor y debe colocarse en capas de no más de 20 centímetros cada vez, con una compactación cuidadosa entre capa y capa.

- Tierra mejorada con bentonita: La bentonita es un material de arcilla que puede hincharse. Se puede utilizar para mejorar la impermeabilidad de los diferentes tipos de arena, arcilla o de los materiales del suelo. La bentonita se puede aplicar sobre la superficie sola o bien junto a otros materiales del suelo. Con una impermeabilidad de 10^{-10} m/s y un buen sistema de drenaje, se puede eliminar más del 95% de todo el lixiviado generado. Si no se elimina el lixiviado inmediatamente, es muy importante el espesor del revestimiento porque proporciona resistencia a la presión hidráulica.
- Revestimientos sintéticos: Existen muchos revestimientos sintéticos, la mayoría de ellos están hechos de polietileno y su espesor suele ser de 0,5 a 2 milímetros. Es muy importante que todo el proceso de montaje y las operaciones que se realicen con revestimientos sintéticos, se ejecuten y controlen cuidadosamente. El revestimiento debe estar protegido por debajo con arena o geotextil.

Recomendaciones y mejoras aplicables al vertedero a cielo abierto de Junín de los Andes

Tubos de venteo

Los tubos de venteo instalados en el predio no cumplen efectivamente la función para la cual fueron colocados en dicho sitio. Es necesario realizar una limpieza de los tubos y quitar todo el material que pueda obstruir la salida de los gases. También, verificar si los mismos se encuentran torcidos o rotos y en tal caso realizar los arreglos pertinentes.

Es conveniente agregar una protección superior en la boca de los tubos para impedir que las precipitaciones ingresen al vertedero por este medio, lo cual incrementa el contenido de humedad, agilizando los procesos de degradación y la lixiviación.

Se recomienda ampliar la red de venteos ya que los residuos dispuestos en las zonas 2, 4 y parte de la zona 3, no cuentan con ningún sistema de recolección de gases, por tal motivo es necesario captar estos gases y liberarlos.

En la imagen 6.1 se puede observar los sitios potenciales para la instalación de nuevos tubos de venteo. Los mismos fueron ubicados en función de los sitios con cantidades importantes de residuos dispuestos y teniendo en cuenta el radio

de influencia medio de cada pozo de venteo, los tubos del 1 al 5 se encuentran instalados (icono de color amarillo), del 6 al 13 son los sitios potenciales para la instalación de nuevos tubos de venteo (icono con color azul). La extracción pasiva o ventilación de gases se realiza mediante la instalación de tubos de venteo distanciados aproximadamente 25 metros (se considera un radio de influencia medio de cada pozo de venteo entre 20 y 30 metros) [30].

Imagen 6.1: Ubicación actual y potencial de los tubos de venteo. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Los tubos de venteo pueden construirse de plástico perforado o ranurado, el mismo puede ser de PVC y los mismos se instalarán verticalmente en profundidades que van desde el 50 al 90% del espesor de los residuos. Si se cuenta con la maquinaria necesaria para la instalación de los tubos en profundidades del 90% del espesor de los residuos se recomienda tal profundidad. Los tubos de venteo deben estar cubiertos con piedras o grava en el fondo y deben sobresalir al menos 2.5 metros de la superficie. Si se quiere realizar la quema de los gases obtenidos, se debe reemplazar a los tubos de PVC por tubos construidos con aluminio y recubiertos en superficie con hormigón. Es necesario continuar con el plan de monitoreo propuesto anteriormente.

Freatímetros

Debido a la ubicación actual de los freatímetros dentro del predio no se puede tener información del agua subterránea de muchas de las zonas donde se

encuentran residuos dispuestos, por tal motivo se recomienda hacer dos perforaciones adicionales ubicadas al este del predio con las cuales se podrá tener registro de cómo se mueven los contaminantes en las aguas subterráneas. La ubicación de los freatímetros actuales (ícono color amarillo) y de los posibles sitios para los potenciales freatímetros (ícono color azul) se detallan en la imagen 6.2.

Imagen 6.2: Ubicación de los freatímetros actuales y potenciales sitios para instalación de nuevos. Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth.

Realizando la instalación de los freatímetros FR04 y FR05 se podrá tener control del agua subterránea en dos zonas que se encuentran activas en la degradación de los residuos. Además, se podrá realizar un mapeo del curso del agua subterránea y detectar posibles contaminaciones en el recurso hídrico. Sería conveniente una vez realizado el mapeo del curso de agua subterránea definir la ubicación de un freatímetro para utilizar como blanco en futuros muestreos.

Analizando los valores del nivel de fondo del agua en los freatímetros se puede observar que para el freatímetro FR01 el valor es de 11.3 metros, para el freatímetro FR02 es de 17.26 metros y para el freatímetros FR03 es de 14.81 metros. Observando estos valores podría pensarse que el agua se mueve en sentido sur-este. De cualquier manera, para poder afirmar esto se debería contar con más puntos dentro del predio del vertedero para saber con mayor precisión

en qué sentido se mueven las aguas subterráneas presentes en el sitio. Es necesario continuar con el plan de monitoreo propuesto anteriormente.

Propuestas de remediación aplicables al vertedero

Para mejorar las condiciones ambientales en el predio del vertedero es necesario realizar distintas técnicas de remediación para disminuir el impacto del mismo sobre la calidad del ecosistema y del paisaje.

Debido a que las condiciones dentro del predio no son las mismas en las diferentes zonas por el tiempo de disposición de los residuos y las características de estos, se proponen distintas zonas con diferentes medidas de remediación en función de los resultados obtenidos en las diferentes metodologías aplicadas en el trabajo. En la imagen 6.3 se pueden observar las diferentes zonas determinadas en función de la necesidad de la aplicación de técnicas de remediación.

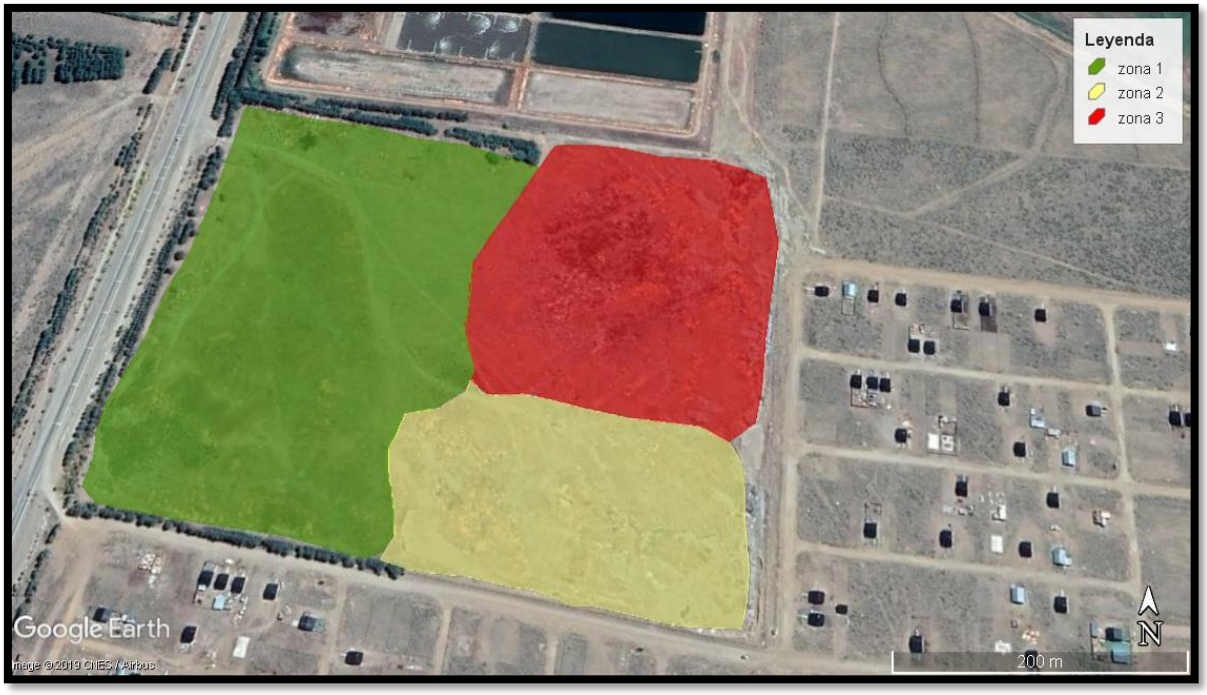

Imagen 6.3: Zonas determinadas para la aplicación de medidas de remediación. Fuente: Google Earth.

Membrana semipermeable y cobertura de suelo

Para minimizar el arrastre de contaminantes del vertedero debido a las precipitaciones, se recomienda aplicar una membrana semipermeable. La membrana permite retener la masa de residuos a fin de evitar la dispersión de los mismos por acción del viento, animales, erosión del suelo, entre otros.

En primera instancia debe colocase un espesor de tierra entre los residuos y la membrana. Sobre esta última, se recomienda colocar otra capa de tierra de mayor espesor, acorde a las especies vegetales que se utilicen para la fijación del suelo. La porosidad de la membrana permite la salida de los gases contenidos en el vertedero y disminuye el ingreso de precipitaciones, minimizando el arrastre de contaminantes a las capas de aguas subterráneas. La membrana debería colocarse en todos los sectores donde se encuentran dispuestos residuos dentro del predio.

Para favorecer el crecimiento de las especies vegetales, sobre el manto del vertedero, es necesario que las mismas tengan un sustrato adecuado. Debido a que la composición del suelo es variable, sin cobertura vegetal por sectores e irregular, se recomienda realizar una nivelación del terreno y luego agregar una capa de tierra de 60 centímetros. Además, añadir también para mejorar las condiciones del sitio una capa de mulch de 15 centímetros.

La capa de cobertura final a instalar va a depender fundamentalmente de la existencia de un sistema de aislamiento del fondo y de evacuación de los lixiviados. Cuando estos no existen se busca que la capa de sellado sea lo más impermeable posible, para reducir la cantidad de lixiviado en el futuro y por tanto sus potenciales impactos negativos.

Cuando se realicen los movimientos de suelos deberá buscarse incrementar las pendientes hacia los laterales del vertedero, colocándose más tierra en la parte media del mismo, favoreciendo que el agua de las precipitaciones escurra hacia los laterales y no se concentre en el centro. Esto tiene como ventaja que se disminuye la cantidad de agua que circula por la zona de mayor concentración de residuos, minimizando el arrastre de contaminantes hacia las capas freáticas y, además, se favorece el riego de las plantas que rodean al vertedero.

Zona 1: La zona 1 es un sitio en el cual distintas especies arbustivas nativas como *Mulinum spinosum* (neneo) y *Stipa Speciosa* (coirón amargo) recolonizaron el lugar. En la mayor parte de la zona no se depositan residuos hace más de 10 años, cuenta con tubos de venteo y cortina de árboles. Sería necesario realizar un reacondicionamiento de los tubos de venteo instalados, destapándolos, reparando las partes rotas y agregando una protección en la

parte superior para las precipitaciones. Además, es necesaria la ampliación de la red de venteos en el sur de esta zona donde se encuentra uno de los montículos de residuos como se especifica en la imagen 6.1.

Es necesario realizar la aplicación de una membrana semipermeable para contener a los residuos y evitar el ingreso de humedad en exceso. Esta zona al tener valores altos de metales pesados debe ser regulada, y la aplicación de una membrana disminuirá el ingreso de humedad y el movimiento de los contaminantes. Una vez colocada la membrana se agregará sobre la misma una capa de tierra de 60 centímetros para brindar un sustrato adecuado para el crecimiento de plantas. Para revegetar esta zona se recomiendan las especies arbustivas y herbáceas nativas que crecen en la zona y en los alrededores. Algunas de estas especies son *Mulinum spinosum* (neneo), *Stipa speciosa* (coirón amargo)*, Mutisia retrorsa (*mutisia amarilla) y *Discaria trinervis (chacay)*

Para mejorar las condiciones del suelo en los alrededores, se pueden plantar algunas especies arbóreas nativas como *Astrocedrus chilensis* (ciprés) y *Maytenus boaria (*maitén), las mismas deberían contar con un sistema de riego específico, y, además, llegarían por diferencia de pendientes las precipitaciones que caigan en el vertedero. Debido a que estas especies tienen tiempos largos de crecimiento pueden añadirse algunas especies exóticas de crecimiento rápido como por ejemplo algunas especies de pino. Las especies exóticas se plantean en función de la búsqueda de la recuperación rápida de la cobertura vegetal, la mejora paisajística y la estabilización del suelo.

En el sector norte de esta zona se encuentran algunos residuos forestales que puedan ser utilizados para calefacción y los que no sean útiles chipearlos para aprovecharlos como capa de mulch para las zonas 2 y 3.

Debido a las altas concentraciones de metales pesados encontrados en esta zona es necesario aplicar técnicas para retener estos contaminantes y si es posible eliminarlos. Por tal motivo, se recomienda aplicar fitoacumulación, la cual consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Una especie que puede ser utilizada en la zona es el *Cajanus Cajan,* la cual es una planta perenne, altamente resistente a las sequías, y que tolera terrenos desde arenosos a arcillosos [31].

Resiste un amplio rango de acidez, con valores de pH que van desde los 4.5 hasta los 8.5, y, además, rangos de temperatura que van desde los 10 °C hasta los 35 °C. Esta planta desarrolla numerosas raíces laterales de hasta 3 metros de longitud que le permiten crecer en sitios secos o de estaciones alternas bien marcadas. Ha sido utilizada para la acumulación en biomasa de cromo, plomo, cadmio, níquel y zinc, además que es bioindicadora de contaminación por cadmio, cobalto, cobre, cromo, manganeso, níquel, plomo y zinc.

Debido a que no existen estudios en la zona del crecimiento de esta planta, es necesario realizar pruebas para comprobar si la misma se adapta a las condiciones del sitio y, además, realizar estudios semestrales de las concentraciones de estos contaminantes una vez aplicada la técnica de fitoacumulación. Sería conveniente plantar esta especie en los meses más cálidos (octubre a marzo), para evitar que las temperaturas bajas maten a la planta.

En todos los laterales del vertedero a cielo abierto, no se encuentran residuos dispuestos y por lo tanto no se colocará una membrana, por tal motivo, se pueden agregar especies arbóreas de raíces profundas con el fin de captar contaminantes a mayor profundidad. Una especie que puede ser utilizada para la fitoacumulación, principalmente en hojas, de plomo, cadmio y zinc es el *Populus Nigra Itálica (*álamo de Italia*).* Esta especie bioacumula otros compuestos como flúor, azufre y berilio, es de rápido crecimiento y se adapta a suelos pobres y contaminados, prefiriendo una humedad media. Debido a que en la zona crecen otras especies de álamos se cree que esta especie puede adaptarse a las condiciones de la zona. Además, de agregar estos árboles puede plantarse también en los alrededores *Cajanus Caján.*

Otra medida aplicable para evitar que los contaminantes detectados se muevan libremente y afecten a las personas o a los animales que se encuentran en los alrededores del vertedero sería realizar un confinamiento de la masa de residuos utilizando un material impermeable. Con tal fin, debería primero realizarse un estudio de los suelos para determinar hasta que profundidad se encuentran acopiados residuos. Una vez definido esto, se realizan excavaciones en todos los laterales del predio hasta la profundidad determinada y se realiza el agregado de un material de baja permeabilidad como puede ser la arcilla. De esta manera

los contaminantes se encontrarían retenido en el predio del vertedero y se evitaría que los mismos alcances cursos de agua que se utilizan con fines recreativos.

Zona 2: Este sector fue el último en ser utilizado para la disposición de residuos y era una cantera de 6 metros aproximados de profundidad. Debido a que este sitio va a estar en un activo proceso de degradación de los residuos, es necesario controlar las variables ambientales tanto en el agua, como en el suelo y el aire. Este sitio debería ser prioritario para la aplicación de medidas de remediación debido al volumen de residuos dispuesto y a la poca antigüedad de los mismos.

En esta zona se recomienda la adición de un freatímetro para tener registro de las variaciones en la calidad del agua subterránea. Además, es necesario realizar el agregado de tubos de venteo como se describió anteriormente.

Para evitar la contaminación del suelo y permitir el crecimiento de especies vegetales en superficie, sería conveniente agregar una capa de baja permeabilidad que puede lograrse utilizando una membrana semipermeable. De esta manera los residuos se encontrarían mayormente contenidos y se reduciría el contenido de humedad que ingresa a los mismos.

Para favorecer el crecimiento de las especies vegetales en esta zona es necesario agregar un sustrato adecuado, por tal motivo se recomienda el agregado de una capa de tierra de 60 a 90 centímetros y añadir también para mejorar las condiciones del sitio una capa de mulch de 15 centímetros. Luego, al igual que en la zona 1 agregar especies arbustivas y herbáceas nativas. Las especies para utilizar son las mismas que se describieron para la zona 1. Para los bordes sur y este de esta zona sería conveniente agregar una doble cortina de árboles de la especie pino y, como se recomienda para la zona 1, agregar especies arbóreas nativas en los alrededores para mejorar las condiciones ambientales y paisajísticas del sitio.

Zona 3: La zona 3 es un sitio en el cual hay residuos dispuestos en profundidad y además cuenta con pequeñas elevaciones de residuos tapados con tierra. Esta zona no cuenta con tubos de venteo y tampoco con vegetación. El suelo es poco homogéneo y con grandes depresiones en el terreno.

Se recomienda para esta zona agregar tubos de venteo para permitir la captación y liberación de los gases que puedan generarse producto de la degradación de los residuos. Además, al igual que en la zona 2, se recomienda colocar una capa de baja permeabilidad como puede ser una membrana semipermeable.

Para favorecer el crecimiento de las especies vegetales es necesario que las mismas tengan un sustrato adecuado. Debido a que la composición del suelo es variable, sin cobertura vegetal e irregular se recomienda realizar una nivelación del terreno y luego agregar una capa de tierra de 60 a 90 centímetros y añadir también para mejorar las condiciones del sitio una capa de mulch de 15 centímetros. De esta manera se favorecerá la recolonización natural del sitio por parte de las especies vegetales que ya se encuentran en las otras zonas y en los alrededores.

Además, se recomienda agregar al igual que en la zona 2 especies arbustivas y herbáceas nativas para la revegetación de esta zona. Se recomiendan estas especies debido a que las mismas tienen raíces superficiales que no dañarán a la membrana. Para el borde norte y este de esta zona sería apropiado agregar una cortina arbórea que disminuya el impacto paisajístico. Con tal fin puede realizarse una doble cortina de árboles de la especie pino. Pueden agregarse también, en los alrededores, especies arbóreas tanto nativas como exóticas, como las que se recomiendan para las otras zonas descriptas anteriormente.

Conclusiones

Considerando los diferentes resultados obtenidos en los muestreos y análisis realizados en el trabajo, puede observarse que el vertedero a cielo abierto afecta negativamente al medio en el cual se encuentra, y debido a la proximidad a la que se localizan diferentes barrios, es necesario la aplicación de medidas en el corto plazo, con el fin de minimizar los impactos negativos sobre el medio que habitamos. Para lograr una mejora de las condiciones en las que se encuentra el vertedero es necesario la aplicación de políticas ambientales concretas por parte de las autoridades y la participación activa de la sociedad para exigir que las mismas sean implementadas, a fin de lograr que el vertedero de residuos sólidos urbanos no continúe dañando el ambiente.

En el presente trabajo final integrador se propone realizar una remediación ambiental para mejorar las condiciones en las que se encuentra el vertedero de la localidad de Junín de los Andes y de esta manera disminuir el impacto sobre el medio, considerando los barrios que se encuentran en los alrededores del predio. Los costos de la remediación quedarán sujetos a la tecnología que se desea implementar, considerando los estudios previos requeridos para obtener un mayor detalle técnico, a fin de aplicar la mejor opción para remediar el sitio.

Es necesario recalcar que en nuestro país las políticas ambientales no son lo suficientemente eficaces como para lograr que las ciudades no generen un impacto negativo significante en el medio en el que se encuentran, por tal motivo, es necesario crear consciencia en cuanto al cuidado del ambiente y exigir a los gobiernos tanto municipales, provinciales y nacionales una mayor participación y financiación a políticas destinadas al cuidado y preservación del ambiente.

Anexos

Anexo I

Resultados obtenidos en el muestreo del agua subterránea

Parámetro	Unidad	Límite de detección	Punto en el río Chimehuin	Freatímetro N°1	Freatímetro N° 2	Freatímetro N° 3
pH (25°)			7	6.80	7.80	7.70
Color en agua	Pt-Co		1	1	1	1
Conductividad (a 25°)	µS/cm		49	507	755	714
Turbidez	NTU		0.88	46.40	141	53.60
Alcalinidad total	mg CO3 Ca/l		< LC =20	97.20	124.30	96.40
Carbonato	mg CO3 Ca/l		< LC = 1	< LC = 1	< LC = 1	< LC = 1
Bicarbonato	mg CO3 Ca/l		< LC =20	97.10	123.60	95.90
DQO	mg/l	10	N/D	50	34	N/D
Amonio	mg/l	0.10	N/D	0.40	0.50	0.36
Fluoruro	mg/l		0.057	0.071	0.411	0.286
Bromato	mg/l	0.025	N/D	0.77	N/D	N/D
Cloruro	mg/l	1	< LC = 3	9.10	28.20	50.60
Nitrito	mg/l	0.025	N/D	0.094	0.094	0.127
Nitrato	mg/l	1	N/D	118	4.20	2.50
Fosfato	mg/l	1	N/D	N/D	N/D	N/D
Sulfato	mg/l	5	N/D	103	182	158
Nitrógeno total	mg/l		< LC = 0.50	32.27	1.39	1.13
Fenoles	µg/l	1	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenantreno	µg/l	0.01	< LC = 0.02	0.11	0.04	0.02
Fluoranteno	µg/l	0.01	N/D	< LC = 0.02	N/D	N/D
Antraceno	µg/l	0.01	N/D	N/D	N/D	N/D
Naftaleno	µg/l	0.01	N/D	0.35	N/D	N/D
Acenaftileno	µg/l	0.01	N/D	N/D	N/D	N/D
Acenafteno	µg/l	0.01	N/D	N/D	N/D	N/D
Fluoreno	µg/l	0.01	N/D	< LC = 0.02	N/D	N/D
Pireno	µg/l	0.01	N/D	0.03	N/D	N/D
Benzo antraceno	µg/l	0.01	N/D	N/D	N/D	N/D
Criseno	µg/l	0.01	N/D	0.07	N/D	N/D
Benzopireno	µg/l	0,.005	N/D	0.069	N/D	N/D
Indenopireno	µg/l	0.01	N/D	0.24	N/D	N/D

Dibenzo antraceno	µg/l	0.01	N/D	0.05	N/D	N/D
Benzoperileno	µg/l	0.01	N/D	0.10	N/D	N/D
Benzofluoranteno k	µg/l	0.01	N/D	0.03	N/D	N/D
Benzofluoranteno b	µg/l	0.01	N/D	0.73	N/D	N/D
Suma de hidrocarburos aromáticos policíclicos	µg/l	0.01	< LC = 0.02	1.82	0.04	0.02
Rango orgánico de diesel	mg/l	0.50	N/D	N/D	N/D	N/D
Rango orgánico de gasolina	mg/l	0.10	N/D	N/D	N/D	N/D
Cianuro total	µg/l	20	N/D	N/D	N/D	N/D
Benceno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
Tolueno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
Etilbenceno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
Suma de xilenos	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
p-xileno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
m-xileno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
o-xileno	µg/l	5	N/D	N/D	N/D	N/D
Sodio	mg/l		2.80	10	123	109
Potasio	mg/l		0.70	6	3	3.70
Calcio	mg/l		4.50	51.50	24.30	25.20
Magnesio	mg/l		1.30	21.30	4.80	4.50
Balance iónico	%		6	7.40	2.60	1.10
Dureza	mg CO3 Ca/l		17	216	80.40	81.50
Hierro total	µg/l	50	N/D	1421	18514	8093
Cinc total	µg/l	3	N/D	1360	49.20	50
Manganeso total	µg/l	1	N/D	29609	270	91.40
Cobre total	µg/l	0.30	N/D	911	35.90	12.50
Plomo total	µg/l	0.20	N/D	1064	32.60	60.30
Cadmio total	µg/l	0.04	N/D	3.87	< LC = 0.10	< LC = 0.10
Cromo total	µg/l	0.60	N/D	712	14.80	5.80
Arsénico Total	µg/l	0.30	N/D	85.30	4.40	2.70
Mercurio total	µg/l	0.06	N/D	0.50	N/D	N/D
Níquel total	µg/l	1	N/D	488	9.10	5.30
1,2,3,6 tetrahidroftalimida	µg/l	0.05	N/D	N/D	N/D	N/D
Acetoclor	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Aclonifen	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Alaclor	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Azaconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Azinfosetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D

Bifentrin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Boscalid	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Bromocyclen	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Bromofosetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Bromofosmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Bromopropilato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Bupirimato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Buprofezin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Captan	µg/l	0.05	N/D	N/D	N/D	N/D
Carbofenotion	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cianofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cifluthrina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cihalotrina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cipermetrina	µg/l	0.02	N/D	N/D	N/D	N/D
Ciproconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clomazona	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clordano	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorfenson	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorfenvinfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorobencilato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cloroneb	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorpirifosetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorpirifosmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clorprofam	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Clortaldimetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Cyprodinil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
DDT	µg/l	0.0005	N/D	N/D	N/D	N/D
Deltametrina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Diazinon	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Diclobenil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Diclobutrazol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Diclofention	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Dicloran	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Dicofol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Dieldrin	µg/l	0.02	N/D	N/D	N/D	N/D
Difenamid	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Difenilamina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Dimetenamida	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Endosulfano	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Endrino	µg/l	0.001	N/D	N/D	N/D	N/D
EPN	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Epoxiconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Etaconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Etion	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Etofenprox	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D

Etoprosfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Etrimfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenarimol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenazaquin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenitrotion	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenpropatrina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenson	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fentoato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fenvalerato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Flucitrinato	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fludioxonil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Flusilasole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Flutriafol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fosalone	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Fosmet	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Furalaxil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
HCH	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Heptacloro	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Heptenofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Hexaclorobenceno	µg/l	0.003	N/D	N/D	N/D	N/D
Hexaconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Iprobenfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Iprodione	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Isofenfosetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Isofenfosmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Izasofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Leptofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Lindano	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Melation	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Metalaxil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Metidation	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Metilazinfos	µg/l	0.003	N/D	N/D	N/D	N/D
Metolaclor	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Metoxicloro	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Metribuzin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Mevinfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Miclobutanil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Mirex	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Napropamida	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Nitrapirin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Nitrofeno	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Oxadiazon	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Oxifluorfen	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Parationetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Parationmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D

Penconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pendimetalin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pentacloroanisol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Permetrina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pertane	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pirazofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Piridafention	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pirifenox	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Pirimmifosmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Procimidone	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Profam	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Profenofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Profluralina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Propacloro	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Propetamfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Propiconazol	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Quinalfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Quinoxifen	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Quintoceno	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tebuconazole	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tebufenpirad	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tecnazeno	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Terbacilo	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tetraclorvinfos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tetradifon	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Tolclosfosmetil	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Triazofos	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Trifluralina	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
Vinclozolin	µg/l	0.005	N/D	N/D	N/D	N/D
o,p DDD	µg/l	0.0005	N/D	N/D	N/D	N/D
o,p DDE	µg/l	0.0005	N/D	N/D	N/D	N/D
o-fenilfenol	µg/l	0.03	N/D	N/D	N/D	N/D
tau-fluvalinato	µg/l	0.0005	N/D	N/D	N/D	N/D

Anexo II

Métodos de análisis de referencia

Propiedad	Método de análisis
Color	Comparación visual (método Pt-Co)
Turbiedad	Nefelométrico
Olor	Prueba de umbral de olor

Sabor	Prueba de umbral de sabor
pH	Electrométrico
Dureza	Titulométrico con EDTA
Sólidos disueltos totales	Por evaporación, secado a 106 °C
Temperatura	Con termómetro Celcius de muercurio
Cloruro	Argentométrico (método de Mohr)
Fluoruro	Colorimétrico SPADNS Electrodo selectivo de iones
Nitrito	Colorimétrico
Nitrato	Espectofotométrico ultravioleta selectivo
Sulfato	Gravimétrico con combustión de residuos
Magnesio	Cálculo por diferencia entre dureza total y dureza cálcica
Sodio	Espectometría de emisión de llama Espectometría de absorción atómica, por llama Espectometría de absorción atómica, con horno de grafito
Arsénico	Espectometría de absorción atómica, con generación de hidruros Espectometría de absorción atómica, por horno de grafito
Plomo	Espectometría de absorción atómica, por llama Espectometría de absorción atómica, por horno de grafito

Anexo III: Listado de abreviaturas y definiciones

A1-C: La sigla A corresponde a horizonte A, el cual es un horizonte formado en superficie con mayor porcentaje de materia orgánica que los horizontes situados debajo. El subíndice 1 refiere a que es el primer horizonte A debajo de la superficie. La sigla C corresponde a horizonte C, el cual es un horizonte formado por el material original y que no posee desarrollo de la estructura edáfica. Cuando se combinan distintas siglas como por ejemplo AC, son

horizontes de transición y se presentan cuando el límite entre los horizontes es muy difuso, existiendo una capa ancha de transición con características intermedias entre los dos horizontes.

Anexo IV

A continuación, se adjunta manual sobre el sistema de información geográfico QGIS:https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/training_manual/ (última visita 2/12/2019).

Referencias

[1] Tchobanouglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos.* McGraw Hill.

[2] Buch, T. (2013). *Desarrollo y ecopolitica.* Buenos Aires: Lenguaje claro.

[3] Ezeah, C., Fazakerley, J., & Roberts, C. (2013). Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. *Waste Management*, 2509-2519.

[4] Foster, S., Lawrence, A., & Morris, B. (1998). *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano. Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias.* Washington, D.C.: Banco Mundial.

[5] Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). *Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales.* Washington, D.C.: Banco Mundial.

[6] Ministerio de Salud y Ambiente. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2005). *Estrategia nacional para la gestión integral de residuos sólidos urbanos.* Argentina.

[7] D'hers, V. (2013). Asentamientos sobre basurales a cielo abierto. Explotación, segregación y expulsión en el manejo de los residuos. *DELOS. Desarrollo local sostenible, 16*.

[8] Gómez Orea, D. (2004). *Recuperación de espacios degradados.* Madrid: Mundi-Prensa.

[9] ISWA . (2010). *Landfill operational guidelines* (2nd ed.).

[10] Pereyra, F., Lara, J., & Celli, A. (2010). *Estudio geocientífico aplicado al ordenamiento territorial.* Servicio Geológico Minero Argentino.

[11] Pérez, H. (2007). *Plan estratégico de desarrollo territorial.* Junín de los Andes: Foro latinoamericano de ciencias ambientales, consejo federal de inversiones y municipalidad de Junín de los Andes.

[12] Ferrer, J., Irisarri, J., & Mendia, J. (2006). *Suelos de la provincia del Neuquén.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

[13] Office of enviromental enforcement. (2003). *Landfill monitoring, 2nd edition.* Estados Unidos.

[14] Enviromental Protection Agency. (2018). Municipal Solid Waste. Report on the enviroment.

[15] Agency for toxic substances and disease registry. (2001). *Landfill gas premier. An overview for environmental health professionals.*

[16] Sáenz Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería.* México, D.F.: Alfaomega.

[17] Servicios geológicos y ambientales. Geocomahue. (2015). *Prospección geoeléctrica de aguas subterráneas.* Junín de los Andes.

[18] Robertson, P., Coleman, D., Bledsoe, C., & Sollins, P. (1999). *Standard soil methods for long-term ecological research.* Estados Unidos: Oxford University Press.

[19] Canadian society of soil science. (2008). *Soil sampling and methods of analysis.*Taylor & Francis Group.

[20] Skoog, D., Holler, J., & Nieman, T. (2001). *Principios de análisis instrumental.* Madrid: McGraw-Hill.

[21] Municipalidad de Junín de los Andes. (n.d.). *Estimación volumétrica de residuos urbanos.* Junín de los Andes: Subsecretaria de ambiente.

[22] Enviromental Protection Agency. (2016). *Emission guidelines, compliance times and standards of performance for municipal solid waste landfills; final rules.*Estados Unidos.

[23] Autoridad interjurisdiccional de las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro. (1996). *Propuesta de niveles guías de calidad para las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.*

[24] World health organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition.*

[25] Consejo federal de entidades de servicios sanitarios. (1996). *Norma de calidad para el agua de bebida de suministro público.* Buenos Aires.

[26] Angelone, S., Garibay, M. T., & Cauhapé Casaux, M. (2006). *Permeabilidad de suelos.* Universidad Nacional de Rosario.

[27] Garrido Vergara, E. (2008). *Metodología de diagnóstico ambiental de vertederos, adaptación para su informatización utilizando técnicas difusas y su aplicación en vertederos de andalucía.* Granada: Universidad de Granada.

[28] Lobo García De Cortázar, A., Szantó Narea, M., & Llamas, S. (2016). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en iberoamérica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 123-139.

[29] Municipalidad de San Carlos de Bariloche. (2008). *Plan de gestión integral de residuos sólidos urbanos.*San Carlos de Bariloche.

[30] Markert, B. (1993). *Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment.*Alemania: VCH.

[31] Jerez Chaverri, J. A. (2013). *Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación.* Universidad de Costa Rica.