



Facultad de Ingeniería

“Diseño y proyección de un Relleno Sanitario para el partido de Lobería, provincia de Buenos Aires”

Alumnas: Ledesma, Camila.
Jorge, Luana.

Director: Sollazzo, Mariano.

Codirector: Caparrós, Simón.

Agradecimientos

A mi mamá Marisa y mi papá Jorge por su esfuerzo para que pueda realizar mis estudios, por su apoyo incondicional y por el amor que me brindan. Sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis hermanos Santi y Delfi por su apoyo y cariño. A mi hermano perruno, Conguito de mi corazón. Son incondicionales para mí.

A toda mi familia y principalmente a mis abuelos, que hoy me guían desde el cielo pero que siempre confiaron en mí.

A mis amigas de toda la vida y a los amigos que me dio la facultad, todo es más fácil cuando uno está acompañado de buenas amistades.

Por último a Lu, por transitar y finalizar todos estos años de estudio juntas.

Cami.

Quiero agradecer principalmente a mi mamá, Ileana, a mi papá, Martín, y a mi hermana, Emilia, por ser mi soporte y apoyo incondicional, por haber puesto todo su amor para que yo hoy pueda terminar mis estudios y ser la persona que me convertí.

A mis abuelas, abuelo, tíos, tías, mis mascotas y primos por acompañarme en cada momento de forma incondicional, pero principalmente a mi abuela Martha, la cual siempre apoyo y prendió una velita por mi éxito en los estudios.

A mis amigas, amigos, compañeros, colegas, profesores y todas aquellas personas que me acompañaron y dieron herramientas para formarme desde lo profesional y personal.

Además agradecer a mis compañeros de trabajo, principalmente a Josefina y Bárbara por ser pilares en mi desarrollo como profesional.

Y por último agradecer, a Cami mi amiga y colega, con la cual comenzamos y finalizamos este camino juntas.

Luana.

Ambas agradecemos a nuestro director Mariano Sollazzo y codirector Simón Caparrós por su ayuda y acompañamiento para la elaboración de este proyecto final.

A Héctor Massone por facilitarnos datos bibliográficos esenciales para la realización del proyecto.

A la Municipalidad de Lobería que nos abrió sus puertas y nos brindó información valiosa para poder diseñar el Relleno Sanitario en la localidad.

A María del Rosario Iturralde, del INTA, que con mucha amabilidad nos brindó información del área de estudio y nos ayudó a procesar y analizar los datos.

Claudia Baltar por darnos acceso a información bibliográfica.

A los profesores, autoridades académicas y compañeros de la facultad por todos los años compartidos y las experiencias vividas.

Índice

Introducción	10
Capítulo I: Generalidades	14
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Descripción del área de estudio	14
1.2.2 Antecedentes en la Gestión de los RSU en Lobería	22
1.2.2.1 Disposición inicial	22
1.2.2.2 Recolección y transporte	22
1.2.2.2 Disposición final.....	25
Capítulo 2: Marco Regulatorio	35
2.1 Constitución Nacional	35
2.2 Leyes nacionales	35
2.3 Leyes provinciales (Provincia de Buenos Aires)	36
2.4 Ordenanzas municipales.....	38
Capítulo 3: Marco teórico.....	39
3.1 ¿Qué es un Relleno Sanitario?	39
3.2 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario	39
3.3 Tipo de Rellenos Sanitarios	41
3.3.1 Según su forma de construcción.....	41
3.3.2 Según el tipo de residuo dispuesto en el Relleno.....	43
3.4 Criterio de admisión de residuos en el Relleno Sanitario	44
3.5 Prácticas inadecuadas en la disposición final de los RSU	45
3.6 Funcionamiento del Relleno Sanitario	46
3.7 Sistemas de tratamiento de gases y líquidos lixiviados en Rellenos Sanitarios.....	47
3.7.1 Líquidos Lixiviados	47
3.7.2 Sistemas de tratamiento de gases.....	55
3.8 Controles de funcionamiento del Relleno Sanitario.....	62
Capítulo 4. Metodología	65
4.1 Selección del método de Relleno Sanitario	65
4.2 Caracterización y cuantificación de los residuos de la localidad de Lobería.....	65
4.3 Proyección demográfica y cálculo del área mínima necesaria.	67
4.3.1 Proyección demográfica en el partido de Lobería	67
4.3.2 Cálculo estimado del área mínima necesaria para el emplazamiento del Relleno Sanitario en el partido de Lobería.	72

4.3.3 Diseño de módulo y celdas	82
4.4 Sistemas de Tratamiento	84
4.4.1 Sistema de Tratamiento de Lixiviados	84
4.4.2 Sistema de Tratamiento de Gases.....	96
Capítulo 5: Aspectos complementarios al diseño del Relleno Sanitario.....	98
5.1 Impermeabilización del suelo	98
5.2 Áreas complementarias.....	101
5.3 Seguridad e Higiene en el trabajo	101
Capítulo 6: Comparación con implementación de PGIRSU.....	104
Capítulo 7: Resultados	106
6.1 Resultados.....	106
Capítulo 8: Conclusiones.....	110
Bibliografía	111

Índice de imágenes

Imagen 1: “Ubicación del BCA y Planta de separación de RSU.” Extraída de Google Earth.	12
Imagen 2: Distancia recorrida por los camiones desde el centro de la ciudad de Lobería hasta el basural a cielo abierto.	24
Imagen 3: “Puntos verdes” en la ciudad de Lobería.	25
Imagen 4: Ubicación del basural a cielo abierto en la ciudad de Lobería.	26
Imagen 5: Imagen satelital del basural a cielo abierto de la ciudad de Lobería.	27
Imagen 6: Arroyo los Huesos. Fuente: Municipalidad de Lobería.....	28
Imagen 7: materiales reciclables compactados luego de su clasificación en la Planta de separación de RSU. Fuente: Municipalidad de Lobería.....	29
Imagen 8: Imagen aérea de los boxes de separación de materiales recuperados. Fuente: Municipalidad de Lobería.	30
Imagen 9: Condiciones del almacenamiento en el CAT de envases vacíos de fitosanitarios. Fuente: Municipalidad de Lobería.....	30
Imagen 10: Imagen del ingreso al CAT Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.	31
Imagen 11: Fotografía aérea de las condiciones previas al saneamiento del basural a cielo abierto en la localidad de Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.	32
Imagen 12: Fotografía del montículo de residuos en el basural a cielo abierto previo a su saneamiento en la localidad de Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.....	32
Imagen 13: Fotografía de la operatoria del basural luego de su saneamiento y reacondicionamiento. Fuente: Municipalidad de Lobería, 2022	33
Imagen 14: Antes y después del “Paso Hondo”. Fuente: Municipalidad de Lobería.....	33
Imagen 15: Fotos actuales del “Paso Hondo”. Fuente: Municipalidad de Lobería.	34

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: “Partido de Lobería”. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional	15
Ilustración 2: Red Vial. Rutas nacionales, provinciales y red ferroviaria. Lobería. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional.....	16
Ilustración 3: “Principales actividades económicas en la localidad de Lobería” Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas, 2010	17
Ilustración 4: Cuenca Hidrográfica Río Quequén Grande y modelo digital de elevación. Fuente: Dirección provincial de Hidráulica.	20
Ilustración 5: Espesor de la zona no saturada de la cuenca hidrográfica Río Quequén Grande. Fuente: Centro de geología de costas y del cuaternario, U.N de Mar del Plata.	20
Ilustración 6: Red hidrológica del Partido de Lobería (Pcia. de Buenos Aires)	21
Ilustración 7: Horario de recolección de residuos domiciliarios en la ciudad de Lobería.	23
Ilustración 8: horarios de recolección de los Residuos Secos Valorizables en la ciudad de Lobería.....	24
Ilustración 9: “Método de trinchera o zanja para la construcción de un Relleno Sanitario”	41
Ilustración 10: “Método de área para la construcción de un Relleno Sanitario” Fuente: Jaramillo, J. & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales”	42
Ilustración 11: “Método Mixto para la construcción de un Relleno Sanitario”	43
Ilustración 12: Sistema de tratamiento primario: Tratamiento biológico por lodos activados.	52
Ilustración 13: Variación en la composición del biogás de un Relleno Sanitario	57
Ilustración 14: Sistema de captación pasivo de gases en Rellenos Sanitarios	59
Ilustración 15: Composición de los RSU en Argentina. Fuente: Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. (2010)	66
Ilustración 16: Disposición del módulo, celdas y áreas complementarias del Relleno Sanitario	83
Ilustración 17: Ubicación de los pluviómetros. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INTA	85
Ilustración 18: Sistema de tratamiento de lixiviados propuesto	93
Ilustración 19: Sedimentador de tipo lagunar	94
Ilustración 20: Reactor de lodos activados.....	95
Ilustración 21: Sistema de captación pasivo de gases en Rellenos Sanitarios.	97
Ilustración 22: Esquema general de impermeabilización de Rellenos Sanitarios	99

Índice de tablas

Tabla 1: Composición de los lixiviados en función de la vida del Relleno Sanitario	48
Tabla 2: Principales diferencias entre los modelos de cálculo de lixiviados en Rellenos Sanitarios. Fuente: Montejo, 2010	55
Tabla 3: Potencial de Calentamiento Global	58
Tabla 4: Cuantificación de los RSU de la localidad de Lobería. Fuente: Estrategia Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2012).....	67
Tabla 5: Proyección demográfica. Partido de Lobería (2027-2057).....	70
Tabla 6: Datos para el cálculo del área necesaria.....	72
Tabla 7: Cálculo de la generación de residuos per cápita para el partido de Lobería (Kg/habitante día)	74
Tabla 8: Cálculo de la cantidad de residuos generados	75
Tabla 9: Volumen de residuos generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario.....	76
Tabla 10: Cálculo del material de cobertura necesario para los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario.....	77
Tabla 11: Volumen de los residuos generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario.....	79
Tabla 12: Área necesaria para la instalación del Relleno Sanitario sin Programa de Gestión de RSU	81
Tabla 13: Ubicación de los pluviómetros en el partido de Lobería.....	84
Tabla 14: Precipitaciones registradas en el partido de Lobería. (2005-2023). Fuente: INTA.	86
Tabla 15: Promedio mensual de precipitaciones en el Partido de Lobería (2005-2023)	86
Tabla 16: Cálculo de lixiviados generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario.....	88
Tabla 17: Parámetros adoptados para el diseño de la planta de tratamiento de lixiviados. Fuente: G. Tchobanoglous et al, 1994.....	90
Tabla 18: Parámetro de calidad de las descargas límite admisibles. Res. N°336/03.....	91
Tabla 19: Características exigibles a láminas PEAD de impermeabilización	100
Tabla 20: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Con PGIRSU).	105
Tabla 21: Dimensiones mínimas del RS para una vida útil de 30 años	106
Tabla 22: Diseño del área operativa del RS para una vida útil de 30 años.....	106
Tabla 23: Diseño de sistemas de tratamiento del RS para una vida útil de 30 años.....	107
Tabla 24: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Analizando la variable “superficie”)	108
Tabla 25: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Analizando la variable “tiempo”)	109

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Método suizo para cálculo de lixiviados.....	54
Ecuación 2: Método de combustión del metano.....	59
Ecuación 3: Cálculo de tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal.....	68
Ecuación 4: Tasa media anual de variación de la población del último período censal.....	68
Ecuación 5 estimaciones de población existente a la fecha de ejecución del proyecto.....	68
Ecuación 6 estimaciones de población al año “n”.....	68
Ecuación 7: Estimaciones de población existente.....	68
Ecuación 8: Cálculo de la generación per cápita de Residuos.....	74
Ecuación 9: Cálculo de la generación diaria de residuos.....	75
Ecuación 10: Cálculo de volumen diario de residuos.....	76
Ecuación 11: Cálculo de volumen anual compactado de residuos.....	76
Ecuación 12: Estimación del material de cobertura necesario.....	77
Ecuación 13: Cálculo del volumen de residuos a disponer.....	78
Ecuación 14: Cálculo del área operativa necesaria del relleno sanitario.....	80
Ecuación 15: Cálculo del área total necesaria del relleno sanitario.....	80
Ecuación 16: Área de influencia de la chimenea.....	96
Ecuación 17: Cálculo de la cantidad de chimeneas necesarias.....	96

Índice de anexos

Anexo 1: Tabla de cálculo para el diseño del relleno sanitario sin plan de gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos del partido de Lobería..... 114

Anexo 2: Tabla de cálculo para el diseño del relleno sanitario con plan de gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos del partido de Lobería..... 118

Introducción

El crecimiento demográfico, sumado al alto nivel de consumismo y al elevado grado de industrialización actual, ha generado un problema crítico: ¿Cómo gestionar los residuos generados?

Generalmente se buscan lugares arbitrarios, seleccionados socialmente y sin ningún tipo de medida de seguridad para su disposición final. A estos se los conoce como basurales a cielo abierto, sitios destinados a la acumulación de residuos, fuentes de infecciones y de afectación de las diversas matrices ambientales.

Se considera como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) a los residuos que se generan en una zona urbana, incluyendo los residuos domiciliarios, comerciales, industriales, de servicios y de la construcción. Mientras que los Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables (RSDyA) son los residuos generados en las viviendas y hogares, es decir, los residuos que se producen en las actividades cotidianas de las personas en sus hogares.

Los desafíos asociados con el manejo de RSU en la sociedad de hoy día son complejos debido a la cantidad, origen, el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, limitaciones de recursos asociados al transporte de los mismos, las limitaciones emergentes de energía, entre otros.

El problema del deterioro medioambiental generado por la incorrecta disposición de los residuos es muy común y también se ve agravado por las condiciones actuales, el aumento de las precipitaciones, fuertes vientos y otras variables resultantes del cambio climático; facilitando así la llegada de contaminantes a las diferentes matrices ambientales, por ejemplo, a través de procesos como infiltración, el escurrimiento y volatilización de muchos compuestos nocivos.

Se conoce que, de los desechos generados por la población, una fracción de los mismos tiene la propiedad de ser revalorizados a través de su reutilización o reciclado, estos son conocidos como "Residuos Secos Valorizables". Pero la fracción sobrante, denominada "Basura", debe ser dispuesta de forma correcta y para lograr esto se plantea la implementación de un Relleno Sanitario.

En el presente proyecto se busca diseñar un centro de Disposición Final de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables. El mismo será proyectado para el partido de Lobería, y tiene como objeto brindar una solución ambientalmente viable y socialmente compatible a la situación actual del partido.

Desde el punto de vista ecológico, esta región, podrá realzar sus valores ambientales, principalmente como comunidades que mantienen una fluida actividad turística y una intensa actividad agroindustrial.

Desde lo social, el Centro permitirá generar empleos en una actividad tan importante como la ambiental, principalmente en la operación de la Planta de Reciclado y la reinserción social, de gran parte de los operadores marginales que actualmente realizan tareas de recupero, en calles de la ciudad de Lobería.

Desde lo tecnológico, el Centro, representará un ejemplo importante en la Gestión de Residuos, tanto por la calidad de la ingeniería aplicada en el Relleno Sanitario, como por la inserción de un Programa Permanente de Minimización y Reciclado de Residuos.

El Relleno Sanitario, preverá la Captación y Tratamiento de Lixiviados y Gases y un completo sistema de Control Ambiental, que conjuntamente con el diseño de impermeabilización y las pautas adoptadas para su operación, garantizan una alta confiabilidad y seguridad ambiental.

Alcance del proyecto

El diseño y la planificación de un Relleno Sanitario son aspectos cruciales para asegurar una gestión adecuada de los RSU, minimizar los impactos ambientales y utilizar eficientemente los recursos disponibles.

Para llevar a cabo este proyecto, es probable que se realicen estudios previos de la localidad donde se busca realizar el proyecto, en este caso, el Relleno Sanitario será proyectado y diseñado para el partido de Lobería, provincia de Buenos Aires.

El partido de Lobería cuenta con 18.234 habitantes (INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas 2022). La cantidad de residentes disminuye en periodos académicos debido a la emigración de estudiantes, ya que la ciudad no dispone de una amplia variedad de carreras en sus centros de formación profesional, y aumentando en el receso de verano debido a afluencias turísticas a destinos como Arenas Verdes, Paraje “Las Cascadas”, entre otros.

Actualmente Lobería cuenta con un sistema de recolección diario de RSDyA de forma diferenciada. Los días jueves se recolectan únicamente los Residuos Secos Valorizables, los cuales deben ser preferentemente depositados en bolsas verdes. Estos son transportados a la planta de separación de residuos, donde, aquellos que no son susceptibles de recuperación son dispuestos en el basural a cielo abierto, ubicado a 350 metros de la planta de separación y separado de la misma por un curso de agua superficial, el arroyo “Los huesos”, ubicado a menos de 80 metros de la Planta de separación de RSU y a menos de 200 metros del basural municipal a cielo abierto, tal como se observa en la imagen 1.



Imagen 1: "Ubicación del BCA y Planta de separación de RSU." Extraída de Google Earth.

Esta forma de recolección ocasiona que la recuperación de residuos sea ineficiente ya que los materiales que podrían ser revalorizados se ven afectados por líquidos lixiviados, restos de comida, entre otros.

Teniendo en cuenta la necesidad de optar por un método de disposición final de los RSU, el presente trabajo se basará en determinar las condiciones mínimas con las cuales deberá contar el Relleno Sanitario para alcanzar, al menos, una vida útil de 30 años. Este análisis de las condiciones básicas con la que se diseñará el Relleno Sanitario, requerirá una evaluación del tipo de Relleno a implementar, caracterización de los RSU, posibles tratamientos de lixiviados y gases, proyección demográfica y otros estudios que acompañados con un trabajo probabilístico nos permita determinar el diseño de la obra mínima para cumplir con el objetivo de la vida útil mencionada anteriormente.

Capítulo I: Generalidades

1.1 Objetivos

Objetivo general

Proyectar y diseñar un Relleno Sanitario para el partido de Lobería.

Objetivos específicos

- Determinar el tipo de Relleno Sanitario más apropiado según las características topográficas de la zona.
- Analizar diferentes aspectos como la cuantificación, composición y tipo de segregación actual de los Residuos Sólidos Urbanos en el partido de Lobería.
- Realizar la proyección demográfica del partido de Lobería para los 30 años estimados de vida útil del Relleno Sanitario.
- Diseñar las características e instalaciones mínimas que deberá tener el Relleno Sanitario de acuerdo con la proyección estimada.
- Comparar la vida útil del Relleno Sanitario con y sin la implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

1.2 Descripción del área de estudio

Comprender la problemática generada por la disposición final de los RSU en el mundo, pero particularmente en Argentina y en municipios pequeños como lo es la localidad de Lobería permite contextualizar y dar un marco de referencia a la hora de trabajar en ello.

1.2.1 Área de Estudio

El área de estudio dentro de la cual se enmarca el presente proyecto es la localidad de Lobería, la misma está situada al sureste de la Provincia de Buenos Aires, y sus límites geográficos más importantes son: al norte las Sierras del Sistema de Tandilia y al sur el Océano Atlántico. Tiene una superficie total de 475.500 hectáreas, limitando al norte con el Partido Tandil, al este con los Partidos de Balcarce y General Alvarado y al oeste con el Partido de Necochea. La ciudad cabecera, Lobería, se encuentra sobre la Ruta Provincial N° 227, a 55 km del Océano, a 40 km de Necochea y a 100 km de la ciudad de Tandil. La población total del Partido es de 18.234 habitantes (INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas 2022).

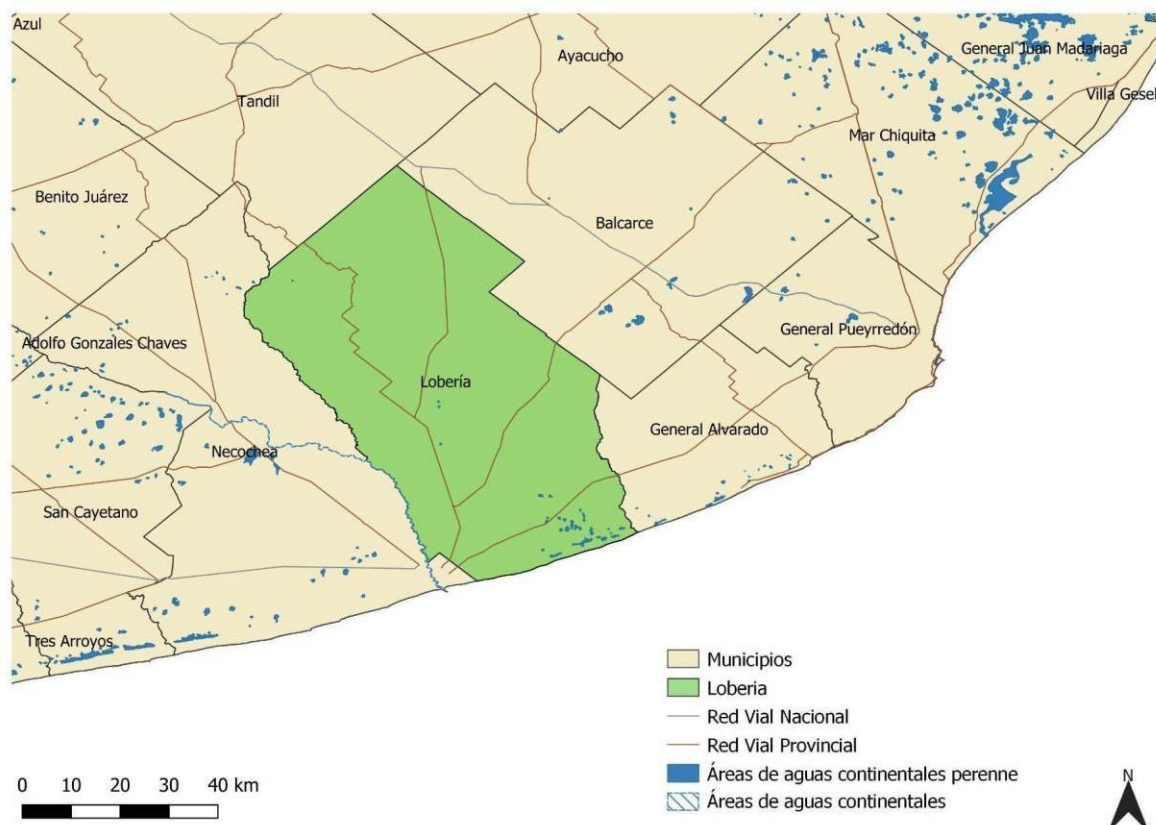


Ilustración 1: "Partido de Lobería". Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional.

A la hora de describir el área de estudio se deben tener en cuenta factores indispensables para la instalación de un Relleno Sanitario como lo son las condiciones del medio natural, las características socioeconómicas de la población, la red de infraestructura y servicios, entre otros factores que influyen en el diseño, proyección e instalación de una obra de ingeniería como lo es un Relleno Sanitario.

Por este motivo se describen brevemente a continuación, algunas de las características más relevantes de la localidad de Lobería

Infraestructura y red vial

Las condiciones de conectividad de un territorio están constituidas por las infraestructuras viales, las diferentes modalidades de transporte en sus tres grandes divisiones (tierra, agua y aire) y sus características particulares (pasajeros y carga), las infraestructuras proveedoras de energía (electricidad, gas, etc.) para la producción y el consumo domiciliario y por último las infraestructuras que posibilitan los flujos de información (telecomunicaciones en general).

Si bien el territorio del municipio de Lobería no es atravesado por ninguna ruta nacional, se encuentra en el área de influencia de las Rutas Nacional No 3, Ruta Nacional No 226 y la Ruta Nacional No 228 que cierra el circuito hasta Necochea. A su vez, las conexiones viales se dan por medio de las rutas provinciales y los caminos locales. Se

destaca la Ruta Provincial No 227 como eje estructurador del territorio, atravesándolo en su totalidad en la dirección Norte-Sur.

Otra vía importante para la localidad es la Ruta Provincial N° 55, que realiza la conexión con la ciudad de Balcarce hasta Pieres. La Ruta Provincial N° 88 conecta Mar del Plata y Necochea. La Ruta Provincial N° 30 completa el elenco de las rutas provinciales que atraviesan el territorio del municipio y es una antigua conexión entre Tandil y Lobería. Sobre esta ruta encontramos las localidades de San Manuel, Licenciado Matienzo y El Lenguaraz.

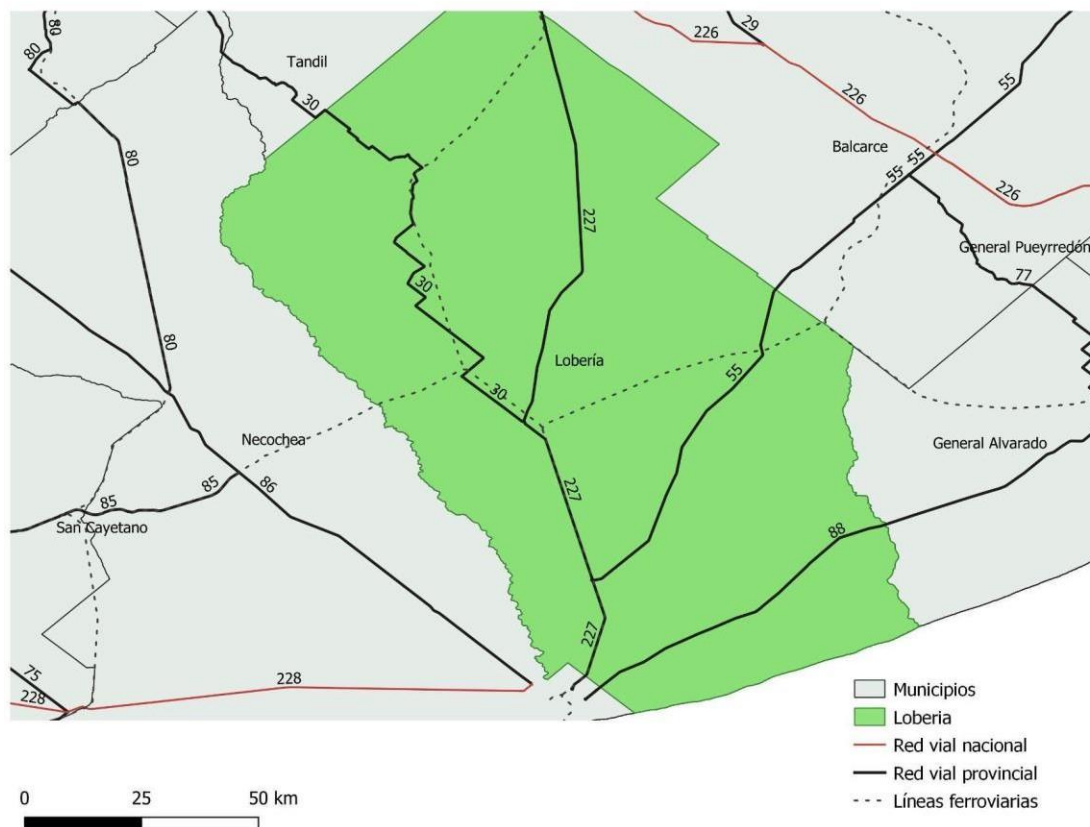


Ilustración 2: Red Vial. Rutas nacionales, provinciales y red ferroviaria. Lobería. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional.

Tener en cuenta la infraestructura vial, así como también el estado de la misma es indispensable por diversos motivos, en primer lugar, porque determina la posibilidad de transportar los materiales y elementos necesarios para la construcción del Relleno Sanitario, además facilita la buena conexión con las ciudades donde se envían los materiales recuperables, entre otros.

A su vez, se debe considerar el estado de las calles propias de la localidad ya que la recolección y el transporte de los RSU constituyen etapas fundamentales de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) y son estas condiciones junto con la planificación estratégica de las rutas de recolección las que facilitan los procesos mencionados anteriormente.

Caracterización sociodemográfica

Debido a la falta de datos del último censo nacional, realizado en el año 2022, se tomarán como referencia los datos obtenidos en el censo realizado en el año 2010 para la caracterización sociodemográfica del partido de Lobería.

En este sentido, de acuerdo con el Censo Nacional de Población realizado en Argentina en el año 2010, Lobería contaba con una población de 17.494 habitantes.

En cuanto a la distribución de la población por área de residencia, el 70,3% de las personas (12.301 habitantes) vivían en área urbana, mientras que el restante 29,7% se distribuía entre 3.466 personas (19,8%) que residían en un área rural dispersa y 1.727 personas (9,9%) que lo hacían en un área rural agrupada.

Principales actividades económicas

La distribución de la Población Económicamente Activa (PEA) por rama de actividad económica agregada para la ciudad de Lobería según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas llevado a cabo en Argentina en el año 2010, se muestra a continuación en la ilustración N°3.



Ilustración 3: "Principales actividades económicas en la localidad de Lobería" Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INDEC, Censo Nacional de Población, hogares y viviendas, 2010.

Se puede destacar de la ilustración N° 3 que Lobería cuenta con un grado de industrialización muy bajo, siendo la base de la economía de esta localidad las actividades agrícolas y ganaderas. Esto influye en el tipo de residuos que se generan, siendo así la fracción de residuos orgánicos la que predomina en esta localidad.

Caracterización ambiental:

→ Clima:

Conocer las variables predominantes del sistema climático del sitio donde se emplazará el Relleno Sanitario es sumamente importante ya que éstas influyen directa e indirectamente:

En términos generales, las precipitaciones, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento son los principales datos climatológicos que se deben recopilar para establecer las especificaciones de diseño de la infraestructura del Relleno Sanitario y tener un mejor conocimiento de las condiciones a las que estará sometida la obra en general. (Jaramillo J., 2002)

El clima característico de Lobería es templado de transición con influencia oceánica. Presenta un régimen de lluvias a lo largo de todo el año, más intensas en primavera – verano. La humedad relativa de la zona es de 69%.

Las temperaturas máximas oscilan entre los 20° C y los 24° C en promedio, y las mínimas entre 6 y 10° C.

La precipitación media anual se encuentra en el rango de los 800 mm, siendo las máximas en marzo (promedio 90 mm mensual) y las mínimas en agosto (promedio 40 mm mensual).

Los vientos alcanzan sus mayores velocidades promedio durante los meses de primavera, sin embargo, las mayores fluctuaciones y ráfagas ocurren durante el otoño/invierno. Los vientos más frecuentes son los del norte, con una velocidad media de 9 Km/h y le siguen los del sur y este con velocidades de 20 y 17 km/h respectivamente.

→ Geología

Si bien el presente trabajo no determinará el sitio de emplazamiento del Relleno Sanitario, es importante caracterizar geológicamente la región donde se instalará el Relleno Sanitario para conocer los componentes del suelo y estructura geológica del área, así como también identificar la presencia de rocas permeables, fallas geológicas u otros elementos que puedan afectar la estabilidad del Relleno Sanitario. Del mismo modo, conocer estas características será útil a la hora de analizar la impermeabilización de la base del Relleno Sanitario, controlar la filtración de lixiviados, y adecuar un sistema de drenaje de evacuación de las aguas de precipitación pluvial.

En este sentido, el partido de Lobería geomorfológicamente está constituido por una llanura loésica suavemente drenada hacia el Océano Atlántico, comprendida entre los dos cordones serranos (Tandilia y Ventania).

Los suelos son Argiudoles. Debe agregarse la baja fertilidad química, en particular en materia de fósforo. Ha sufrido procesos erosivos, tanto por acción del viento como del agua, los cuales han afectado alrededor de un 25 % de su superficie.

• Hidrología e hidrogeología

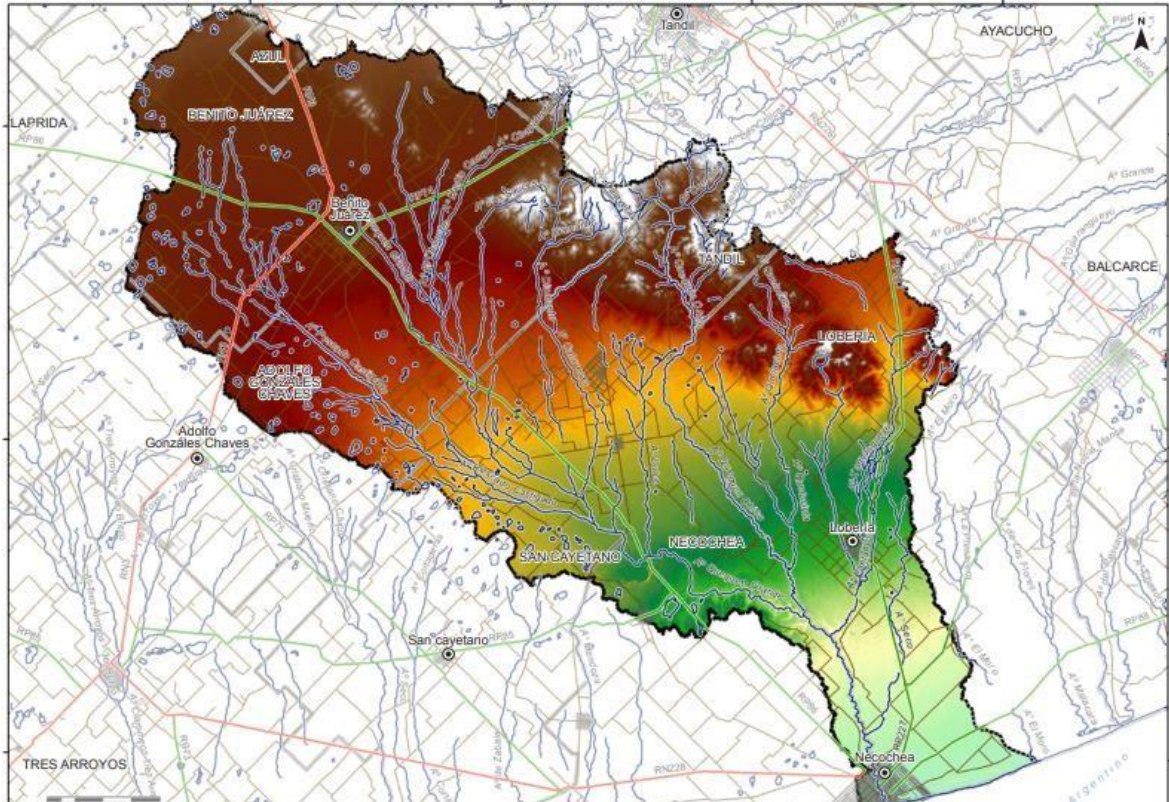
Debido a que una parte de los problemas causados por la disposición inadecuada de desechos sólidos son consecuencia de la infiltración de los líquidos lixiviados y el depósito de desechos en cuerpos de agua superficial; es muy importante identificar los cursos de agua del área de estudio para que el sitio seleccionado se encuentre lo más lejos posible de los mismos y así evitar posibles impactos asociados a la infiltración de lixiviados en el agua

subterránea. En este sentido, existen diferentes estudios que determinan las distancias mínimas recomendadas de localización de Rellenos Sanitarios a cursos de agua subterráneos y superficiales para minimizar los potenciales riesgos e impactos. Los mismos son mencionados en el Marco regulatorio del presente trabajo.

En este sentido, la hidrogeología de la región aporta información relevante para comprender la interacción entre el Relleno Sanitario y las aguas subterráneas. Esto incluye determinar la dirección y la velocidad del flujo de agua subterránea, así como la existencia de acuíferos que puedan ser afectados por la filtración de lixiviados.

El partido de Lobería se encuentra ubicado sobre la cuenca del río Quequén grande, la cual ocupa una superficie del orden de los 10.000 Km². Tal como se mencionó anteriormente, la misma se encuentra en la región geográfica denominada Llanura Interserrana bonaerense, una amplia planicie comprendida entre los dos elementos estructurales más destacados de la provincia, los sistemas de Tandilia y Ventania.

El espesor de la zona no saturada de la cuenca del río Quequén grande se puede observar en la ilustración N° 4 Esta es la capa de suelo por encima del nivel freático (el nivel en el que los poros del suelo están completamente llenos de agua). En esta zona, los poros del suelo contienen tanto aire como agua, y el agua no ocupa todos los espacios disponibles. El espesor de la zona no saturada es entonces, la distancia vertical entre la superficie del suelo y el nivel freático. En el caso del partido de Lobería se encuentra entre los 5 metros y menos de 1,5 metros, motivo por el cual el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, aumentando la vulnerabilidad del acuífero.



Referencias

-  Cuenca
-  Red Hidrográfica
-  Partidos
-  Cabecera de Partido
-  Ruta Nacional
-  Ruta Provincial
-  Camino Vecinal

Modelo Digital de Elevación msnm

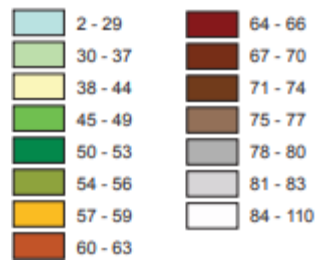


Ilustración 4: Cuenca Hidrográfica Río Quequén Grande y modelo digital de elevación. Fuente: Dirección provincial de Hidráulica.

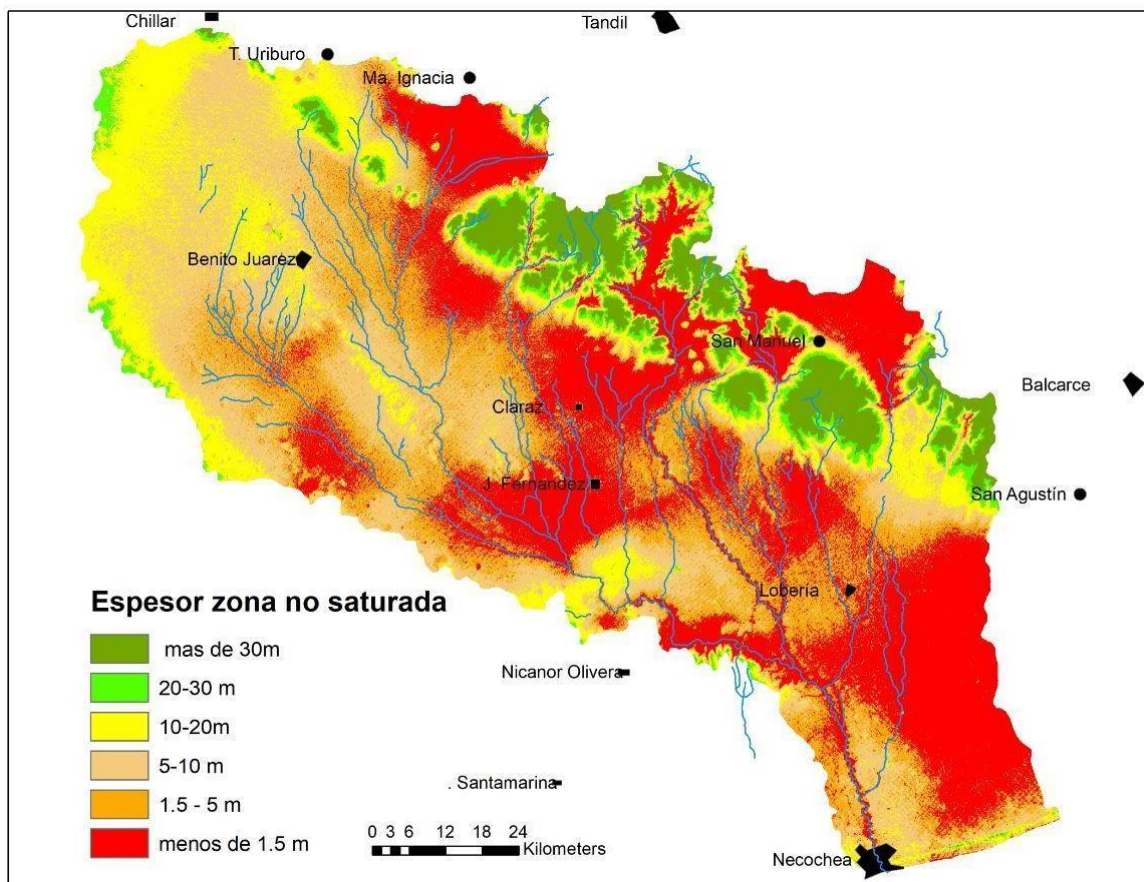


Ilustración 5: Espesor de la zona no saturada de la cuenca hidrográfica Río Quequén Grande. Fuente: Centro de geología de costas y del cuaternario, U.N de Mar del Plata.

Por otro lado, por el partido circulan una serie de arroyos que forman parte fundamental de la caracterización hidrológica del mismo. El arroyo Los Huesos es afluente del arroyo Las Mostazas, y éste último es afluente del arroyo Tamangueyú. El río Quequén Grande desemboca en el Océano Atlántico a la altura de las ciudades de Necochea y Quequén.

Entre los arroyos que desembocan directamente en el mar, se encuentran el arroyo del Moro y el arroyo Malacara, que tiene por afluente al arroyo de Las Flores.

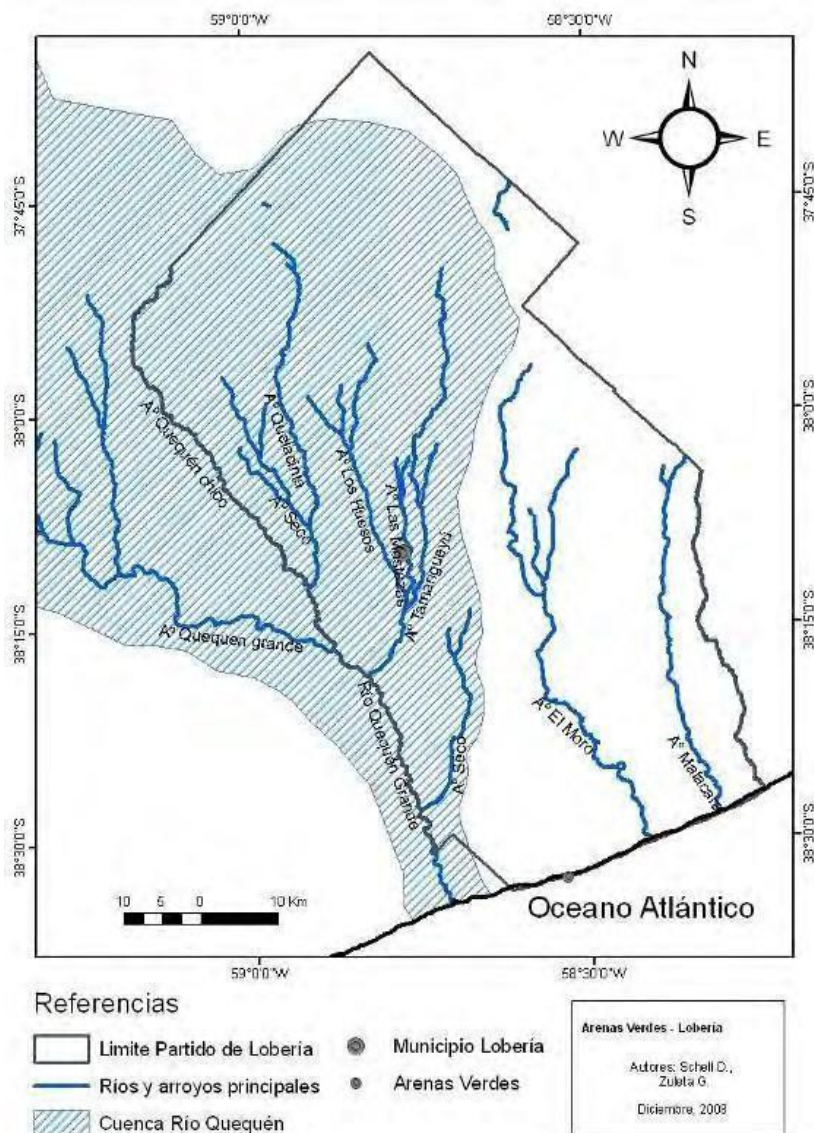


Ilustración 6: Red hidrológica del Partido de Lobería (Pcia. de Buenos Aires)

- Paisaje

El paisaje se produce como resultado de la combinación de la geomorfología, clima, vegetación, fauna y agua, así como del grado de incidencia de las alteraciones de tipo natural y de las modificaciones antrópicas que existen en una zona.

El paisaje es un elemento complejo que resulta de las interacciones de los otros elementos del medio y de la apreciación que de las mismas se realiza. Esto conduce a la contemplación del paisaje no sólo desde el punto de vista estético sino también como valor que puede necesitar protección y que interviene en la determinación de la capacidad del territorio para el desarrollo de actividades humanas, siendo en este caso un Relleno Sanitario.

El paisaje del partido de Lobería es caracterizado por sierras, valles, arroyos y ríos que desembocan en el mar, grandes extensiones de campo y una costa sobre el mar con grandes extensiones de dunas vírgenes. La poca intervención del hombre hace que el paisaje sea en su mayoría del tipo natural, lo cual implica que sea sumamente relevante la importancia de conservar esta característica a la hora de diseñar y planificar una obra de tal magnitud y significancia como lo es el Relleno Sanitario de la ciudad. Se debe procurar que el diseño contemple para todas las etapas (construcción, operación y cierre) que el mismo cause el menor impacto visual posible para no alterar el paisaje zonal.

1.2.2 Antecedentes en la Gestión de los RSU en Lobería

La Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) de una localidad se compone de diversas etapas que en su conjunto buscan gestionar de manera adecuada los RSU. El objetivo principal de la GIRSU es minimizar el impacto ambiental y sanitario de los Residuos Sólidos Urbanos, promoviendo la revalorización de los residuos, reduciendo la cantidad de residuos que terminan en ambiente de forma inadecuada, apoyando las prácticas relacionadas a la Economía circular, Simbiosis Industrial entre otras.

A continuación se describen las etapas de la GIRSU actual de la localidad de Lobería.

1.2.2.1 Disposición inicial

La ciudad de Lobería cuenta con un sistema de disposición inicial diferenciada en el cual se depositan los RSDyA generados en los hogares de la siguiente manera:

-Los días jueves en Lobería y los días viernes en Tamangueyú se sacan los RSV: Papel, cartón, plástico, vidrio, tetrapack y aluminio.

-El resto de los días de la semana (lunes, martes, miércoles, viernes y sábado) se deben sacar los RSDyA no reciclables que serán dispuestos en el basural municipal.

Si bien esta metodología de disposición inicial se encuentra vigente, existe un bajo porcentaje de participación por parte de la población. Fuentes municipales oficiales estiman que alrededor del 20% de la población dispone sus residuos de forma diferenciada como se mencionó anteriormente.

Esto hace que el porcentaje de recuperación de los RSV sea considerablemente bajo, provocando la disposición final en el basural a cielo abierto de materiales que podrían ser recuperados, reciclados y reinsertados en la cadena productiva, es decir, ser revalorizados.

1.2.2.2 Recolección y transporte

Al igual que la disposición inicial, el sistema actual de recolección es municipal y diferenciada, los días jueves se recolectan los RSV y el resto de los días los RSDyA sin clasificación diferenciada. La metodología de recolección es puerta a puerta a excepción de los barrios

alejados, los cuales cuentan con contenedores de 1m³ donde los vecinos de la cuadra depositan diariamente sus residuos para luego ser recolectados por el camión municipal.

La cobertura diaria de recolección es de aproximadamente 320 cuadras, lo cual significa que el 80% de la población del área urbana se ve beneficiada por el servicio de recolección (Dirección de Obras Públicas, Municipalidad de Lobería. 2023).

La frecuencia de recolección es entendida como la cantidad efectiva de veces que pasa el camión recolector por una misma cuadra a la semana, en la ciudad de Lobería ésta es de una vez al día, donde el sistema trabaja en dos turnos de lunes a sábados recogiendo los residuos domiciliarios en un camión compactador.

Por otro lado, la recolección de los Residuos Asimilables a Domiciliarios del hospital municipal (Nomenclados como “Residuos Patogénicos tipo A”, según la Ley Provincial 11.347) es realizada por otro camión, al igual que la recolección de las bolsas depositadas en los contenedores de 1m³ ubicados en los barrios aledaños.

Del mismo modo, la recolección de residuos provenientes de poda, construcción y demolición también está a cargo del servicio municipal cuya frecuencia es menor a la de domiciliarios.

Los horarios y rutas de recolección se muestran en la siguiente ilustración:

LOBERÍA GOBIERNO LOCAL **Horarios de recolección de residuos domiciliarios**
 Recomendamos sacar los residuos **como máximo una hora antes** del horario de su zona, para evitar las roturas de bolsas causadas por perros.

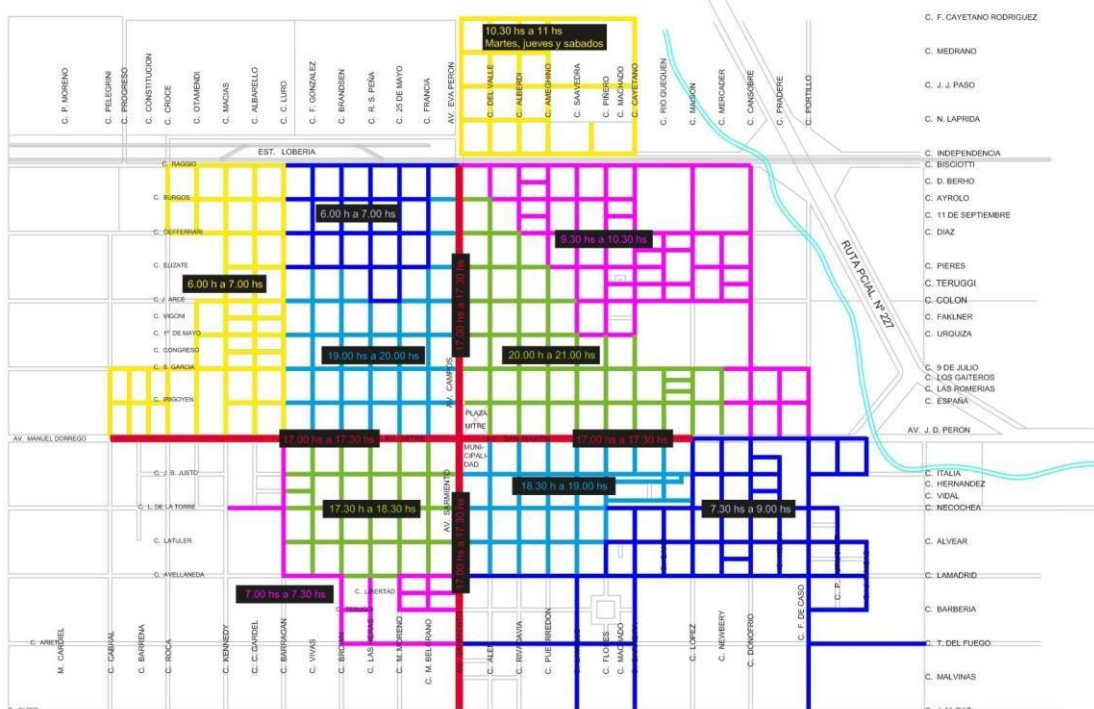


Ilustración 7: Horario de recolección de residuos domiciliarios en la ciudad de Lobería.

Los horarios de recolección de los RSV se muestran en la siguiente ilustración:



Ilustración 8: horarios de recolección de los Residuos Secos Valorizables en la ciudad de Lobería.

La distancia recorrida por ruta o asfalto que realizan los camiones diariamente ya sea para llegar a la planta de separación de RSU como al basural a cielo abierto es de aproximadamente 6 Km, tal como se puede observar en la siguiente imagen:



Imagen 2: Distancia recorrida por los camiones desde el centro de la ciudad de Lobería hasta el basural a cielo abierto.

Existen dos programas de reciclaje y recuperación de RSV, uno de ellos es el de los “Jueves Verdes”, mencionado anteriormente. Este proyecto se encuentra vigente desde el año 2019.

Otro de los programas se denomina “Puntos Verdes”, y consiste en la presencia de puntos de reciclaje ubicados en toda la ciudad. Existen actualmente 10 contenedores de separación de residuos en puntos estratégicos para que los vecinos depositen sus RSV.



Imagen 3: “Puntos verdes” en la ciudad de Lobería.

Todos los materiales que son recuperados tanto a través del programa “Jueves Verdes” como en los “Puntos verdes” de la ciudad son trasladados hasta la planta de separación de residuos ubicada en el Sector de Materiales Recuperables donde se realiza la segregación de cada tipo de material (Papel, cartón, plástico, vidrio, tetrapack y aluminio). Posteriormente se enfardan y compactan por separado, para luego ser comercializados para su reciclaje.

La comercialización de los materiales reciclables está a cargo del Taller Protegido Lobería.

Esta institución es una organización sin fines de lucro que se encuentra vigente en la ciudad desde el año 1984. Allí trabajan 39 personas con discapacidad.

1.2.2.2 Disposición final

En la ciudad de Lobería se disponen los RSU en un basural a cielo abierto ubicado al noreste del área urbana de la localidad, el mismo se encuentra a unos 3700 metros del centro, entre la Ruta 227 y el acceso a la ruta provincial N° 55, tal como se observa en las siguientes imágenes.

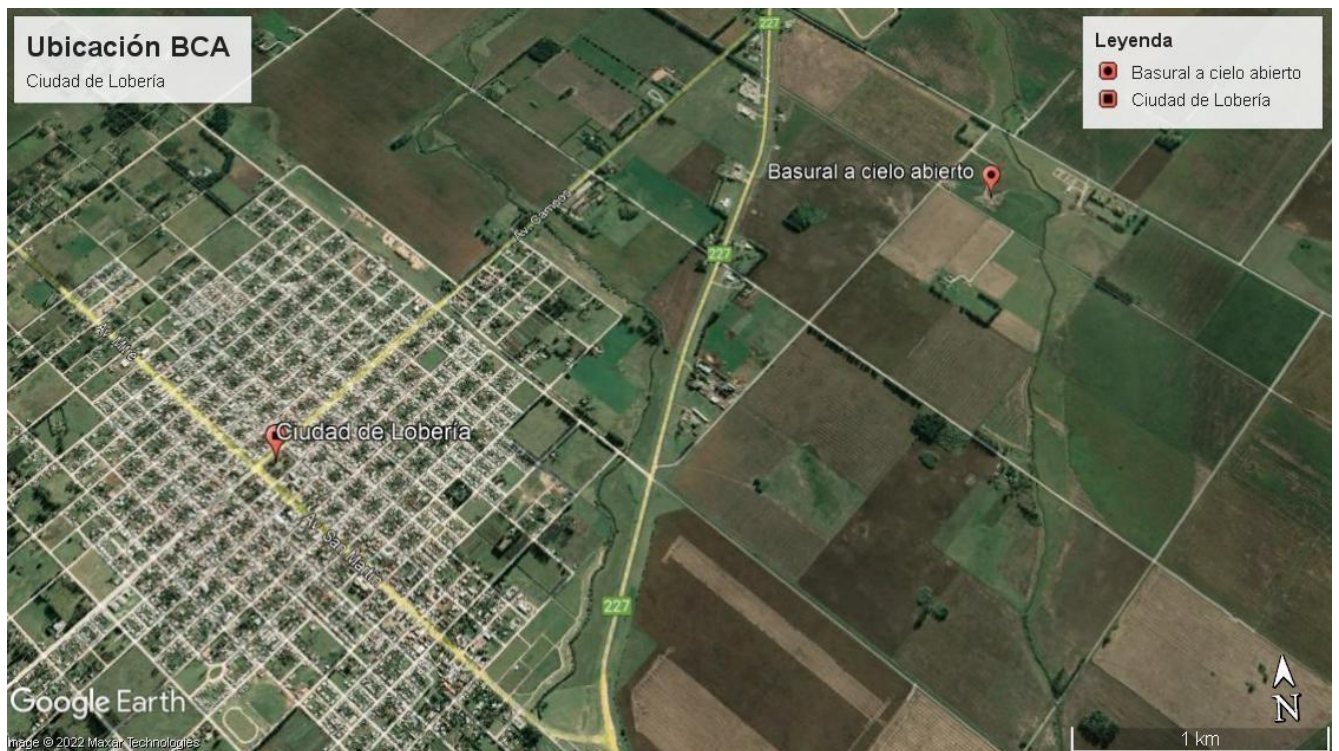


Imagen 4: Ubicación del basural a cielo abierto en la ciudad de Lobería.

Los RSDyA se disponen históricamente allí. Las primeras ordenanzas municipales que mencionan al basural y regulan cuestiones relacionadas al mismo se remontan al año 1994, precisamente la ordenanza 103/94 que establece la *“Colocación de un cerco perimetral en el Basurero Municipal de Lobería utilizando arbustos de ligustro o similar. -”*.

Sin embargo, en dicha ordenanza se menciona el interés por aplicar acciones de mitigación de impactos generados por el basural desde el año 1988, tal como se cita a continuación, *“Que, con fecha 18-09-88 el Bloque Justicialista presentó un proyecto similar quedando en reserva para su tratamiento”*, motivo por el cual queda demostrado de forma explícita que los residuos son dispuestos allí hace más de 30 años.

El sitio donde se emplaza el basural no cuenta con ninguna medida de protección ambiental, ni controles periódicos de los factores ambientales como lo son el aire, agua, suelo, entre otros.



Imagen 5: Imagen satelital del basural a cielo abierto de la ciudad de Lobería.

Tal como se mencionó anteriormente, y como se puede observar en la imagen satelital, el basural se encuentra a menos de 200 metros del Arroyo “Los Huesos”, siendo motivo por el cual el riesgo de contaminación del mencionado curso de agua es muy elevado, en primer lugar por su cercanía y también porque los residuos son depositados directamente sobre el suelo sin ninguna medida de contención de lixiviados ni impermeabilización del suelo.



Imagen 6: Arroyo los Huesos. Fuente: Municipalidad de Lobería.

Por otro lado, y tal como se puede apreciar en la imagen 6, en el predio donde se ubica el basural (de dominio municipal), se encuentra también el Sector de Materiales Recuperables (SEMAR) “Héctor Álvarez”, donde se acopian y almacenan los RSV que son clasificados previamente en la Planta de separación de residuos ubicada en el mismo predio.



*Imagen 7: materiales reciclables compactados luego de su clasificación en la Planta de separación de RSU.
Fuente: Municipalidad de Lobería.*

Del mismo modo, en el SEMAR se acopian, además de los materiales mencionados anteriormente, los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) de toda la ciudad, los Envases Vacíos de Fitosanitarios en un Centro de Acopio Transitorio (CAT), las pilas y baterías recuperadas en campañas realizadas años anteriores, y demás residuos potencialmente peligrosos, motivo por el cual se incrementa la probabilidad de que el medio natural se encuentre contaminado, ya sea por fuentes provenientes del basural, como por los residuos especiales mencionados recientemente.



Imagen 8: Imagen aérea de los boxes de separación de materiales recuperados. Fuente: Municipalidad de Lobería.



Imagen 9: Condiciones del almacenamiento en el CAT de envases vacíos de fitosanitarios. Fuente: Municipalidad de Lobería.



Imagen 10: Imagen del ingreso al CAT Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.

La gestión ambiental en la ciudad nace como tal en el año 2017, cuando se crea por primera vez la Dirección de ambiente y hábitat, la cual comenzaría con tareas de gestión y organización de cuestiones referentes a la preservación del ambiente y el hábitat en el sentido amplio de la palabra.

Las principales directrices de trabajo del área se basaron en un conjunto de medidas reactivas, a fin de mitigar las históricas problemáticas relacionadas con la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos.

Comenzó así un plan de saneamiento y reestructuración del basural a cielo abierto. Se cercó el perímetro del predio, se realizó una doble cortina forestal con las especies Álamo y Cortadera, se sanearon y mejoraron los caminos de acceso, los cuales estaban obstruidos por restos de basura que volaba del predio. Además se determinaron los sectores para disposición final, y se comenzó a compactar y enterrar todo el contenido que depositan los camiones en sectores determinados.

A continuación se observan imágenes del basural a cielo abierto de la ciudad de Lobería antes y después del saneamiento y reestructuración.



Imagen 11: Fotografía aérea de las condiciones previas al saneamiento del basural a cielo abierto en la localidad de Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.



Imagen 12: Fotografía del montículo de residuos en el basural a cielo abierto previo a su saneamiento en la localidad de Lobería. Fuente: Municipalidad de Lobería.



Imagen 13: Fotografía de la operatoria del basural luego de su saneamiento y reacondicionamiento. Fuente: Municipalidad de Lobería, 2022.

Paralelamente al saneamiento y reacondicionamiento del basural se implementaron medidas a fin de erradicar los microbasurales de la ciudad, la mayoría de ellos convirtiéndolos en espacios verdes que hoy son sumamente valorados por la población por su atractivo natural, uno de los ejemplos más representativos es la transformación del sitio conocido como “Paso Hondo”, el cual era un microbasural clandestino a cielo abierto, y luego de su intervención con mobiliario urbano, cámaras de seguridad y luminarias, se transformó en un espacio público valorizado.



Imagen 14: Antes y después del “Paso Hondo”. Fuente: Municipalidad de Lobería.



Imagen 15: Fotos actuales del "Paso Hondo". Fuente: Municipalidad de Lobería.

Una vez reorganizada la disposición final de los RSU y el mantenimiento de los espacios verdes de la ciudad, se comenzó a idear el programa de separación en origen. El mismo se mencionó en la etapa de disposición inicial y se encuentra vigente actualmente.

Capítulo 2: Marco Regulatorio

Desde la Constitución Nacional hasta las ordenanzas municipales, existen diversas instancias normativas que fundamentan los criterios, responsabilidades y lineamientos que guían la implementación de Relleno Sanitario y la gestión integral de RSU. Cada nivel normativo contribuye con disposiciones que reflejan la importancia de mitigar los impactos ambientales, asegurar la salud pública y fomentar prácticas sostenibles en la gestión de los desechos.

El conocimiento profundo de este marco legal no solo es esencial para garantizar el cumplimiento normativo, sino también para desarrollar soluciones eficaces y apropiadas a las necesidades específicas de la localidad de Lobería.

2.1 Constitución Nacional

Los derechos humanos de cuarta generación son los derechos relacionados al medio ambiente, estos derechos y deberes fueron incluidos en la Constitución Nacional en 1994 a partir del **Artículo 41** el cual dice “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo.”.

Además, en 1994 se agregó el **Artículo 43**, el cual hace referencia a que “Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley”.

Según este artículo, de acuerdo al enfoque de los RSU, ante una mala gestión u algún inconveniente colectivo sobre la recolección o disposición, entre otros aspectos, se podrá presentar un recurso de amparo para poder defender estos derechos.

2.2 Leyes nacionales

En noviembre del 2002, el Congreso de la nación sancionó la **Ley 25.675** que establece los presupuestos mínimos para la gestión ambiental, también conocida como “Ley General del Ambiente”.

Dos años después, en agosto de 2004, el Congreso Nacional al sancionar la **Ley 25.916** establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios. Los objetivos de la presente ley son:

- El logro de un adecuado y racional manejo de los residuos domiciliarios mediante su gestión integral a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población.
- Promover la valorización de los residuos domiciliarios a través de la implementación de métodos y procesos adecuados.

- Minimizar los impactos negativos que estos residuos puedan producir sobre el ambiente.
- Lograr la minimización de los residuos con destino a disposición final.

Las jurisdicciones deberán garantizar la gestión integral y establecer las normas complementarias que permitan el cumplimiento efectivo de la ley.

2.3 Leyes provinciales (Provincia de Buenos Aires)

En la provincia de Buenos Aires se sancionó en diciembre de 2006 la **Ley Provincial 13.592** que fija los procedimientos de la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU). La cual, lo define como el conjunto de operaciones que tienen por objeto dar a los residuos producidos en una zona, el destino y tratamiento adecuado, de una manera ambientalmente sustentable, técnica y económicamente factible y socialmente aceptable.

Se establecen como objetivos de la mencionada ley, en concordancia con la ley nacional,

- La incorporación paulatinamente en la disposición inicial la separación de origen, la valorización, la reutilización y el reciclaje en la gestión integral por parte de todos los municipios de la provincia de Buenos Aires.
- Minimizar la generación de residuos.
- Diseñar e instrumentar campañas de educación ambiental y divulgación a fin de sensibilizar a la población respecto de las conductas positivas para el ambiente y las posibles soluciones para los Residuos Sólidos Urbanos, garantizando una amplia y efectiva participación social que finalmente será obligatoria.
- Incorporar tecnologías y procesos ambientalmente aptos y adecuados a la realidad local y regional.

Por medio del **Decreto 1215/10** se reglamenta la mencionada ley, estableciendo que será el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires (Ex OPDS) la autoridad de aplicación de la ley y el organismo provincial encargado de promover, coordinar, concertar y controlar el adecuado cumplimiento y aplicación de las mismas con las autoridades municipales, conforme sus respectivas competencias. Se establecen obligaciones para los municipios bonaerenses, los cuales deben presentar ante el OPDS un programa de gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos. Comprometiéndose a partir de la aprobación de los mismos, a que cada municipio en un plazo de 5 años deberá reducir un 30 % de la totalidad de los residuos con destino a disposición final. Estos Programas tienen como objetivo principal erradicar la práctica del descarte en basurales a cielo abierto e impedir el establecimiento de nuevos basurales en sus respectivas jurisdicciones. Quedando de igual manera prohibida la quema a cielo abierto o cualquier sistema de tratamiento no autorizado por el mencionado organismo provincial.

Otra Ley importante cuando hablamos de disposición de Residuos Sólidos Urbanos es la **Ley 11.723** “Ley Integral del Ambiente y los Recursos Naturales”, la cual, busca garantizar la protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente en la Provincia de Buenos Aires.

Mencionando en uno de sus artículos: “Todos los proyectos consistentes en la realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deberán obtener una declaración de impacto ambiental expedida por la autoridad ambiental provincial o municipal según las categorías que establezca la reglamentación”.

Además, una normativa de gran importancia sobre los residuos, especialmente los Residuos Sólidos Urbanos, son la Resolución 1142 y la 1143 de 2002 de la Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires. Estas reglamentan la disposición final de los residuos por la técnica de Relleno Sanitario.

- **Resolución 1142/02:** Registro Provincial de Tecnologías de Recolección, Tratamiento, Transporte y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos.
- **Resolución 1143/02:** Disposición de Residuos Sólidos Urbanos en Rellenos Sanitarios.

Esta última establece, en su anexo I los criterios de localización para la disposición de RSU en Rellenos Sanitarios, las cuales se mencionan a continuación:

- El Relleno Sanitario deberá establecerse en áreas cuya zonificación catastral sea Rural.
- El Relleno Sanitario deberá emplazarse preferentemente en un área, cuya base de asiento esté compuesta por una barrera natural formada por una capa mineral con una permeabilidad vertical (K_f) igual o menor a 1×10^{-7} centímetro por segundo (cm/seg), con un espesor mayor o igual a 1,00 metros.
- La base del Relleno en ningún caso podrá invadir el nivel del acuífero libre, debiendo estar ubicado como mínimo a 0,50 m sobre el nivel del mismo.
- No se podrá establecer un Relleno Sanitario dentro de una reserva o parque natural comprendidos en la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 10.907.
- Se deberán respetar los derechos de trazas de autopistas, rutas o caminos, trazas de ferrocarril, de obras públicas tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, tendido de redes de transmisión de energía eléctrica, acueductos y redes cloacales.
- La distancia mínima a ubicar un Relleno Sanitario de aeropuertos y/o aeródromos deberá ser:
 - a. 3.000 metros en el caso que operen aviones de motor a turbina.
 - b. 1.500 metros si operan aviones de motor a pistón o turbohélice.
- La distancia mínima del perímetro del Relleno a pozos para extracción de agua potable, uso doméstico, industrial, riego y ganadero, debe ser de 500 m.

Del mismo modo, la distancia mínima recomendada de los Rellenos Sanitarios a cursos de agua superficiales es de 1000 metros. (De Luca, M. 1999).

Por otro lado, en lo que respecta al vuelco de efluentes líquidos (en este caso lixiviados generados en el Relleno Sanitario), la **Resolución 336/03** establece los parámetros para el vertido de efluentes líquidos a diferentes cuerpos receptores.

Además, se debe tener en cuenta **Ley N° 5965** de Protección a las Fuentes de Provisión y a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera fue reglamentada por el **Decreto N° 3395/96**, y también el **Decreto 1074/18**.

2.4 Ordenanzas municipales

En las ordenanzas municipales cabe destacar

- **La ordenanza N° 1524-10:** “Reglamentación sobre residuos domiciliarios”

Esta ordenanza plasma la forma en la cual se deben disponer los residuos domiciliarios. Además, menciona los días y rango horario en el cual se recolectarán los residuos domiciliarios, así como también aclara el cronograma de recolección de los residuos no domiciliarios.

- **La ordenanza N° 1995-16** “Declara de interés municipal la campaña de reciclaje y reutilización de residuos”

El objetivo de esta ordenanza es que a partir del grupo “Taller protegido de Lobería”, el proyecto LOSS y personal del sistema educativo loberense se pueda intensificar campañas de educación y concientización ambiental, coordinando con docentes, las comisiones barriales, a través de charlas, visitas y tareas conjuntas.

Este capítulo sintetiza las leyes y normativas en cada uno de los niveles legislativos, buscando comprender cómo interactúan y se complementan para establecer un marco jurídico integral que promueva una gestión responsable de los residuos sólidos y la implementación exitosa de un Relleno Sanitario en Lobería. Al hacerlo, se aspira a contribuir al desarrollo de estrategias sostenibles que conjuguen el progreso local con la conservación ambiental, en concordancia con las demandas de una sociedad cada vez más consciente de la importancia de preservar nuestro entorno para las generaciones futuras.

3.1 ¿Qué es un Relleno Sanitario?

La ASCE¹ (American Society of Civil Engineers) define al Relleno Sanitario como:

“Técnica para la disposición final de los residuos sólidos en el terreno, sin causar perjuicio para el ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud, ni el bienestar y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor superficie posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable. Los residuos así depositados son cubiertos con una capa de suelo con la frecuencia necesaria de acuerdo con el caudal de ingreso de residuos”.

El Relleno Sanitario es una técnica ingenieril de disposición final de los RSU, esta busca disminuir los potenciales impactos negativos y el uso eficiente del espacio.

Esta técnica aplica principios de la ingeniería para disponer los residuos en un área lo más pequeña posible, los cuales son cubiertos diariamente con capas de tierra y compactados para reducir su volumen. Además, esta obra busca mitigar los potenciales impactos negativos provenientes de las emisiones de gases y líquido lixiviado originados en la descomposición de materia orgánica, a través de sistemas colectores tanto de gases como de líquidos lixiviados. El éxito de esta obra radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

Tanto la secuencia de operación como el tipo de Relleno a construir está determinado principalmente por la topografía de la localidad y profundidad del nivel freático.

Existen diferentes tipos de Rellenos que se pueden clasificar según su forma de construcción y según el tipo de residuo que se disponga.

En Argentina únicamente hay aproximadamente 26 Rellenos Sanitarios², contra los 5000 basurales declarados como tal por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina.

3.2 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario

A la hora de realizar una obra de ingeniería de una magnitud semejante, es importante determinar y reconocer las ventajas y desventajas de la misma con el fin de tenerlas en cuenta al momento de diseñar y ejecutar el proyecto.

3.2.1 Ventajas

- Si bien se deben asignar recursos financieros y técnicos adecuados para la planeación, diseño, construcción y operación, es una de las alternativas más económicas, en comparación a otros métodos de tratamiento (incineración, pirólisis etc).

¹ La American Society of Civil Engineers (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles) es un colegio profesional fundado en 1852 que representa a ingenieros civiles de todo el mundo.

² Fuente: <https://recicladores.com.ar/mapa-interactivo-sobre-reciclaje-inclusivo/>

- Es un método flexible, dado que en caso de incrementar la cantidad de residuos por disponerse solo se verá afectada su vida útil.
- Es una obra que conlleva innumerables fuentes de empleo.
- Esta obra podría permitir la generación de energía, a partir de por ejemplo, la recuperación del gas metano generado por la descomposición de los residuos.
- Reducción de volumen de residuos: en un Relleno Sanitario se deben comprimir y aplanar los residuos para reducir su volumen, lo que reduce el espacio necesario para almacenarlos.
- Control de olores: Un Relleno Sanitario está diseñado para controlar los malos olores mediante la aplicación de material de cobertura, barrera forestal, etc.
- Control de plagas: Un Relleno Sanitario ayuda a controlar plagas al mantener los residuos aislados y evitando que sean una fuente de alimento para animales e insectos.
- Tratamiento de lixiviados: Un Relleno Sanitario está diseñado para recolectar y tratar los lixiviados que se generan de la descomposición de la materia orgánica.
- Seguridad ambiental: Un Relleno Sanitario ayuda a proteger el medio ambiente al asegurar la correcta y monitoreada disposición final de los residuos.

3.2.2 Desventajas

- La construcción de un Relleno Sanitario conlleva una discusión social, principalmente con aspectos relacionados a la ubicación. Además, puede ser rechazado por la comunidad local debido a preocupaciones sobre la salud y el medio ambiente.
- El valor de los terrenos aledaños al predio se devalúa.
- Si no se toman medidas o provisiones necesarias podrá generar impactos ambientales a largo plazo, tales como emisión de gases de efecto invernadero, contaminación del suelo y el agua.
- Se deberá analizar de forma eficiente las rutas y formas de acceso al Relleno para no generar efectos en el tráfico de vehículos.
- Se requiere del monitoreo luego del cierre del Relleno Sanitario, éste previene tanto potenciales impactos ambientales como usos inadecuados del terreno.
- El propósito del terreno post clausura será limitado a ciertas actividades, por ejemplo, no se podrá construir infraestructura pesada, viviendas o escuelas.
- Impacto visual: Un Relleno Sanitario puede tener un impacto visual negativo si no está integrado adecuadamente en el entorno.
- Costos: La construcción de un Relleno Sanitario conlleva una importante inversión inicial.
- Limitaciones de capacidad: Un Relleno Sanitario tiene una capacidad limitada y puede requerir ser reemplazado o expandido con el tiempo.

3.3 Tipo de Rellenos Sanitarios

3.3.1 Según su forma de construcción

A. Método de Trinchera o Zanja

Esta forma de construcción se da por debajo del nivel original del terreno. El método de Trinchera o Zanja consiste en la excavación de un pozo, de tal forma que los residuos sean volcados, con varios metros de profundidad. Previo al vuelco de los residuos se hace un acondicionamiento del terreno, es decir, construcción de drenajes, impermeabilización del suelo, construcción del sistema de venteo de gases, entre otros aspectos.

Se debe tener en cuenta las precipitaciones de la zona, para la construcción de un sistema de drenaje apto para poder captar y desviar los líquidos.

Una vez extraída la tierra para la realización del pozo, se la dispone a un lado del mismo, para posteriormente utilizarla como material de cobertura. Primero se ubican en las celdas de forma ordenada los residuos, se los compacta y cubre con la capa de tierra.

Los terrenos con nivel freático próximos a la superficie no son apropiados para este método, debido al potencial riesgo de contaminar el acuífero. También en suelos rocosos no se recomienda este método por la dificultad que presenta excavar.

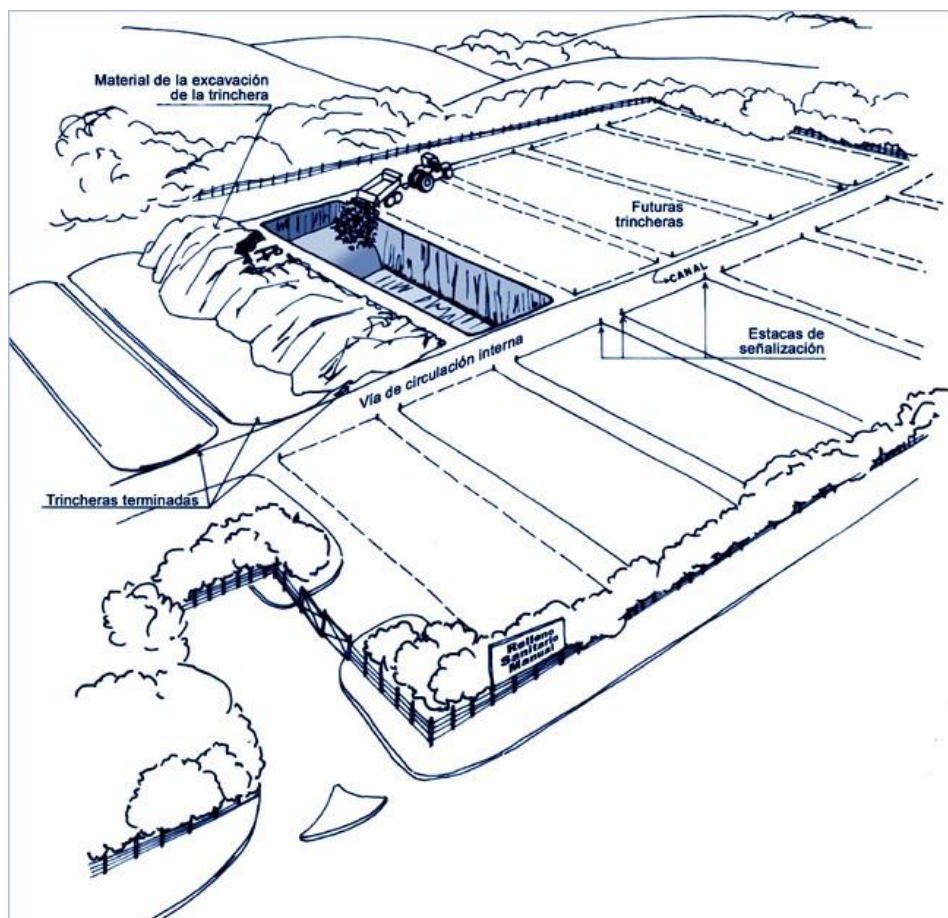


Ilustración 9: "Método de trinchera o zanja para la construcción de un Relleno Sanitario".

B. Método de Área

Cuando por diferentes condiciones geomorfológicas o por un nivel de la superficie freática no se puede excavar se opta por el Relleno Sanitario de “Área”.

Este método consiste en disponer de forma estratégica los RSU sobre el suelo, acondicionado previamente, elevando el nivel del suelo algunos metros. En este tipo de Relleno se trae el material de cobertura de otro sitio o zona, se debe tener en cuenta no tener una pendiente brusca para evitar deslizamientos y alcanzar una mayor estabilidad a medida que se eleva el Relleno.

El Relleno de Área se construye colocando la celda³ en la pendiente natural del suelo, los desechos se colocan en la base del talud⁴ inclinado, se extiende y apisona contra él, y se coloca diariamente con una cobertura de tierra.

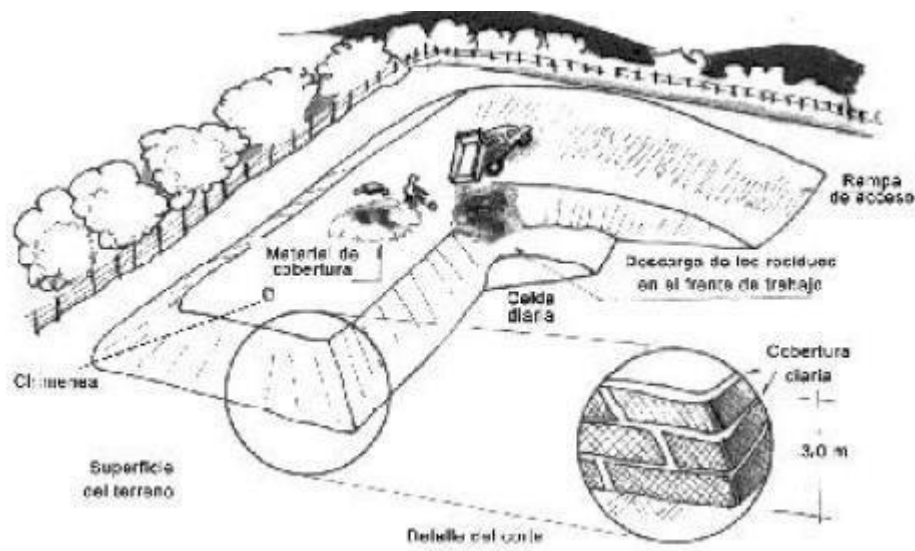


Ilustración 10: “Método de área para la construcción de un Relleno Sanitario” Fuente: Jaramillo, J. & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales”.

C. Método Mixto

Este método inicia como un método de Trinchera o Zanja, es decir, se realiza la excavación y acondicionamiento del terreno y luego se empieza a operar. Una vez llegada a la altura culmine del pozo, se comienza a operar en sentido positivo creando una elevación en el terreno con una suave pendiente.

³ Conformación geométrica que se da a los desechos sólidos y a su material de cobertura, debidamente compactados, como parte de la técnica de Relleno Sanitario.

⁴ Pendiente que se construya en un Relleno Sanitario para evitar que los residuos se deslicen o se derramen fuera del área designada. Además, garantiza la estabilidad del Relleno Sanitario.

Esto permite un mayor aprovechamiento del terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados. Además de una vida útil mayor.

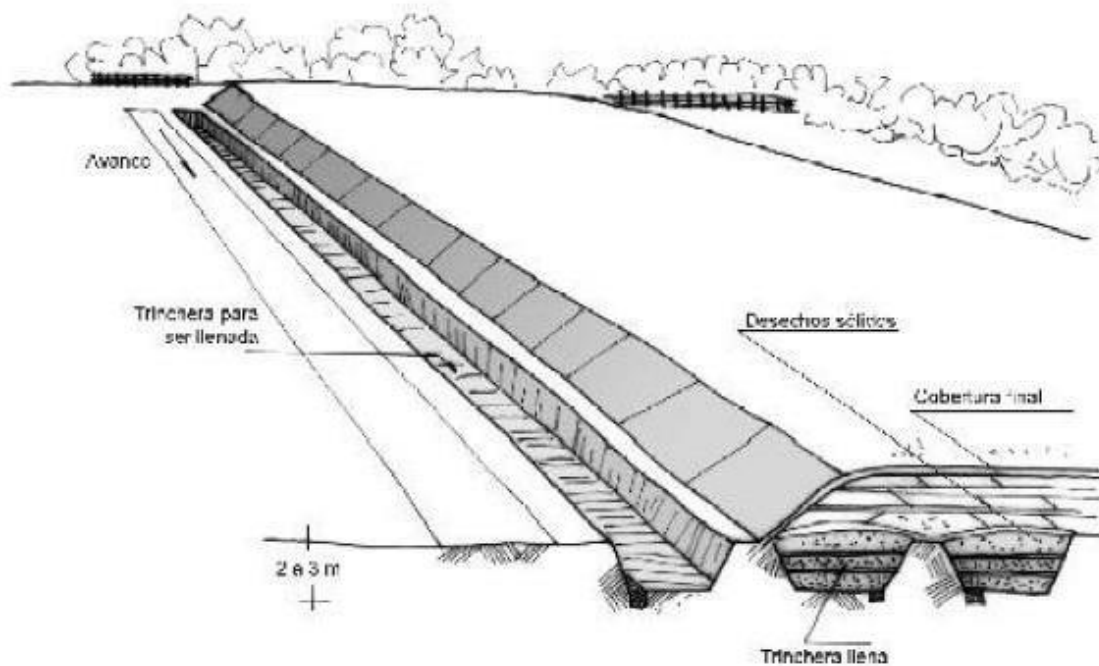


Ilustración 11: "Método Mixto para la construcción de un Relleno Sanitario"

3.3.2 Según el tipo de residuo dispuesto en el Relleno

El diseño y las características de los Rellenos depende del tipo de residuo que se depositará en él, y en base a esto podemos diferenciar los Rellenos de acuerdo con los residuos, tales como:

1. **Residuos Peligrosos:** La disposición final de estos se dan en Rellenos conocidos como "Rellenos de seguridad". Según la Ley Nacional 24.051 será considerado residuos peligrosos; todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general. En particular serán considerados peligrosos los residuos indicados en el Anexo I o que posean alguna de las características enumeradas en el Anexo II de esta ley. Las disposiciones de la presente serán también de aplicación a aquellos residuos peligrosos que pudieren constituirse en insumos para otros procesos industriales. Quedan excluidos de los alcances de esta ley los residuos domiciliarios, los radiactivos y los derivados de las operaciones normales de los buques, los que se regirán por leyes especiales y convenios internacionales vigentes en la materia.
2. **Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables:** Estos hacen referencia a los residuos que se originan en los domicilios particulares de las personas que habitan la localidad, más aquellos generados de la actividad de limpieza pública.

3. **Residuos de Construcción y Demolición:** Este tipo de residuos son conocidos también como áridos o inertes.
4. **Residuos Sólidos Industriales:** La gestión de este tipo de residuos está regulada por la Ley Nacional N° 25.612 (Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios). La cual define este tipo de residuo como: "cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo".

A excepción de los residuos peligrosos, el resto puede ser los agrupa como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y pueden ser ingresados en un Relleno Sanitario bajo ciertas pautas dispuestas por cada municipio.

En Argentina, el tipo de Relleno más común utilizado para la disposición de residuos es el Relleno Sanitario convencional, habiendo hasta el día de hoy 26 distribuidos entre las diversas provincias. Este tipo de Relleno se utiliza para la disposición final de RSU.

Sin embargo en Argentina hay cinco provincias que cuentan con Rellenos de Seguridad, estas son: Córdoba, Neuquén, Misiones, Santa Fe (Rosario) y Buenos Aires (Buenos Aires y Bahía Blanca)

3.4 Criterio de admisión de residuos en el Relleno Sanitario

- **Residuos admitidos.**

Serán admitidos en el Relleno Sanitario los Residuos Sólidos Urbanos, entendiéndose a estos como todo residuo generado por actividades en los núcleos urbanos y rurales, incluyendo aquellos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucionales, industriales compatibles con los domésticos.

- **Residuos que no deberán ser admitidos**

- Residuos peligrosos: Regulados por la Ley Nacional 24.051.

Específicamente para el área de estudio

- Residuos especiales: Regulados bajo la Ley Provincial de Buenos Aires N° 11.720, y su decreto 806/97.
- Residuos patogénicos tipos B y C de establecimientos médicos (comprendidos en la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 11.347, y su decreto 450/94) o veterinarios que sean infecciosos.

- Residuos líquidos.

3.5 Prácticas inadecuadas en la disposición final de los RSU

Hay diferentes formas de disposición final inadecuada de los RSU, estas surgen de la comunidad, se da principalmente en zonas en desarrollo y con carencia de importancia turística. Las principales prácticas inadecuadas se nombran a continuación:

- **Descarga de los residuos en cuerpos de agua**

Esta práctica está prohibida, es una de las principales causas de los desórdenes ecológicos de muchos ecosistemas críticos, algunos únicos en el mundo, tales como bosques de manglar, arrecifes coralinos, lagunas costeras y otros lugares de interfase entre la tierra y el mar, los cuales son alterados más allá de su capacidad de recuperación. La descarga de residuos en cuerpos de agua favorece ciertos fenómenos potencialmente peligrosos para el ambiente, como por ejemplo la eutrofización.

- **Disposición en basurales a cielo abierto**

Los basurales a cielo abierto (BCA) son aquellos sitios donde se disponen residuos sólidos de forma indiscriminada, sin control de operación y con escasas medidas de protección ambiental.

En Argentina existen 5000 basurales a cielo abierto⁵, lo que significa que en promedio hay más de dos basurales por municipio. La mayoría de ellos son formales, es decir, son el modo oficial en que los gobiernos locales eliminan su basura.

Estos no cuentan con ningún tipo de medida de seguridad o control de acceso, por lo tanto, existe en ellos una gran diversidad de residuos, incluso patogénicos y peligrosos, consecuentemente mayor probabilidad de contaminación de los sitios donde están ubicados.

Como fue mencionado anteriormente, estos son centros de acumulación de vectores infecciosos, plagas, combustión de gases, entre otros. Por otro lado, muchas familias suelen habitarlos, lo que representa un gran problema social y sanitario.

- **Quema de los residuos al aire libre**

La quema de residuos en condiciones incontroladas genera la emanación de muchos gases tóxicos. Esto representa un problema para la salud de los habitantes como también para las especies que habitan la zona.

Esta práctica se da frecuentemente en los basurales a cielo abierto o también cuando la recolección de residuos no es diaria.

Esta práctica no siempre es inducida por los individuos muchas veces por acción del sol y la disposición inadecuada de residuos, como por ejemplo; el reflejo del sol en el vidrio puede generar incendios.

- **El uso de los residuos como alimento de animales**

⁵ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Argentina.

- Es altamente riesgoso para la salud humana alimentar a los animales con desechos crudos, a menos que exista un estricto control sanitario.

Estas diferentes prácticas inadecuadas pueden generar desde la afectación de aguas superficiales o subterráneas, aire, suelo, proliferación de vectores sanitarios, olores, contaminación estética y paisajística, riesgo de incendio, entre otros potenciales riesgos.

El único método de disposición final de RSU que puede mitigar, monitorear y controlar los potenciales riesgos e impactos que conlleva la disposición de residuos, es el Relleno Sanitario.

3.6 Funcionamiento del Relleno Sanitario

El funcionamiento de un Relleno Sanitario se lleva a cabo en varias etapas:

- **Recepción:** En primer lugar, los residuos son recolectados y transportados al Relleno Sanitario para ser depositados en las celdas de disposición.
- **Disposición:** Los residuos son depositados en las celdas.
- **Adecuación:** Los residuos depositados son compactados para reducir su volumen y aumentar la capacidad de la celda. A su vez se añade material de cobertura para prevenir voladuras de residuos, malos olores, proliferación de vectores, entre otros.
- **Cierre de la celda:** Una vez que se ha alcanzado una determinada altura en la celda, se procede a cubrir los residuos con una capa de suelo o material.
- **Monitoreo y control:** Durante el funcionamiento del Relleno Sanitario, se llevan a cabo pruebas y monitoreos para asegurar que se esté cumpliendo con las regulaciones medioambientales y que no haya impactos negativos en las áreas circundantes.
- **Post-operación:** Una vez finalizada la vida útil el Relleno Sanitario, cuando éste ha alcanzado su capacidad, se procede a cerrarlo, cubriendo las celdas con una capa de suelo y estableciendo medidas para evitar la contaminación del agua y el suelo. A su vez, se realizan monitoreos y mantenimiento para asegurar que no se generan impactos negativos en el medio ambiente.

Una de las medidas de control de la contaminación del agua, el suelo y el aire en los Rellenos Sanitarios es la implementación de sistemas de captación y tratamiento de líquidos lixiviados así como también la captación de los gases generados en el Relleno, producto de la descomposición de los residuos. Estos sistemas de tratamiento se describen a continuación:

3.7 Sistemas de tratamiento de gases y líquidos lixiviados en Rellenos Sanitarios

3.7.1 Líquidos Lixiviados

El lixiviado se puede definir como el líquido que ha percolado a través del residuo sólido y ha extraído materiales disueltos o suspendidos de ellos. En la mayoría de los Rellenos Sanitarios el lixiviado se compone del líquido producido de la descomposición de los desechos y del líquido que ha entrado al Relleno de fuentes externas tales como: drenaje superficial, precipitación, agua subterránea y agua de manantiales subterráneos. (G. Tchobanoglous et al, 1994).

Cabe destacar la importancia que tiene la recolección y el tratamiento de los líquidos lixiviados generados en los Rellenos Sanitarios ya que éstos representan un riesgo potencial a la salud de la población y de otros organismos vivos, así también como pueden dar lugar a la contaminación del suelo y cuerpos de agua debido a su composición.

La composición o calidad de los lixiviados dependen principalmente del tipo de residuos que se dispone en el Relleno Sanitario ya que cuando éste percola a través de los desechos en descomposición, recoge a su paso materiales biológicos y componentes químicos de los mismos. A su vez, esta composición varía de acuerdo con el nivel de vida de la población y hábitos de consumo de la misma.

En términos generales, las características de los lixiviados de un Relleno Sanitario se describen por medio de los parámetros básicos DQO, DBO, la relación DBO/COD, pH, sólidos en suspensión (SS), nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), nitrógeno total Kjeldahl (NTK)⁶ y metales pesados. Si bien la composición de los lixiviados presenta rangos amplios, por lo general, suele contener una gran cantidad de materia orgánica soluble o suspendida, nitrógeno amoniacal e iones inorgánicos.

Otros de los constituyentes de los lixiviados son aquellos de tipo húmico, así como las sales nitrogenadas amoniacales, metales pesados, orgánicos clorados e inorgánicos. (Renou et al., 2008).

La tabla N°1 muestra la variación de las características del lixiviado de los Rellenos Sanitarios en función del tiempo de operación de los mismos, considerando así como jóvenes a los RS con menos de 5 años, intermedios aquellos entre 5 y 10 años de operación y maduros a los que llevan más de 10 años de vida útil.

Se observa entonces, que aunque la composición de los lixiviados puede variar ampliamente dentro de las sucesivas etapas de estabilización aeróbica, acetogénica y metanógena de los RS, se definen principalmente tres tipos de lixiviados según la edad del Relleno. La relación existente entre la misma y la composición de la materia orgánica puede proporcionar un criterio útil para elegir un tratamiento adecuado. Cabe resaltar que los lixiviados de los Rellenos Sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados. (Sandri, L., 2021)

⁶ Determina la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas y el ion amonio NH_4^+ , presentes en una muestra de agua.

Tabla 1: Composición de los lixiviados en función de la vida del Relleno Sanitario

. Fuente: “Diseño de una planta de tratamiento de efluentes lixiviados provenientes del Relleno Sanitario del partido de Necochea, provincia de Buenos Aires” Sandri, L.

Parámetro	Valor (mg/l) según edad del Relleno			
	Joven (<5 años)		Intermedio (5-10 años)	Maduro (>10 años)
	Rango	Típico	Rango	Rango
DBO ₅ (demanda bioquímica de oxígeno, 5)	2.000 – 30.000	1.000	400 – 3000	100 – 200
DQO (demanda química de oxígeno)	3.000 – 45.000	18.000	4.000 – 10.000	100 – 500
Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO)	>0,3		0,1 – 0,3	<0,1
COT (Carbón orgánico total)	1.500 – 20.000	6.000		80 – 160
Sólidos suspendidos totales	200 – 1.000	500		100 – 400
Nitrógeno orgánico	100 – 600	200		80 – 120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200		20 – 40
Nitrato	5 – 40	25		5 – 10
Fósforo total	1 – 70	30		5 – 10
Orto-fósforo	1 – 50	20		4 – 8
Alcalinidad como CaCO ₃	1.000 – 10.000	7.000		200 – 1000
pH	5,3 – 8,5	6	6,5 – 7,5	6,6 – 7,5
Dureza total como CaCO ₃	300 – 10.000	3.500		200 – 500
Calcio	200 – 3.000	1.000		100 – 400
Magnesio	50 – 1.500	250		50 – 200
Potasio	200 – 2.000	300		50 – 400
Sodio	200 – 2.000	500		100 – 200
Cloruro	100 – 3.000	500		100 – 400
Sulfato	100 – 1.500	300		20 – 50
Hierro total	50 – 600	60		20 – 200

Otro factor importante a considerar es la cantidad o caudal de lixiviados que se genera en el RS. El mismo está relacionado con las precipitaciones, la escorrentía superficial y en menor medida con la infiltración o intrusión de agua subterránea que se filtra a través del vertedero. (Renou et al., 2008). Este último factor dependerá de los métodos de impermeabilización del suelo (Geomembranas, revestimientos como arcilla, entre otros).

El clima también tiene una gran influencia en la producción de lixiviados ya que afecta las entradas por precipitación y las pérdidas por evaporación.

Por otro lado, la producción de lixiviados depende de la naturaleza del propio residuo, es decir, de su contenido de agua y de su grado de compactación. La producción es generalmente mayor cuanto menos compactado está el residuo, ya que la compactación reduce la tasa de filtración.

Debido a lo mencionado anteriormente, cada Relleno Sanitario tendrá sus propias características en cuanto al lixiviado generado, desde el caudal hasta la composición del mismo, lo cual influye y determina la tecnología a utilizar para su tratamiento.

Por otro lado, el tratamiento siempre debe comenzar con un tanque de equalización para homogeneizar las características del efluente.

Entre los tratamientos empleados con los lixiviados se encuentran las tecnologías de tipo convencional y las modernas, las cuales se describen brevemente a continuación:

3.7.1.1 Tratamiento biológico

Este tipo de tratamiento se utiliza comúnmente para la degradación de los lixiviados que contienen altas concentraciones de DBO. La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, que pueden metabolizar los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua en condiciones aeróbicas y a biogás (una mezcla compuesta principalmente de CO₂ y CH₄) en condiciones anaeróbicas. Se ha demostrado que los procesos biológicos son muy eficaces para eliminar la materia orgánica y el nitrógeno de los lixiviados jóvenes. Con el tiempo, la mayor presencia de compuestos refractarios (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) tiende a limitar la eficacia del proceso.

Este tratamiento puede ser, como se mencionó anteriormente, del tipo aeróbico o anaeróbico:

- **Aeróbico:** Este tipo de tratamiento implica el suministro de oxígeno para facilitar la descomposición biológica de la materia orgánica en los líquidos lixiviados. El proceso se lleva a cabo en un reactor biológico aeróbico, como un tanque de aireación o un reactor de lodos activados.
- **Anaeróbico:** Por su parte, este tipo de tratamiento se realiza utilizando un proceso llamado digestión anaeróbica. Este proceso implica la descomposición biológica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, llevada a cabo por microorganismos anaeróbicos.

Ambos tratamientos, aeróbico y anaeróbico, se utilizan en combinación o de forma individual, dependiendo de las características del lixiviado y los objetivos del tratamiento en un Relleno Sanitario específico. Cada proceso tiene sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costos y requisitos operativos.

3.7.1.2 Tratamiento fisicoquímico

Los procesos físicos y químicos incluyen la reducción de los sólidos suspendidos, las partículas coloidales, el material flotante, el color y los compuestos tóxicos por coagulación/floculación, adsorción, oxidación química y stripping del aire. Los tratamientos fisicoquímicos para lixiviados se utilizan como pretratamiento o bien como un pulido terciario para tratar un contaminante específico.

3.7.1.3 Síntesis de tecnologías convencionales

Implica la combinación y aplicación de varias tecnologías tradicionales o convencionales para tratar de manera eficiente los lixiviados generados en un Relleno Sanitario. Esta estrategia

busca aprovechar las ventajas de diferentes tecnologías y procesos para obtener un tratamiento más completo y efectivo de los lixiviados.

En lugar de utilizar una sola tecnología o proceso, la síntesis de tecnologías convencionales integra múltiples etapas o unidades de tratamiento para abordar diferentes aspectos del lixiviado, como la remoción de materia orgánica, la eliminación de sólidos, la reducción de contaminantes y la desinfección. Al combinar y secuenciar las tecnologías de manera adecuada, se busca maximizar la eficiencia del tratamiento y cumplir con los estándares ambientales necesarios.

Por ejemplo, en los Rellenos jóvenes, los tratamientos biológicos proporcionan eficiencias de eliminación razonables para la DQO, el NH₃-N y los metales pesados. En el caso de los lixiviados procedentes de Rellenos estabilizados (menos biodegradables), los tratamientos físico químicos han demostrado ser adecuados como tratamiento terciario de los lixiviados tratados biológicamente para eliminar las sustancias orgánicas refractarias. Los procesos químico-físico-biológicos integrados (en cualquier orden) mejoran las desventajas de los procesos individuales, contribuyendo así a una mayor eficiencia global del tratamiento.

Sin embargo, los tratamientos convencionales pueden no ser suficientes para alcanzar el nivel de depuración necesario para reducir totalmente el impacto negativo de los lixiviados en el medio ambiente. Por eso, los tratamientos más eficaces basados en la tecnología de membranas han surgido como una alternativa de tratamiento viable para cumplir las normas de calidad del agua.

3.7.1.4 Tecnologías de membranas

Estas tecnologías son relativamente nuevas y han sufrido un rápido desarrollo en las últimas décadas. Las mismas agrupan, con variaciones en el grado de filtración, a la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa.

Estas pueden emplearse de manera directa o estar acopladas a otro tipo de proceso de tratamiento como la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa.

Estas pueden emplearse de manera directa o estar acopladas a otro tipo de proceso de tratamiento.

- Micro, ultra y nanofiltración (MF, UF y NF)

La principal diferencia entre la microfiltración, la nanofiltración y la ultrafiltración es el tamaño de los poros de la membrana. Con cada proceso de filtración diferente, ciertos elementos quedan retenidos y otros logran pasar a través de la membrana. A continuación se observa un cuadro comparativo de las tecnologías mencionadas:

	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración
Utilidad	Elimina bacterias y sólidos en suspensión.	Eliminar solutos de elevado peso molecular	Controlar contaminantes orgánicos,

	Pretratamiento para otras filtraciones.	(macromoléculas) y todo tipo de microorganismos. Reemplazar la clarificación y desinfección.	inorgánicos (iones, polivalentes como, calcio y magnesio) y microbianos. Se requiere un control eficiente del ensuciamiento (fouling) de las membranas.
Valor típico del poro	0.1 - 10 μm	1 a 100 nm	0.1 a 1 nm
Presión de trabajo	50 a 500 kPa	Similar a la de microfiltración.	0.5 a 1.5 MPa

- Reactores de membrana

La combinación de la tecnología de separación por membrana y los biorreactores ha llevado a un nuevo enfoque en el tratamiento de aguas residuales. Los biorreactores de membrana (MBR) son sistemas muy compactos que trabajan con una alta concentración de biomasa y logran una baja producción de lodo con una excelente calidad de efluente, apta para reúso (riego, lavado de camiones, descarga de inodoros, etc.). Los MBR se han aplicado ampliamente a gran escala en el tratamiento de efluentes industriales y algunas plantas se han adaptado al tratamiento de lixiviados.

La tecnología MBR se basa en la combinación del tratamiento convencional de lodos activados junto con un proceso de filtración a través de una membrana con un tamaño de poro de entre 10 nm y 0,4 micrones (micro/ultrafiltración), que permite la separación de los lodos. La membrana actúa como una barrera que retiene todas las partículas, coloides, y bacterias (no así de virus), proporcionando una desinfección parcial del agua tratada.

- Ósmosis inversa

Consiste en la aplicación de una presión, cuyo valor está por encima de la presión osmótica de la solución salina, a una solución concentrada, de tal modo que se fuerza el pasaje del solvente a través de una membrana semipermeable, capaz de retener sales y solutos de bajo peso molecular. La ósmosis inversa es capaz de rechazar contaminantes o partículas, con diámetros del orden de los 0,0001 μm , por lo cual puede lograrse la remoción de sales, dureza, patógenos, turbiedad, retención de subproductos de la desinfección y precursores de trihalometanos (THMs), compuestos orgánicos sintéticos, plaguicidas y la mayoría de los contaminantes más comúnmente encontrados en el agua potable.

En lo referente a aplicaciones con lixiviados, en general, la tecnología es muy eficaz para eliminar la mayoría de los contaminantes. Es preciso reparar en que la mayoría de las aplicaciones directas se han realizado sobre lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, inferiores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados antiguos o pretratados.

El método diseñado para el sistema de tratamientos de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario del partido de Lobería se describe en el capítulo 4.4.1, el mismo comienza con un pretratamiento para homogeneizar el efluente, seguido de un tratamiento primario, específicamente un tratamiento biológico por lodos activos. Este consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos en un biorreactor o reactor biológico aireado y agitado, que es alimentado con el agua residual, tal como se muestra en la ilustración N° 12 La aireación implica que es un proceso aerobio (suministra oxígeno necesario a los microorganismos). Además la aireación favorece una buena mezcla en el biorreactor (lo que puede permitir considerarlo como un reactor de mezcla perfecta), evita sedimentos y homogeniza la mezcla de los flóculos bacterianos con el agua residual. Las bacterias son capaces de metabolizar como nutrientes los contaminantes orgánicos presentes en el agua. Los procesos que aquí se producen son exactamente los mismos que en los ríos o lagos naturales, pero en los tanques de aireación, los organismos se agrupan en un espacio reducido y en gran número. Al cabo de un tiempo determinado (denominado tiempo de residencia), la mezcla de reacción se conduce hasta un tanque de sedimentación para la separación del agua residual tratada y la biomasa generada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el biorreactor la concentración de células deseada, mientras que otra parte puede purgarse del sistema. De este modo, el biorreactor puede funcionar en estado estacionario. Sin la corriente de purga, la biomasa se iría acumulando indefinidamente en el sistema (sistema no estacionario), ya que la biomasa en la corriente de salida sería inferior a la que se genera en el biorreactor. (Torres, N. 2014)

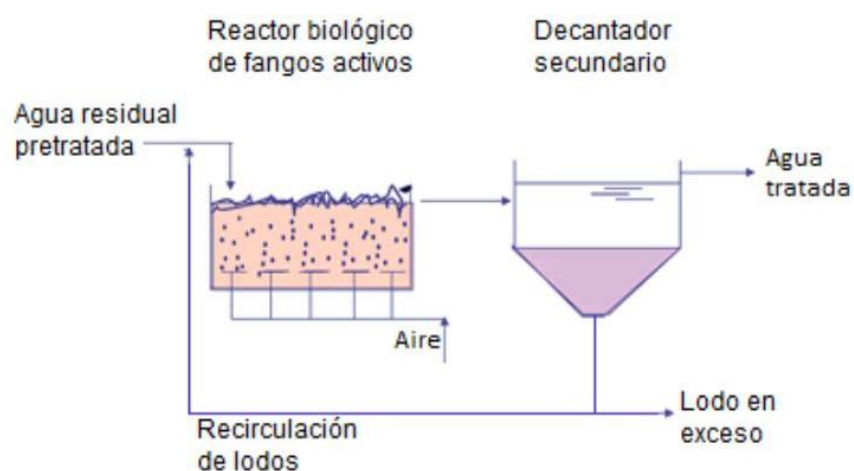


Ilustración 12: Sistema de tratamiento primario: Tratamiento biológico por lodos activos.

Otro factor sumamente importante a tener en cuenta en el diseño de un Relleno Sanitario y particularmente en el diseño del sistema de tratamiento de los lixiviados es el caudal generado, ya que de esto dependerá el tipo de tratamiento y el dimensionamiento tanto de los sistemas de captura y colección de líquidos como así también del sistema de tratamiento elegido.

En primer lugar, cabe destacar que la generación de los lixiviados se ve afectada por diversos factores, algunos de ellos se mencionan a continuación (Montejo, 2010):

- Infiltración de agua: para la cual influyen elementos como la precipitación pluvial y la

cobertura de los residuos sólidos municipales, sujeto a componentes como la ubicación geográfica, época del año, aspectos climatológicos, evaporación, evapotranspiración, espesor de impermeable, tipo de materiales, compactación y pendiente.

- Características de los residuos: influye la tipología, para componentes diversos como la composición, humedad y el tamaño y grado de compactación.
- Actividades microbianas: consistente en las actividades aerobias y anaerobias, las cuales dependen de componentes como la naturaleza de los materiales, temperatura, relación carbono/nitrógeno, potencial de hidrógeno (pH) y el contenido de sustancias tóxicas.
- Operación de Relleno: está compuesta por la eficiencia operativa, como elemento asociado de un grupo de componentes tales como las bermas temporales, obras de desvío de aguas y la cobertura diaria de los residuos sólidos.
- Intrusión de aguas subterráneas: la eficiencia operativa es el elemento que lo contiene donde la impermeabilización adecuada es el componente que viene relacionado con éste.

Por otro lado, las pérdidas de agua que se dan en los Rellenos Sanitarios se deben principalmente a:

- Evaporación.
- Evapotranspiración.
- Emanaciones de biogás saturado.

Por lo tanto, los principales factores que influyen en la generación de los lixiviados en un sitio de disposición final son los siguientes:

- Existencia y tipo de materiales de cubierta sobre los residuos.
- Existencia y tipo de barreras entre los residuos y el agua en zonas húmedas o pantanos.
- Intrusión de agua subterránea o de irrigación.
- Disposición conjunta de residuos industriales o lodos.
- Capacidad de campo del material de cubierta.
- Capacidad de campo de los residuos.
- Disposición conjunta de residuos sólidos.
- Pendiente superficial del material.
- Forma de operación del sitio.
- Climatología.
- Espesor de los residuos sólidos.
- Existencia y tipo de vegetación.

Debido a la diversidad de factores que influyen en la generación de lixiviados es que se han desarrollado un gran número de modelos matemáticos y programas basados en modelos matemáticos para calcular la cantidad de Lixiviado generado en un Relleno Sanitario. La mayoría de estos modelos se basan en el Water Balance Method – WBM de la Environmental Protection Agency (EPA). Este método se basa en la cuantificación de diversos parámetros

que intervienen en la producción de lixiviados, tales como la precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, infiltración y percolación, de los cuales, los parámetros climatológicos, se obtienen de datos meteorológicos mensuales totales multianuales y mensuales promedio.

A continuación, se mencionan los distintos modelos para calcular la generación de lixiviados:

- Método del balance hídrico o de THORNTHWAITE (Fenn): se basa en observaciones empíricas de los períodos de tiempos por etapas del Relleno Sanitario y se apoya en datos climatológicos. No toma en cuenta las actividades microbianas (es decir se asume, de modo conservador, que el agua consumida en la descomposición de residuos y generación de biogás, es igual a cero). Tampoco toma en cuenta la posible intrusión de agua subterránea.
- Método HELP: Es un modelo determinístico que se basa en información climatológica, edafológica, hidrogeológica y de diseño.
- Método de balance de agua: es un modelo determinístico, se basa en información climatológica, la cantidad de humedad de los residuos, la acción microbiana, el suelo y material de cobertura, la época del año.
- Método suizo: permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la expresión N°1:

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q = caudal de líquido lixiviado en l/seg

P = precipitación media anual en mm/año

A = Área superficial del Relleno

T = número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = coeficiente que depende del grado de compactación de los residuos. Los valores recomendados son los siguientes:

- Para Rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (K=0,25 a 0,50) de la precipitación media anual correspondiente al área del Relleno.
- Para Rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del Relleno (Castillo, 2014).

Si bien esta última metodología es bastante general y deja a un lado algunos aspectos relativos a la capacidad de campo, es una de las más sencillas y rápidas, lo cual permite tener una idea del caudal generado, principalmente en las etapas previas a la operación del Relleno Sanitario (Diseño y dimensionamiento), ya que en la práctica las cantidades pueden variar

debido a su dependencia directa de los factores climáticos, ubicación, método de operación, entre otras.

Tabla 2: Principales diferencias entre los modelos de cálculo de lixiviados en Rellenos Sanitarios. Fuente: Montejo, 2010.

Modelos	Características
Thornthwaite (Fenn)	Observaciones empíricas de período de tiempo por etapas del Relleno Sanitario, se apoya en datos climatológicos. No toma en cuenta las actividades microbianas. No toma en cuenta la posible intrusión de agua subterránea.
Modelo Suizo	Esta es una de las metodologías o modelos de cálculo de generación de lixiviados en Rellenos Sanitarios más generales, deja de lado aspectos importantes relativos a la capacidad de los residuos de absorber agua.
Modelo HELP	Es un modelo determinístico, cuasi-bidimensional, se basa en la información climatológica, edafológica, de diseño y geo hídrica, desarrolla un balance hídrico lateral y vertical.
Método de balance de agua	Es un modelo determinístico, se basa en información climatológica, la cantidad de humedad de los residuos, la cantidad microbiana, el suelo y material de cobertura, la época del año.

3.7.2 Sistemas de tratamiento de gases

En un Relleno Sanitario suceden diversas reacciones biológicas, químicas y físicas. La descomposición de los residuos genera una serie de gases que son emitidos a la atmósfera generando un alto impacto ambiental, y consecuentemente repercutiendo en la calidad de vida de la población.

Los variados componentes de los RSU se degradan de acuerdo la composición del residuo, éstos presentan diferentes tiempos de degradación y no todos los materiales son biodegradables (o por lo menos en un lapso de tiempo relativamente corto). El período de tiempo que se requiere para que los RSU se degraden y genere emisiones gaseosas por reacciones químicas, biológicas etc., dependerá de diversas variables: el número de

organismos presentes en los residuos, temperatura, acidez (pH), contenido de humedad, cobertura y densidad de compactación de los residuos.

Las principales reacciones biológicas que se dan en el Relleno, son las que afectan a la materia orgánica, produciendo gas en su proceso de fermentación y en algunos casos líquidos.

Por lo tanto, como consecuencia de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los RSU dispuestos en un Relleno Sanitario, se genera "biogás". El proceso de generación, atraviesa varias fases a lo largo del tiempo.

Fase I: Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono (CO_2), agua, materia parcialmente degradada.

Fase II: Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y la reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono (CO_2).

Fase III: Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano (CH_4) que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono (CO_2).

Fase IV: Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano en volumen.

Fase V: Estabilización, la producción de metano comienza a disminuir y la presencia de aire introduce condiciones aeróbicas en el sistema.

A esto se le suman un gran número de reacciones bioquímicas y químicas como la disolución y arrastre en suspensión de los materiales en los líquidos que se filtran en los residuos, la evaporación de compuestos químicos y de agua en el gas generado, la absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en los residuos, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y reacciones de oxidación - reducción que afectan metales y a la solubilidad de las sales metálicas.

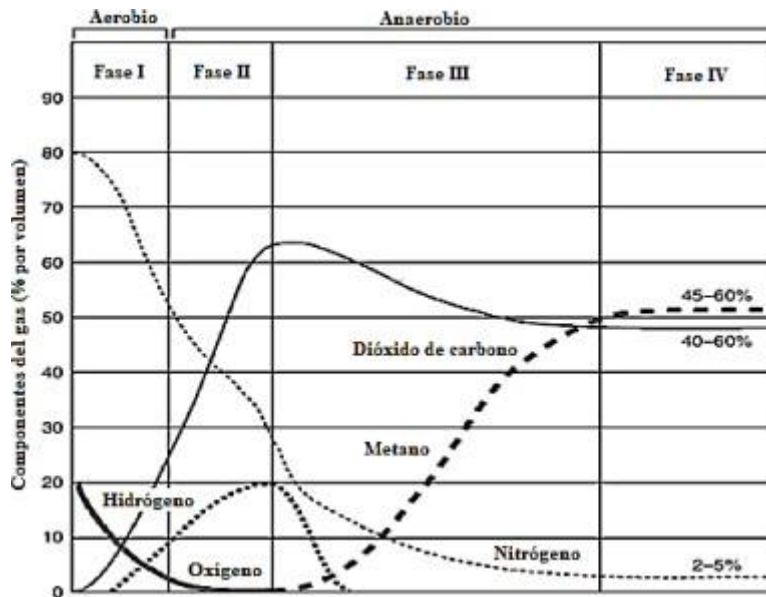


Ilustración 13: Variación en la composición del biogás de un Relleno Sanitario.

A este gas se lo conoce como “biogás”, este, como ya se mencionó, es producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable.

Las fases mencionadas anteriormente, afectan la composición del biogás y la duración de cada una se encuentra determinada por las condiciones climáticas y los factores operativos del Relleno Sanitario. Los componentes mayoritarios del biogás son: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y vapor de agua (H₂O). Sin embargo, el metano es de particular importancia, debido a que es el segundo gas de efecto invernadero más importante producido por el hombre después del dióxido de carbono, es responsable de más de un tercio del forzamiento del cambio climático antropogénico. Aunque el metano permanece en la atmósfera por un período de tiempo más corto y es emitido en cantidades más pequeñas que el CO₂, su potencial para atrapar el calor en la atmósfera, llamado su “potencial de calentamiento global”, es 25 veces mayor que el CO₂.

La producción de biogás en las primeras etapas de vida de un Relleno Sanitario puede ser mínima durante varios meses, sin embargo, en Relleno Sanitario con una vida útil media o recientemente clausurado la producción se puede encontrar en su máxima capacidad, tardando varios años en dejar de producir este biogás, incluso tras el cierre, un Relleno Sanitario continúa con la generación y emisión de biogás, posiblemente por varios cientos de años (Camargo Y. y Vélez A., 2009).

→ Biogás

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano cerca de los 500 ° C). La temperatura de la llama alcanza 870 ° C.

El biogás es una mezcla de gases compuesta principalmente de: - Metano (CH₄): 40-70% del volumen. - Dióxido de carbono (CO₂): 30-60 vol.% - Otros gases: 1-5 vol.%; incluyendo hidrógeno (H₂): 0-1 vol.% y sulfuro de hidrógeno (H₂S): 0-3 vol.% y trazas de vapor de agua.

El valor calorífico del biogás es cerca de 6 kWh por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diésel. El biogás tiene la cualidad de ser explosivo e inflamable, por lo tanto, si no se lo evacua de manera adecuada se dispersa sin control dentro del Relleno e invade también terrenos adyacentes, pudiendo así causar incendios o explosiones.

Mientras se produce gas en el Relleno, la presión interna crece, pudiendo causar roturas en la cobertura de las cavas y generar escapes. Esto también generaría la entrada de mayor cantidad de agua al mismo aumentando y acelerando la producción de gases y lixiviados.

El movimiento y las emisiones de gases necesitan un especial cuidado en la gestión del Relleno principalmente considerando lo mencionado anteriormente, y el alto peligro de explosión y/o combustión que estos poseen por su elevado contenido de metano.

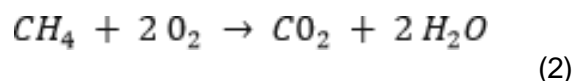
Algunos de los gases generados en el RS, son conocidos como “gases de efecto invernadero”,

Entre los más relevantes se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Para la cuantificación y comparación de las emisiones directas se expresan en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq.) Se recomienda utilizar los Potenciales de Calentamiento Global (PCG) considerados para el segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto publicados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. El potencial de calentamiento global (PCG) mide los efectos relativos del calentamiento global que diferentes gases ejercen sobre la Tierra. Asigna un valor a la cantidad de calor atrapada por una masa de gas determinada, en relación con la cantidad de calor atrapada por una masa similar de dióxido de carbono, durante un período específico de tiempo (United Nations Environment Programme).

Tabla 3: Potencial de Calentamiento Global.

Gas	Potencial de Calentamiento Global
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Por este motivo, la combustión del metano generado como biogás en el Relleno Sanitario produce CO₂ y H₂O como producto de reacción, haciendo que el gas liberado (CO₂) sea 25 veces menos nocivo para la atmósfera que el metano.



3.7.2.1 Manejo de gases

El gas de Relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarlos solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos.

3.7.2.2 Recolección de biogás en Rellenos Sanitarios

La captación de biogás generalmente comienza después de que una sección de Relleno Sanitario conocida como "celda" es recubierta para la colocación de residuos adicionales. El sistema de extracción más común se basa en tuberías verticales perforadas como se muestra en la Ilustración N° 14 que pueden estar conectadas a una tubería de recolección principal o individualmente a estaciones de regulación.

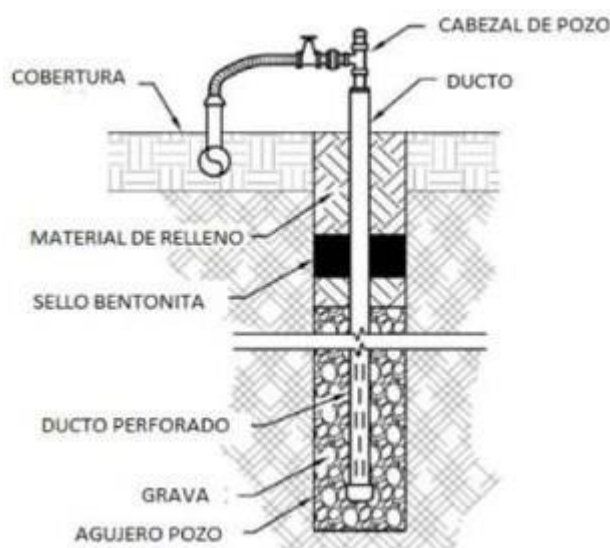


Ilustración 14: Sistema de captación pasivo de gases en Rellenos Sanitarios

El cálculo de la cantidad de chimeneas de venteo en un Relleno Sanitario puede variar dependiendo de factores, como la composición de los residuos, la tasa de generación de gases y las regulaciones ambientales locales. Sin embargo, se puede emplear una metodología general para estimar la cantidad de chimeneas de venteo en una hectárea de Relleno Sanitario:

1. Determinar la tasa de generación de gas: La tasa de generación de gas en un Relleno Sanitario puede variar según diferentes factores, como la vida ya operativa del Relleno y los tipos de residuos depositados.

2. Calcular la cantidad de gas generado por hectárea: Para calcular la cantidad de gas generado en una hectárea de Relleno Sanitario, se debe multiplicar la tasa de generación de gas por el peso total de residuos depositados en un año.
3. Determinar el flujo de gas por chimenea: El flujo de gas que una chimenea puede manejar depende de su diseño y capacidad. Por lo general, se utilizan chimeneas de diferentes tamaños y diámetros para manejar diferentes cantidades de gas. Se debe tener en cuenta los estándares técnicos locales para obtener información sobre el flujo de gas recomendado por la chimenea.
4. Dividir el flujo de gas total por el flujo de gas por chimenea: Dividir la cantidad total de gas generado en la hectárea por el flujo de gas recomendado por chimenea. Esto te dará una estimación aproximada de la cantidad de chimeneas de venteo necesarias.

Sin embargo, en términos generales, se puede considerar la distribución equitativa de chimeneas de venteo en función de la superficie total del Relleno Sanitario. A continuación, se presenta una sugerencia aproximada para la cantidad de chimeneas de venteo en relación a la superficie:

- Dividir el Relleno Sanitario en áreas o sectores: Dividir el Relleno Sanitario en áreas o sectores más pequeños facilita la gestión y el monitoreo de los gases. Esto depende del diseño y la topografía del Relleno, así como de las características de los residuos.
- Establecer una densidad de chimeneas por área: Determinar una densidad de chimeneas de venteo por área en función de las características del Relleno Sanitario. Esta densidad podría variar según la tasa de generación de gas y otros factores. Por ejemplo, podrías considerar una densidad de tres chimeneas cada 1 hectárea⁷, dependiendo de la intensidad de generación de gas.
- Calcular la cantidad total de chimeneas: Multiplicar la densidad de chimeneas por la superficie total del Relleno Sanitario.

Es importante destacar que estos cálculos son una aproximación y que los diseños y requisitos específicos pueden variar según la ubicación y las regulaciones locales.

Sin embargo, es esencial realizar un análisis detallado del sitio, considerando factores como la composición de los residuos, la tasa de generación de gases, las características del suelo y otros aspectos específicos del Relleno Sanitario.

Para extraer el biogás de un Relleno Sanitario, en general se utilizan las siguientes técnicas:

- Contención: Se instalan barreras impermeables alrededor del Relleno para la extracción y recolección del biogás.
- Ventilación pasiva: Se cavan trincheras rellenas con material granular (por ejemplo: gravilla) alrededor del Relleno. Esto rodea las celdas con un área de alta permeabilidad que permite al gas escapar y ser recolectado.
- Ventilación activa: Se instalan corredores o pozos de alta permeabilidad interconectados mediante una red de tuberías que permite recolectar el biogás, usualmente con la adición de una pequeña presión de succión.

⁷ “Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios” (2016) Daniel Álvaro López Arriaza

El biogás se puede dejar escapar a la atmósfera, se puede quemar en antorchas o utilizar para generar energía.

Aunque presenta particularidades muy interesantes y amigables con el medio ambiente la obtención de energía a partir de biogás, implica una inversión mayor a la inversión base. También se debe considerar que, por el monto de basura que llega al Relleno sería una inversión sin argumentación sólida, ya que no tendrá un volumen ni una capacidad calorífica significativa que justifique la inversión.

Para la construcción de las chimeneas se comienza con la colocación, en el fondo de la celda, de un molde cilíndrico metálico con un diámetro determinado, dentro del molde se coloca el caño de PEAD en el centro y el dren pétreo alrededor.

Una vez que la celda inicia su operación y el nivel de los residuos llega a la altura del molde cilíndrico, este es retirado hacia arriba, quedando conformada un tramo de la chimenea de venteo. Esta operación se repite sucesivamente hasta la cota de cierre en cada una de las chimeneas proyectadas. En la parte superior se ubica la antorcha, donde se da la quema de los mismos

3.7.2.3. Tratamiento de gases

Entre los principales tratamientos se pueden mencionar:

- Aprovechar generando energía: Mediante la captación y aprovechamiento del biogás.
- Venteo de gases: Esto hace referencia a la recolección y venteo del mismo. Esta alternativa no es la más recomendada, ya que ventear a la atmósfera ocasionando emisiones de CH₄.
- Quema de gases: A diferencia del venteo de gases, en esta práctica el gas es conducido a conductos que se contactan con el exterior mediante antorchas.

3.8 Controles de funcionamiento del Relleno Sanitario

Se deberán tomar medidas para reducir al máximo las molestias y riesgos procedentes del Relleno Sanitario en forma de:

- Emisión de olores y polvo.
- Materiales transportados por el viento.
- Ruido y tráfico.
- Aves, insectos y roedores.
- Incendios.

Los controles que se deberán llevar a cabo son:

I. Control y Monitoreo de Aguas Subterráneas

Se realizarán los siguientes análisis de laboratorio con frecuencia bimestral en los pozos propios y aledaños de manera tal que conformen una red representativa con relación a la dirección del escurrimiento subterráneo. Esto es de suma importancia ya que, como se mencionó anteriormente, es muy estrecha la cercanía a los acuíferos de la zona.

- Análisis Físicoquímico: pH-conductividad- alcalinidad- cloruros- nitritos- nitratos- nitrógeno - fósforo total- sulfatos- sulfuro entre otros.
- Análisis bacteriológico: coliformes totales bacterias aerobias a 37°C por ml y bacterias escherichia coli.

Con frecuencia cuatrimestral se realizarán las siguientes determinaciones:

- Metales hierro- plomo- zinc- mercurio- cadmio- cromo y cobre. (En condiciones disueltos y particulado).

II. Control y Monitoreo de Lixiviados y barros

Se realizará mediante el aforo de los líquidos extraídos de cada celda. Algunos parámetros incluidos en las planillas de monitoreo son:

Temperatura.- pH -Sólidos Sedimentados 10´- Sólidos Sedimentados 2hs - Sulfuros- DBO – DQO – SSEE – Oxígeno -Cianuros -Hidrocarburos -Cromo (2)- Cadmio - Plomo- Mercurio- Arsénico- Sustancias Fenólicas.

III. Control de la calidad de agua de cursos superficiales

Se debe monitorear cursos de agua superficiales permanentes, tanto aguas arriba como aguas abajo del predio con una frecuencia semestral.

Sobre estos cursos se efectuarán las siguientes determinaciones:

- Análisis Físicoquímico: Constituyentes Orgánicos e Inorgánicos ph-DBO-Conductividad.
- Análisis Microbiológico.

IV. Control y Monitoreo de Gases

Control y monitoreo de gases de acuerdo a la Ley Provincial 5.965 de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera a la salida del tratamiento.

Se recomienda controlar dos tipos de emisiones gaseosas: las producidas en las antorchas de combustión de biogás de las plantas de tratamientos de gases y las producidas en la superficie, llamadas también emisiones difusas.

En el monitoreo de emisiones gaseosas en antorchas de combustión se realiza primero una caracterización del biogás y luego se estudian las emisiones gaseosas producto de la combustión. Se estima una frecuencia de muestreos semestral y el ente que realiza los análisis es la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

En el monitoreo de las emisiones difusas el muestreo se realiza con campanas de flujo y comprende dos etapas: la primera es la realización de un muestreo exhaustivo en cada complejo a fin de establecer las emisiones de los mismos y la segunda consiste en establecer la frecuencia y cantidad de campanas necesarias para obtener un muestreo representativo de las emisiones de cada complejo.

Con esta metodología se pueden establecer las emisiones gaseosas de un Relleno independientemente de otras fuentes emisoras.

La modelización de las emisiones gaseosas es el último eslabón en este proceso de controles. Involucra ambos tipos de emisiones e intenta determinar la dispersión en la atmósfera de diferentes sustancias analizadas en función de las condiciones meteorológicas reinantes en cada sitio y así establecer donde se encontrarán las mayores concentraciones de cada parámetro, que son comparadas con los niveles guía de la legislación vigente.

V. Control y Mantenimiento de Coberturas

Se realizarán inspecciones visuales permanentes a las celdas clausuradas y se realizarán las tareas necesarias para el reacondicionamiento de las coberturas, luego del proceso de asentamiento natural que sufren. Se respetarán las pendientes finales según lo indicado en nuestra propuesta técnica

VI. Control de Voladuras

Se emplea la técnica conocida como “barrera forestal”, la cual es doble y está conformada por arbustos bajos y eucaliptos globulus. Además la rápida cobertura de los residuos ingresados diariamente facilita evitar la dispersión de residuos.

La cobertura permanente de los residuos será la principal acción a implementar para el control de los vectores sanitarios. Igualmente se prevé acciones de Control Químico, con productos de uso profesional.

VII. Control y Monitoreo de las Reacciones Físicas, Químicas y Biológicas del Relleno

Los datos extraídos del monitoreo de napas, lixiviados, gases, placas de asentamiento, volúmenes procesados de residuos, datos climáticos, movimiento de suelos, etc. nos permitirán evaluar las reacciones químicas, físicas y biológicas del Relleno, pudiendo así conocer con anticipación posibles contingencias que hacen a la seguridad ambiental del Relleno.

VIII. Registro Pluviométrico y de Vientos

Se instalará una estación meteorológica automática para la colección y procesamiento digital de los datos de campo que permitan elaborar estadísticas a lo largo del período de operación y posteriormente durante la etapa de cierre, clausura y postclausura.

Los parámetros a monitorear serán:

- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Presión Atmosférica
- Dirección y velocidad del viento
- Punto de rocío
- Régimen de precipitaciones

IX. Sistema de control de Incendios

El predio contará con un tanque australiano, el que servirá como Reserva de incendios.

El Sistema de control de incendios prevé la sofocación de los focos ígneos mediante uso de acoplados tanque con bombas de impulsión y mangueras adecuadas. La laguna de estabilización servirá de reservorio de agua contra incendio.

Complementariamente el Plan de Contingencias prevé una adecuada planificación y determinación de los posibles riesgos de incendios y los roles del personal para el caso de siniestros.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Selección del método de Relleno Sanitario

Tal como se explicó en el capítulo anterior, existen diferentes tipos de Rellenos Sanitarios que varían en cuanto al diseño, manejo, métodos de operación, tipos de residuos que se pueden disponer, entre otros factores. Por este motivo, a la hora de escoger el tipo de Relleno Sanitario que se va a diseñar e instalar en el partido de Lobería, se tienen que tener en cuenta criterios que tienen que ver con las características geológicas e hidrológicas del sitio, así como también el cumplimiento de los parámetros establecidos por la legislación correspondiente a la jurisdicción en la cual se instalará el Relleno Sanitario.

En este caso corresponde realizar un diseño que cumpla con lo establecido por la Resolución 1143/2002, la cual fija las siguientes condiciones:

- El Relleno Sanitario deberá establecerse en áreas cuya zonificación catastral sea Rural.
- La base del Relleno en ningún caso podrá invadir el nivel del acuífero libre, debiendo estar ubicado como mínimo a 0,50 m sobre el nivel del mismo.
- La distancia mínima del perímetro del Relleno a pozos para extracción de agua potable, uso doméstico, industrial, riego y ganadero, debe ser de 500 m.
- Deberá existir una distancia mínima al límite de la traza urbana de 1.000 m.

Teniendo en cuenta las características geológicas e hidrogeológicas del partido de Lobería, el cual cuenta con una distancia al nivel freático de alrededor de 1,5 metros (descriptas en el capítulo 3) y en comparación a lo mencionado anteriormente con respecto a la distancia entre el Relleno Sanitario y el agua subterránea, se opta por la realización de un Relleno Sanitario de Área con el fin de reducir al máximo el riesgo de provocar la contaminación del medio natural (suelo y agua principalmente).

El diseño del mismo contemplará una altura de las celdas de 3,30 metros según lo recomendado por G. Tchobanoglous et al, 1994: *Para Rellenos Sanitarios con compactación manual, la altura de la celda diaria (incluidos residuos sólidos a disponer y cobertura diaria) no deberá ser mayor de 1,80 m y para Rellenos con compactación mecánica de 3,30 m.*

4.2 Caracterización y cuantificación de los residuos de la localidad de Lobería.

A la hora de realizar un proyecto que involucre el tratamiento o disposición final de los residuos generados en una localidad es sumamente importante conocer el origen y tipo de residuos que han de ser recolectados y dispuestos, cuál es su composición, la tasa de generación de los mismos y sus características físicas tales como densidad, humedad y poder calorífico. Esto permite diseñar el tratamiento acorde a las características propias del lugar, y de esta manera hacer más eficiente el proceso.

El conocimiento sobre los residuos sólidos generados en el municipio será un apoyo fundamental a la hora de planear el servicio de aseo urbano para el corto y largo plazo, para

su dimensionamiento y para la identificación del equipamiento y tecnologías disponibles económicamente viables.

Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos:

La caracterización de residuos es una herramienta esencial para la gestión efectiva de los mismos, ya que proporciona información valiosa para tomar decisiones informadas sobre cómo manejar los residuos en una ciudad.

Ésta consiste en determinar las características y propiedades de los residuos generados en una ciudad, incluyendo su composición, cantidad, tipo y origen.

Además, la caracterización de residuos ayuda a identificar las fuentes de residuos y los materiales que son más abundantes y problemáticos, lo que permite priorizar acciones y soluciones para mejorar la gestión de residuos. También se puede utilizar para evaluar el impacto ambiental de los residuos y para identificar oportunidades para reciclar y reutilizar materiales.

De acuerdo a lo analizado e indicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el 2010, en Argentina, la composición de RSU es la siguiente: 49% de los RSU son orgánicos, le siguen en proporción el Papel y Cartón (14%), Plásticos (15%), Vidrios (3%), Metales (2%), otros (18%). Este indicador permite conocer la fracción de residuos susceptibles de recuperación.

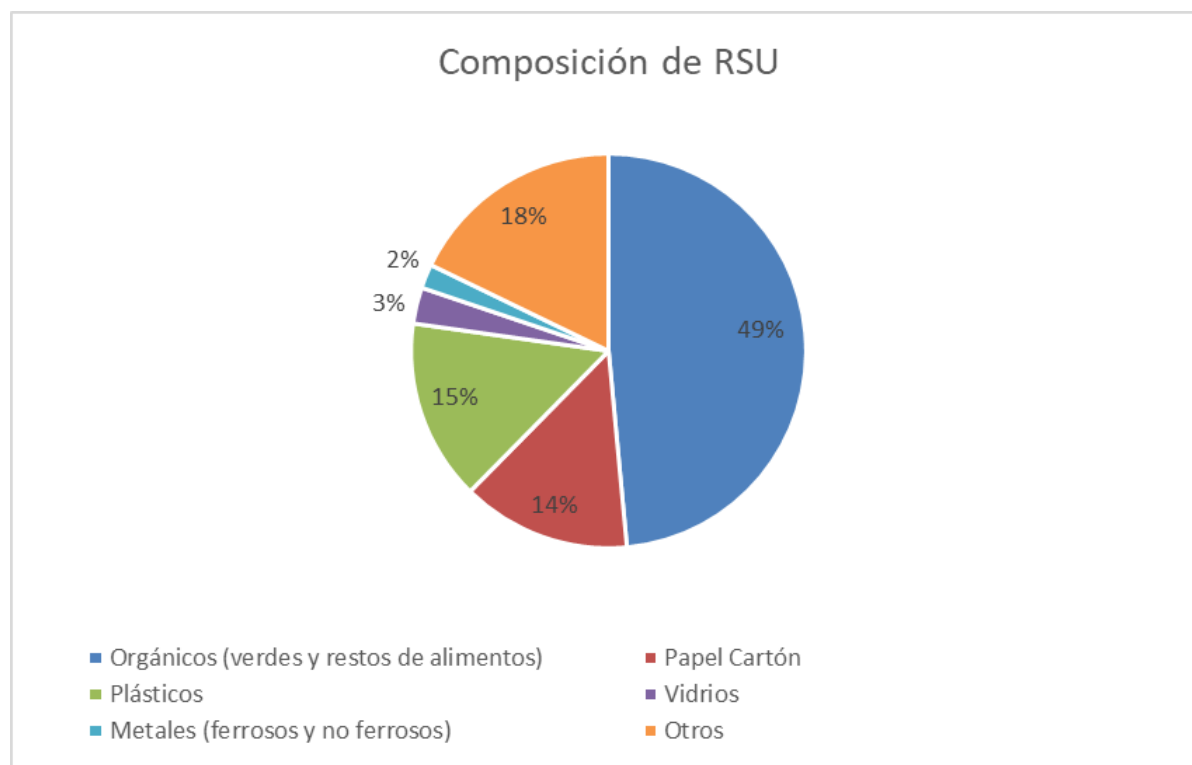


Ilustración 15: Composición de los RSU en Argentina. Fuente: Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. (2010).

Cuantificación de Residuos Sólidos Urbanos:

Conocer el volumen y cantidad de residuos generados en un municipio es indispensable para determinar la cantidad de vehículos recolectores, planificar las rutas y frecuencias de recolección y las características que deberá tener el Relleno Sanitario.

Asimismo, permite el seguimiento de los programas de Gestión Integral de Residuos, para valorar su eficacia y elaborar adecuaciones a los mismos.

Dado que en la ciudad nunca se han realizado cuantificaciones de residuos, se ha tomado valores de referencia de un trabajo a nivel nacional.

De acuerdo con los datos obtenidos del documento correspondiente a la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU), elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la república Argentina y publicado en el año 2012, se determinó la siguiente cuantificación de residuos para la localidad de Lobería:

Tabla 4: Cuantificación de los RSU de la localidad de Lobería. Fuente: Estrategia Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2012).

Localidad	GPC (Generación per cápita) (Kg/hab x día)	Generación diaria (toneladas/día)	Planta de clasifica ción	Disposición final-Relleno Sanitario	Basural a cielo abierto
Lobería	0,694	12,2	Si	No	Si

4.3 Proyección demográfica y cálculo del área mínima necesaria.

4.3.1 Proyección demográfica en el partido de Lobería

Realizar una proyección demográfica permite estimar la cantidad de residuos generados en el futuro por la población de la ciudad, lo cual posibilita determinar el tamaño y la capacidad necesarios para el Relleno Sanitario. Si no se realiza una proyección precisa, el Relleno Sanitario podría estar subdimensionado, y por lo tanto quedarse sin espacio antes de lo planificado, lo que resultaría en la necesidad de encontrar nuevas ubicaciones o costosos procesos de expansión, o por el contrario, podría estar sobredimensionado, lo cual hace que sea demasiado grande y costoso de operar.

Para el análisis de la proyección demográfica a analizar se utilizará el método de “tasas medias anuales decrecientes”, debido a que es apto para localidades que han sufrido un aporte migratorio o un incremento poblacional significativo en el pasado reciente. (Universidad Nacional de La Patagonia San Juan Bosco, 2015)

Para esto hay que determinar la tasa media anual para la proyección de la población, las cuales se definen en base al análisis de las tasas medias anuales de los dos últimos períodos intercensales. Para el cálculo de las mismas se necesitará contar con los datos estadísticos de población de los últimos tres censos nacionales de la localidad.

Determinación de tasas:

$$I_I = \sqrt[n_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \quad (3)$$

$$I_{II} = \sqrt[n_2]{\frac{P_3}{P_2}} - 1 \quad (4)$$

Donde:

I_I = tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal.

I_{II} = tasa media anual de variación de la población del último período censal.

P_1 = número de habitantes correspondientes al antepenúltimo censo (2001).

P_2 = número de habitantes correspondientes al penúltimo censo (2010).

P_3 = número de habitantes correspondientes al último censo (2022).

n_1 = número de años transcurridos entre el primero y segundo censo.

n_2 = número de años transcurridos entre el segundo y último censo.

Una vez calculadas las tasas medias anuales se puede estimar las poblaciones existentes en la fecha de ejecución del proyecto y la población al año "n", con las siguientes ecuaciones:

$$P_a = P_3 (1 + I)^{na} \quad (\text{Subperíodo 1}) \quad (5) \quad P_n = P_3 (1 + I)^n \quad (\text{subperíodo 2}) \quad (6)$$

$$P_n = 18.234 (1 + I)^n \quad (\text{subperíodo 2})$$

Donde:

P_a = estimaciones de población existente a la fecha de ejecución del proyecto.

P_n = estimaciones de población al año "n".

P_3 = número de habitantes correspondientes al último censo.

I = tasa media anual de proyección.

na = número de años transcurridos entre el último censo y la fecha de ejecución del proyecto.

n = número de años transcurridos entre el último censo y la fecha deseada.

Para cada subperíodo se determina la tasa media anual de proyección comparando los valores de las tasas medias históricas I_I e I_{II} . Considerando los datos de los tres últimos censos I_I corresponde a la calculada con los dos primeros valores e I_{II} con los dos últimos. Si I_I resulta menor que I_{II} , la tasa utilizada en la proyección del primer subperíodo debe ser igual al promedio entre ambas, resultando:

$$P_a = P_3 \left(1 + \frac{(I_I + I_{II})}{2}\right)^{na} \quad (7)$$

En el caso que I_I resulte mayor que I_{II} , la tasa de proyección debe ser igual al valor de I_{II} , se aplica la ecuación 5, resultando:

$$P_a = P_3 (1 + I_{II})^{na}$$

Año del censo	Cantidad de habitantes
2001	17.008 (P_1)
2010	17.523 (P_2)
2022	18.234 (P_3)

Cálculos:

Número de años del período censal entre el primero y segundo censo (n_1): 9

Número de años del período censal entre el segundo y último censo (n_2): 12

Utilizando la ecuación (3) y (4) podemos determinar los valores de la “tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal” (I_I) y de la “tasa media anual de variación de la población del último período censal” (I_{II}).

$$I_I = \sqrt[9]{\frac{17.523}{17.008}} - 1 \qquad I_{II} = \sqrt[12]{\frac{18.234}{17.523}} - 1$$

$$I_I = 0,003319997 \qquad I_{II} = 0,003319972$$

Se puede visualizar que $I_I > I_{II}$ por lo tanto la tasa de proyección que se utilizará es I_{II}

→ Proyección de la población del Partido de Lobería para el año de elaboración del proyecto:

Datos:

- Año de elaboración del proyecto: 2027. Se estima el año 2027 debido a un periodo de elaboración del proyecto (Análisis de factores sociales y económicos, determinación del sitio de emplazamiento, acondicionamiento del mismo). Por lo tanto, el número de años transcurridos entre el último censo y la fecha de ejecución del proyecto es de 5 años (na).
- Tasa de proyección utilizada (I_{II}) = 0,003319972
- $P_3=18.234$ habitantes.

Aplicando la ecuación (5) podemos calcular la estimación de la población existente a la fecha de ejecución del proyecto:

$$P_a = 18.234 (1 + 0,003319972)^5$$

$$P_a = 18.538$$

La cantidad de habitantes que se estiman para el 2027 en el Partido de Lobería es de 18.538 habitantes.

→ **Proyección de la población del Partido de Lobería para el año de cierre del Relleno Sanitario (2057)**

Datos:

- Año de cierre del Relleno Sanitario: 2057 (30 años de vida útil desde el año 2027). Por lo tanto, el número de años transcurridos entre el último censo y la fecha deseada (n) es de 30 años.
- Tasa de proyección utilizada (I_{II}) = 0,003319972
- P_3 : 18.234 habitantes

Aplicando la ecuación (5) podemos calcular la estimación de la población existente a la fecha de cierre del Relleno Sanitario:

$$P_n = 18.234 (1 + 0,003319972)^{30}$$

$$P_a = 20.477$$

La cantidad de habitantes que se estiman para el 2057 en el Partido de Lobería es de 20.477 habitantes

La tabla N° 5 muestra la proyección demográfica para cada año desde el estimado para el inicio de las operaciones del Relleno Sanitario hasta su cierre.

Tabla 5: Proyección demográfica. Partido de Lobería (2027-2057)

Año	Población proyectada
2027	18.539
2028	18.600
2029	18.662
2030	18.724
2031	18.786
2032	18.848
2033	18.911
2034	18.974
2035	19.037
2036	19.100

2037	19.163
2038	19.227
2039	19.291
2040	19.355
2041	19.419
2042	19.484
2043	19.548
2044	19.613
2045	19.678
2046	19.744
2047	19.809
2048	19.875
2049	19.941
2050	20.007
2051	20.074
2052	20.140
2053	20.207
2054	20.274
2055	20.342
2056	20.409
2057	20.477

4.3.2 Cálculo estimado del área mínima necesaria para el emplazamiento del Relleno Sanitario en el partido de Lobería.

Para la estimación del área mínima necesaria para el emplazamiento del Relleno Sanitario se deberá tener en cuenta el tipo de construcción, este caso se optó por el método de área, por lo tanto, es importante destacar que si bien se realizará una leve excavación, la mayor parte de los residuos se depositarán por encima del nivel del suelo. La altura recomendada a la que deben llegar los residuos compactados en un Relleno Sanitario se encuentra entre los 3 y 6 metros (J Jaramillo, 2002), sin embargo, se escoge la altura de 3,30 metros con el fin de disminuir el impacto visual y asegurar una buena estabilidad de los residuos compactados.

El método de estimación del área requerida para el emplazamiento de un Relleno Sanitario que se utilizará es el propuesto por J. Jaramillo (2002), para ello se calcula inicialmente el volumen que ocupará el Relleno Sanitario, el mismo, se encuentra en función de:

- La producción total de RSU.
- La cobertura de recolección (Si bien en la localidad de Lobería el sistema de recolección no cubre el 100% del área urbana, los sectores aledaños cuentan con contenedores cuyo contenido es recolectado periódicamente y depositado en el basural. Por lo tanto, podemos estimar que la totalidad de los residuos generados serán dispuestos en el Relleno Sanitario).
- La densidad de los RSU estabilizados en el Relleno Sanitario (Se estima una densidad de 600 Kg/m³ (Tchobanoglous et al, 1994).
- La cantidad del material de cobertura (20-25%) del volumen compactado de RSU.

Por último, se relacionarán dichos valores con la altura máxima que tendrá el Relleno Sanitario, el material de cobertura necesario y la superficie requerida para la instalación de oficinas y áreas complementarias.

Los datos con los que se cuenta para la estimación del área requerida se muestran a continuación:

Tabla 6: Datos para el cálculo del área necesaria

Población (Año de inicio de las operaciones)	18.539
Tasa de crecimiento de la población	0.33%
Generación de RSU per cápita	0.694
Tasa de crecimiento de la Generación per cápita anualmente	1%

Densidad de los residuos sólidos compactados en el Relleno Sanitario	600 Kg/ m ³
--	------------------------

Se tiene en cuenta la proyección demográfica realizada anteriormente, dichos valores permitirán conocer la generación de residuos para cada año de operación del Relleno Sanitario.

A continuación, se calcula la cantidad de residuos sólidos generados diariamente para cada año de operación. Se calcula la cantidad de RSU generados a partir del 2027 debido a que se estima que la operación del Relleno Sanitario iniciará en ese año.

Como se mencionó anteriormente, se contempla un periodo previo de planificación, ya que deben abordarse una serie de factores y consideraciones antes de que el sitio esté listo para su funcionamiento. Algunos de los motivos incluyen:

- **Financiamiento:** Asegurar el financiamiento necesario para la construcción y operación del Relleno Sanitario puede llevar tiempo. Esto puede incluir la búsqueda de inversores, la obtención de préstamos o la asignación de fondos gubernamentales.
- **Consultas y participación pública:** En muchos lugares, se requiere la consulta y la participación pública en el proceso de planificación de un Relleno Sanitario. Esto implica audiencias públicas, reuniones con la comunidad y la consideración de sus preocupaciones, lo que puede llevar tiempo.
- **Adquisición de terrenos:** En algunos casos, la adquisición de los terrenos necesarios para el Relleno Sanitario puede ser un proceso prolongado, ya que involucra negociaciones con propietarios de tierras y la compra de propiedades.
- **Planificación y permisos:** Antes de comenzar la construcción de un Relleno Sanitario, se requiere una planificación exhaustiva que incluye la selección del sitio adecuado, estudios de impacto ambiental y la obtención de los permisos necesarios. Esto implica consultas con las autoridades locales, la comunidad y otros organismos reguladores.
- **Evaluación de impacto ambiental:** La evaluación del impacto ambiental es un proceso clave para garantizar que el Relleno Sanitario cumpla con las regulaciones ambientales y no cause daños significativos al entorno natural. Esto implica estudios detallados y la implementación de medidas de mitigación, lo que puede retrasar el inicio de las operaciones.
- **Construcción:** Una vez que se obtienen los permisos, se debe llevar a cabo la construcción de las instalaciones necesarias, como celdas de disposición, sistemas de impermeabilización, sistemas de control de olores y drenaje, entre otros. La construcción puede ser un proceso largo y complejo que puede llevar varios años.
- **Infraestructura de acceso:** Es posible que sea necesario construir o mejorar caminos y rutas u otras infraestructuras de acceso para permitir el transporte de residuos al Relleno Sanitario de manera segura y eficiente. Esto también puede contribuir a la demora.
- **Cumplimiento de regulaciones y normativas:** Es fundamental garantizar que el Relleno Sanitario cumpla con todas las regulaciones y normativas ambientales y de salud antes de que se le permita operar. Esto implica una serie de revisiones y auditorías, lo que puede demorar el proceso.

Para ello se tiene en cuenta que la Generación per cápita (GPC) de residuos tiene una tasa de crecimiento anual del 1% (J Jaramillo, 2002), y que, considerando que el primer año se tiene una GPC de 0.694 Kg/ Hab día, se calcula la correspondiente para cada año según:

$$GPC_n = GPC_{(n-1)} \times 1.01 \quad (8)$$

Tabla 7: Cálculo de la generación de residuos per cápita para el partido de Lobería (Kg/ habitante día)

Año	Población proyectada	Generación per cápita (Kg/hab día)
2027	18.539	0,694
2028	18.600	0,701
2029	18.662	0,708
2030	18.724	0,715
2031	18.786	0,722
2032	18.848	0,729
2033	18.911	0,737
2034	18.974	0,744
2035	19.037	0,752
2036	19.100	0,759
2037	19.163	0,767
2038	19.227	0,774
2039	19.291	0,782
2040	19.355	0,790
2041	19.419	0,798
2042	19.484	0,806
2043	19.548	0,814
2044	19.613	0,822
2045	19.678	0,830
2046	19.744	0,838
2047	19.809	0,847
2048	19.875	0,855
2049	19.941	0,864
2050	20.007	0,872
2051	20.074	0,881
2052	20.140	0,890
2053	20.207	0,899
2054	20.274	0,908
2055	20.342	0,917
2056	20.409	0,926
2057	20.477	0,935

Por otro lado, la producción diaria de residuos se calcula teniendo en cuenta la generación per cápita y la población estimada para cada año del siguiente modo:

$$\text{GRD} = \text{Población} \times \text{GPC} \quad (9)$$

Donde,

GR_D = Generación de residuos diaria (Kg/ Día).

Población = Población proyectada para dicho año.

GPC = Generación per cápita para dicho año.

Tabla 8: Cálculo de la cantidad de residuos generados

Año	Generación per cápita (Kg/hab día)	Cantidad residuos Kg/día
2027	0,694	12.866
2028	0,701	13.038
2029	0,708	13.212
2030	0,715	13.388
2031	0,722	13.567
2032	0,729	13.748
2033	0,737	13.932
2034	0,744	14.118
2035	0,752	14.306
2036	0,759	14.497
2037	0,767	14.691
2038	0,774	14.887
2039	0,782	15.086
2040	0,790	15.287
2041	0,798	15.491
2042	0,806	15.698
2043	0,814	15.908
2044	0,822	16.120
2045	0,830	16.336
2046	0,838	16.554
2047	0,847	16.775
2048	0,855	16.999
2049	0,864	17.226

2050	0,872	17.456
2051	0,881	17.689
2052	0,890	17.925
2053	0,899	18.164
2054	0,908	18.407
2055	0,917	18.653
2056	0,926	18.902
2057	0,935	19.154

Una vez conocida la generación de residuos, se procede a calcular el volumen que éstos ocupan dentro del Relleno Sanitario, para lo cual se tiene en cuenta la densidad de los mismos compactados y estabilizados en el Relleno.

Siendo:

$$V \text{ diario} = \frac{GR_d}{D_{rsu}} \quad (10)$$

$$V \text{ anual compactado} = V \text{ diario} \times 365 \quad (11)$$

Donde:

V diario: Volumen de RSU por disponer en un día

(m³/día) V anual: Volumen de RSU en un año (m³/año)

GR_D: Generación de residuos diaria (Kg/día)

D_{rsu}= Densidad de los RSU (600 Kg/m³)

A continuación, la tabla N° 9 muestra los volúmenes calculados para cada año de operación del Relleno Sanitario y el total acumulado de los mismos:

Tabla 9: Volumen de residuos generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario

Año	Volumen de residuos		
	Diario (m ³ /día)	Anual (m ³ /año)	Total acumulado
2027	21,44	7.827	7.827
2028	21,73	7.931	15.758
2029	22,02	8.037	23.795
2030	22,3136	8.144,47	31.940
2031	22,61	8.253	40.193
2032	22,91	8.363	48.556
2033	23,22	8.475	57.031
2034	23,53	8.588	65.620
2035	23,84	8.703	74.323

2036	24,16	8.819	83.142
2037	24,48	8.937	92.079
2038	24,81	9.056	101.135
2039	25,14	9.177	110.312
2040	25,48	9.300	119.612
2041	25,82	9.424	129.036
2042	26,16	9.550	138.586
2043	26,51	9.677	148.263
2044	26,87	9.807	158.069
2045	27,23	9.937	168.007
2046	27,59	10.070	178.077
2047	27,96	10.205	188.282
2048	28,33	10.341	198.623
2049	28,71	10.479	209.102
2050	29,09	10.619	219.720
2051	29,48	10.761	230.481
2052	29,88	10.904	241.385
2053	30,27	11.050	252.435
2054	30,68	11.198	263.633
2055	31,09	11.347	274.980
2056	31,50	11.499	286.479
2057	31,92	11.652	298.131

Posteriormente, se procede a calcular el volumen del material de cobertura necesario para el volumen de residuos producidos, los cuales equivalen al 20 o 25% del volumen de los residuos recién compactados, siendo entonces:

$$\text{Material de cobertura} = V_{\text{anual compactado}} \times 0.20 \quad (12)$$

Tabla 10: Cálculo del material de cobertura necesario para los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario

Año	Material de cobertura (m ³ /año)
2027	1.565
2028	1.586
2029	1.607
2030	1.629
2031	1.651
2032	1.673

2033	1.695
2034	1.718
2035	1.741
2036	1.764
2037	1.787
2038	1.811
2039	1.835
2040	1.860
2041	1.885
2042	1.910
2043	1.935
2044	1.961
2045	1.987
2046	2.014
2047	2.041
2048	2.068
2049	2.096
2050	2.124
2051	2.152
2052	2.181
2053	2.210
2054	2.240
2055	2.269
2056	2.300
2057	2.330

Conociendo la cantidad del material de cobertura necesario, se deberá sumar al volumen que ocupan los residuos para poder conocer el volumen total necesario del Relleno Sanitario propiamente dicho, incluyendo los residuos compactados y el material de cobertura para cada año de operación.

$$V_{RS} = V_{Residuos} + V_{m.c} \quad (13)$$

V_{RS} =Volumen de Relleno Sanitario

$V_{Residuos}$ =Volumen de residuos compactados

$V_{m.c}$ =Volumen de material de cobertura

Tabla 11: Volumen de los residuos generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario

Año	Volumen	
	Relleno Sanitario (m3)	Acumulado (m3)
2027	9.392	9.392
2028	9.517	18.910
2029	9.645	28.554
2030	9.773	38.328
2031	9.904	48.231
2032	10.036	58.267
2033	10.170	68.438
2034	10.306	78.744
2035	10.444	89.187
2036	10.583	99.770
2037	10.724	110.494
2038	10.868	121.362
2039	11.013	132.375
2040	11.160	143.534
2041	11.309	154.843
2042	11.460	166.303
2043	11.613	177.915
2044	11.768	189.683
2045	11.925	201.608
2046	12.084	213.692
2047	12.246	225.938
2048	12.409	238.347
2049	12.575	250.922
2050	12.743	263.664
2051	12.913	276.577
2052	13.085	289.663
2053	13.260	302.923
2054	13.437	316.360
2055	13.616	329.976
2056	13.798	343.774
2057	13.983	357.757

Con los datos obtenidos hasta el momento:

Generación per cápita (Kg/hab día)	Cantidad de RSU (kg/ día)	Volumen de residuos total acumulado en 30 años (m3)	Material de cobertura total acumulado en 30 años (m3/año)	Volumen total (material de cobertura + RSU)
0,935	19.154	298.131	2.330	357.757

Se procede a realizar el **cálculo del área requerida**. Tal como se mencionó anteriormente, la altura total de los residuos (H_{RS}) será de 3.30 metros,

$$A_r = \frac{V_{RS}}{H_r} \quad (14)$$

H_R = Altura total de los residuos

V_{RS} = Volumen de Relleno Sanitario

A_R = Área de residuos

Inicialmente, se calcula el área del Relleno Sanitario exclusivamente requerida para cada año de operación, luego, se contempla un factor de aumento F para las áreas adicionales, para las cuales se asume un 30% del requerido por el Relleno Sanitario anualmente (J Jaramillo, 2002).

$$A_T = \sum_1^{30} (A_{RS} \times F) \quad (15)$$

Tabla 12: Área necesaria para la instalación del Relleno Sanitario sin Programa de Gestión de RSU

Año	Área Requerida sin la implementación de un PGIRSU			
	Relleno Sanitario (m2)	Relleno Sanitario (Ha)	Total (RS + Áreas complementarias) (m2)	Total (RS + Áreas complementarias) (Ha)
2027	2.846	0,3	3.700	0,37
2028	5.730	0,6	7.449	0,74
2029	8.653	0,9	11.249	1,12
2030	11.614	1,2	15.099	1,51
2031	14.616	1,5	19.000	1,90
2032	17.657	1,8	22.954	2,30
2033	20.739	2,1	26.960	2,70
2034	23.862	2,4	31.020	3,10
2035	27.026	2,7	35.134	3,51
2036	30.233	3,0	39.303	3,93
2037	33.483	3,3	43.528	4,35
2038	36.776	3,7	47.809	4,78
2039	40.114	4,0	52.148	5,21
2040	43.495	4,3	56.544	5,65
2041	46.922	4,7	60.999	6,10
2042	50.395	5,0	65.513	6,55
2043	53.914	5,4	70.088	7,01
2044	57.480	5,7	74.724	7,47
2045	61.093	6,1	79.421	7,94
2046	64.755	6,5	84.182	8,42
2047	68.466	6,8	89.006	8,90
2048	72.226	7,2	93.894	9,39
2049	76.037	7,6	98.848	9,88
2050	79.898	8,0	103.868	10,39
2051	83.811	8,4	108.955	10,90
2052	87.777	8,8	114.109	11,41
2053	91.795	9,2	119.333	11,93
2054	95.867	9,6	124.627	12,46
2055	99.993	10,0	129.991	13,00
2056	104.174	10,4	135.426	13,54
2057	108.411	10,8	140.935	14

Los cálculos indican que se necesitará una superficie de 14 hectáreas (considerando que los residuos compactados alcanzarán una altura máxima de 3,30 metros) para la instalación del Relleno Sanitario que tendrá una vida útil de 30 años en donde se depositarán los Residuos Sólidos Urbanos originados en el partido de Lobería.

Dicha dimensión contempla a su vez la superficie necesaria para las áreas adicionales, tales como las oficinas administrativas, el área de servicios (Vestuarios, sanitarios, comedor), área de control de ingresos, área de talleres, área de planta de tratamiento de lixiviados y de gases, entre otras.

Si hablamos del área necesaria para la disposición final de los residuos, es decir, el Relleno Sanitario propiamente dicho, se necesitarán, según los cálculos realizados, aproximadamente 11 hectáreas.

Por lo tanto se obtiene:

Área Operativa	Área Complementaria	Área total
11 hectáreas	3 hectáreas	14 hectáreas

Cabe destacar que el presente trabajo sólo indicará las dimensiones necesarias que deberá tener el Relleno Sanitario, ya que para determinar la ubicación del mismo en la ciudad de Lobería se requiere un análisis detallado y estudios preliminares con el objeto de determinar fehacientemente entre otras cosas: las condiciones hidrogeológicas del predio y el área, la calidad ambiental previa, las características topográficas y la calidad de los suelos existente para el correcto Balance de Suelo del futuro Relleno Sanitario (análisis de edafológico), etc.

Este análisis previo determinará la factibilidad de la implantación del Relleno Sanitario debido a todos sus aspectos: su ubicación, su nula afectación social, su accesibilidad, así como también sus adecuadas condiciones hidrogeológicas.

4.3.3 Diseño de módulo y celdas

Tal como se describió en el capítulo 4.3.2 y a través de los cálculos realizados, el área necesaria para que el Relleno Sanitario a instalar en la localidad de Lobería tenga una vida útil de 30 años, deberá ser de alrededor de 11 hectáreas correspondientes al área operativa.

Por otro lado, considerando que no hay un método único de Relleno Sanitario, para brindar mayor seguridad ambiental, se ha optado por el diseño de las áreas destinadas al Relleno Sanitario mediante la construcción de un "único" Módulo, conformado por un terraplén perimetral, que en su interior, mediante la colocación de bermas, divida, para una mejor operación, sectores bien definidos que incluyan en su interior las celdas.

Por esta razón, se recomienda, de acuerdo con la superficie necesaria, tipo de Relleno Sanitario, tipos de residuos a disponer y vida útil estimada, la siguiente disposición:

- El Relleno Sanitario contará con un módulo operativo denominado M1 cuya extensión será de 200 metros de ancho x 550 metros de largo, ocupando una superficie de 11 hectáreas. Dicho módulo tendrá un terraplén perimetral que permitirá el anclaje de la membrana.
- El interior del módulo 1 estará conformado por 4 sectores de explotación divididos por bermas y denominados S1, S2, S3 y S4. Estos sectores serán de 200 metros x 137.5 metros.
- A su vez, cada sector estará dividido por bermas en 4 celdas operativas cada uno (C1, C2., C3 y C4). Para la denominación de las celdas se antepondrá el número de Sector al número de Celda. Por ejemplo; S1C1, S1C2, S1C3, S1C4,

S2C1, S2C2, S2C3, S2C4,...

De esta manera quedan para explotación y operación 16 celdas. Cada una de ellas tendrá 137,5 metros x 50 metros.

- Los taludes de finalización de cada celda tendrán una pendiente máxima entre 10-30% para facilitar las tareas de compactación asegurando a su vez la estabilidad del mismo. Pendientes menores, son mejores para conseguir una buena compactación, a la vez que reducen el riesgo de producir fallas en los taludes y el mantenimiento a largo plazo. Por el contrario, cuanto mayor sea la pendiente de los taludes menor será la relación área superficial/volumen, con el consecuente ahorro de material de cobertura.

A continuación se muestra un diagrama con la disposición de las mencionadas celdas y sectores dentro del módulo del Relleno Sanitario.

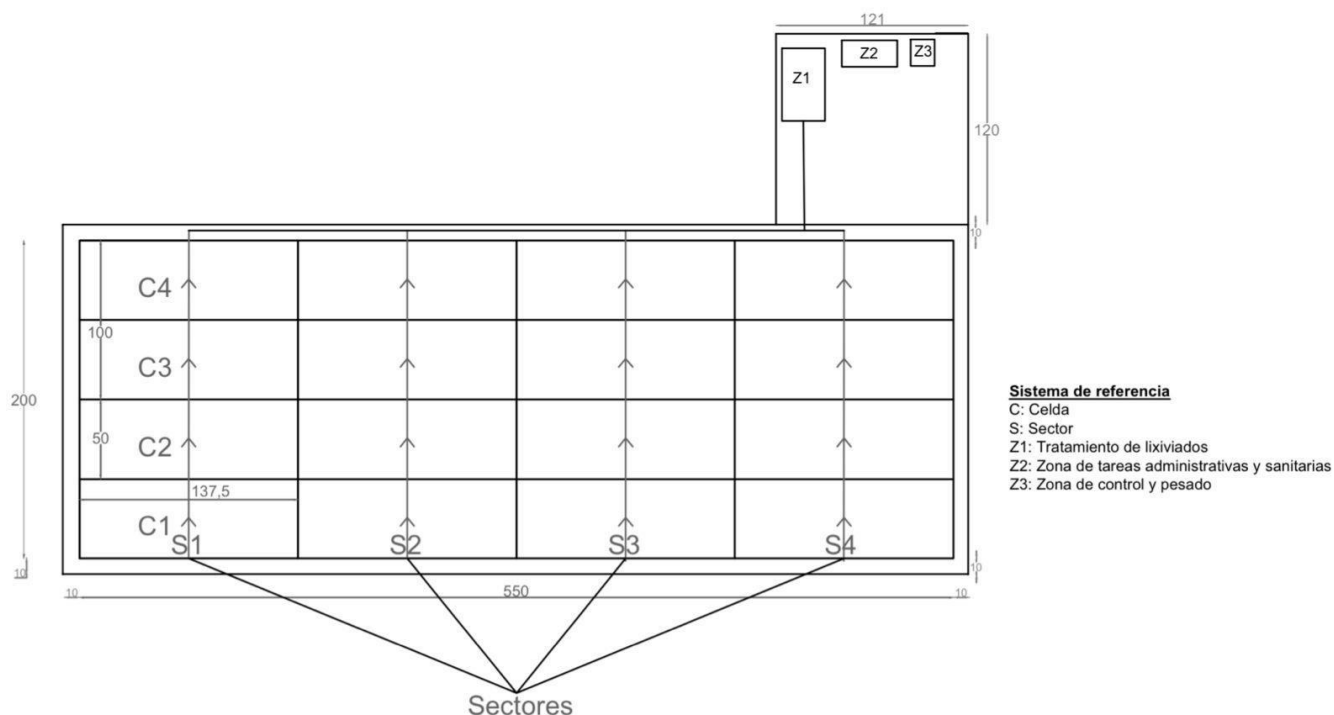


Ilustración 16: Disposición del módulo, celdas y áreas complementarias del Relleno Sanitario

4.4 Sistemas de Tratamiento

4.4.1 Sistema de Tratamiento de Lixiviados

4.4.1.1 Estimación del caudal generado

A la hora de determinar el sistema de tratamientos de los lixiviados generados apropiado para el Relleno Sanitario es fundamental conocer el volumen o caudal promedio de generación de éstos para determinar el método a emplear así como también las dimensiones que tendrá el mismo.

Se utilizará como método de cuantificación de los líquidos lixiviados generados en el Relleno Sanitario de la ciudad de Lobería el modelo suizo (descrito en el Capítulo 3: Marco teórico) ya que éste permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la ecuación N° 1:

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t}$$

Donde:

Q = caudal de líquido lixiviado en l/seg

P = precipitación media anual en mm/año

A = Área superficial del Relleno

T = número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = coeficiente que depende del grado de compactación de los residuos.

El primer paso para la aplicación del modelo suizo en la estimación del caudal de lixiviados fue examinar la precipitación media anual, para lo cual se tuvo en cuenta el régimen pluviométrico anual del sitio analizado (Lobería, provincia de Buenos Aires). Los datos corresponden a dos estudios llevados a cabo por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Uno de ellos es el RIAN: Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas. y el otro es el Informe Mensual Agropecuario EEA INTA Balcarce. ISSN 2796-7123.

Los datos corresponden a una serie histórica desde el año 2005 hasta la actualidad, donde se monitorean las precipitaciones de 4 sitios del partido de Lobería. Los mismos se detallan a continuación y se muestran en la ilustración N° 16:

Tabla 13: Ubicación de los pluviómetros en el partido de Lobería

Pluviómetro	Latitud	Longitud	Partido
ASP Pieres	-38,23	-58,40	Lobería
Los Húsares viejos	-38,05	-58,44	Lobería

O.I.T Lobería	-38,15	-58,78	Lobería
San Manuel	-37,79	-58,79	Lobería

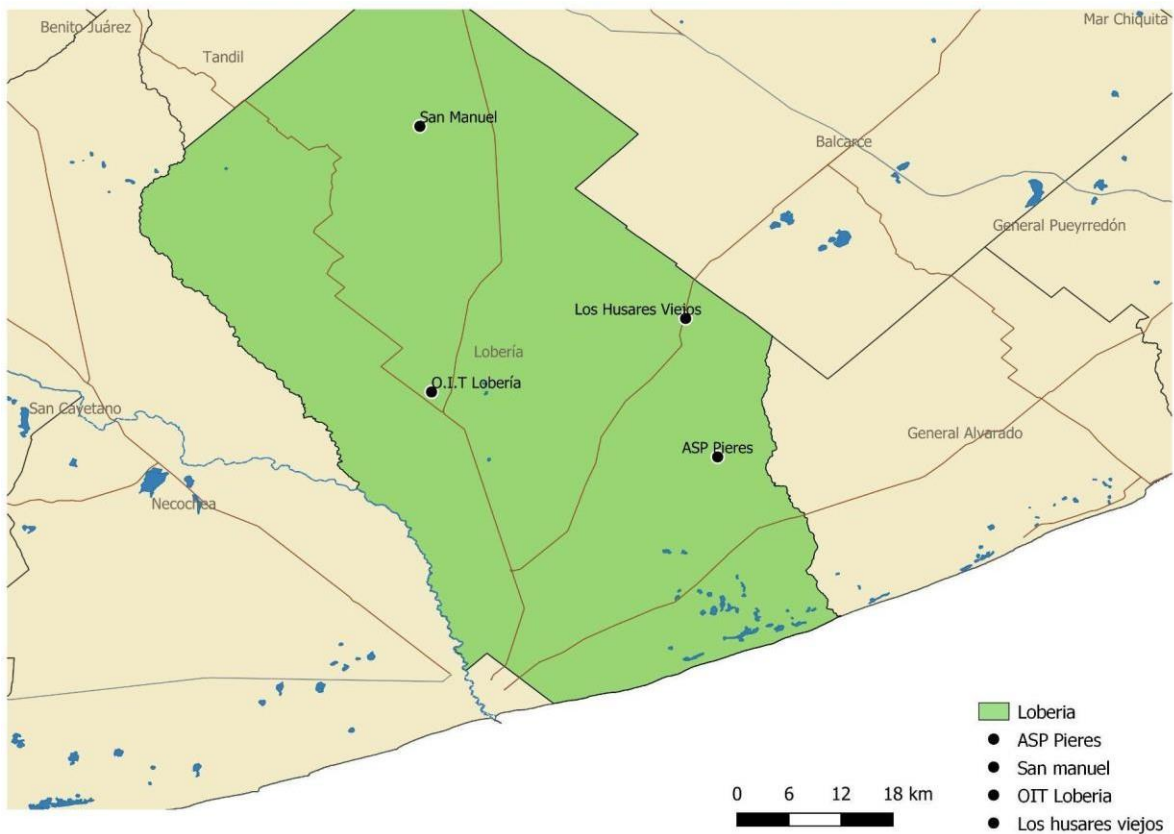


Ilustración 17: Ubicación de los pluviómetros. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INTA.

Los datos registrados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14: Precipitaciones registradas en el partido de Lobería. (2005-2023). Fuente: INTA.

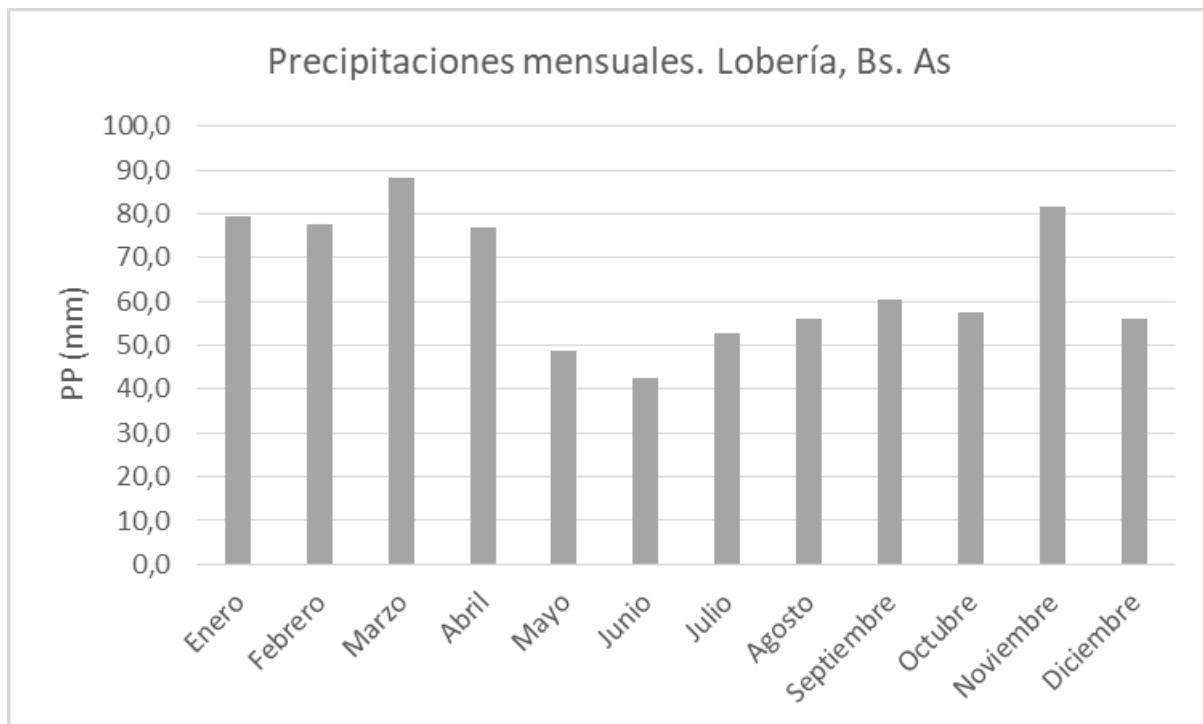
PP	Mes											
	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
2005	38,0	67,3	81,3	11,0	6,3	40,7	67,0	118,3	15,0	71,3	86,0	30,0
2006	155,7	36,3	0,0	65,3	4,3	53,3	81,7	7,3	31,0	123,7	20,3	54,7
2007	21,0	57,3	44,3	123,7	16,3	2,7	0,0	13,7	174,7	65,0	78,0	15,0
2008	95,0	102,0	259,3	19,3	45,0	46,7	74,4	31,2	18,0	13,7	39,0	35,3
2009	8,3	80,3	60,3	43,3	68,7	73,0	62,3	1,3	75,0	39,0	62,3	89,3
2010	103,3	146,7	171,0	34,7	47,3	56,0	95,0	38,0	77,7	69,7	84,3	49,3
2011	173,0	93,0	60,7	74,7	22,7	62,3	69,0	36,0	35,3	31,7	207,0	54,7
2012	100,0	69,7	118,3	39,7	149,0	15,7	2,0	273,7	59,3	45,0	116,7	179,0
2013	39,3	36,2	109,7	63,0	42,3	2,8	66,3	19,0	123,7	70,7	134,7	36,0
2014	103,7	89,0	117,7	70,3	63,7	49,7	78,0	138,3	58,0	118,3	128,0	46,3
2015	42,0	37,3	9,0	95,7	24,0	31,7	59,0	57,3	20,0	85,3	44,0	22,0
2016	57,0	83,7	53,0	76,7	62,0	50,7	42,0	0,0	73,3	21,0	16,0	56,7
2017	13,8	57,5	45,0	228,6	43,5	99,3	51,8	124,3	85,0	59,8	78,7	117,9
2018	76,5	64,5	80,5	172,8	33,6	9,3	42,8	43,3	71,0	37,0	89,0	58,5
2019	79,0	59,8	51,0	21,5	33,5	78,8	14,8	8,5	11,3	53,0	61,1	31,5
2020								16,7	0,0	4,3	31,0	37,0
2021	97,3	26,0	49,7	101,0	25,0	17,7	18,0	11,3	97,0	51,3	44,3	4,3
2022	99,3	63,0	75,7	38,7	27,3	8,3	17,3	11,7	0,0	15,0	64,3	36,7
2023	45,7	151,0	114,7	29,7	113,0	27,0						

Tal como se observa en la tabla anterior, el año 2020 no cuenta con datos registrados en los meses de enero a julio, así como tampoco el año 2023 cuenta con datos desde junio a diciembre. Por este motivo se procedió a realizar el promedio de precipitaciones mensuales considerando únicamente los años con datos. Estos se muestran a continuación:

Tabla 15: Promedio mensual de precipitaciones en el Partido de Lobería (2005-2023)

Mes	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
PP (mm)	79,3	77,7	88,3	77,0	48,7	42,7	52,6	55,9	60,3	57,3	81,5	56,1

La distribución mensual de precipitaciones en el partido de Lobería muestra un período lluvioso que comprende los meses desde noviembre hasta abril, y un período seco o de bajas precipitaciones, desde mayo hasta octubre. Siendo el promedio anual de precipitaciones de aproximadamente 65 mm/mes.



Teniendo en cuenta que el grado de compactación del Relleno Sanitario se estimó en unos 600 kg/m³ (Tchobanoglous et al, 1994) y que los valores recomendados para el coeficiente K son los siguientes (Castillo, 2014):

- *Para Rellenos débilmente compactados con peso específico de 400 a 700 Kg/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (K=0,25 a 0,50) de la precipitación media anual correspondiente al área del Relleno.*
- *Para Rellenos fuertemente compactados con peso específico > 700 Kg/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del Relleno.*

Es que se considera un coeficiente K=0.25.

La precipitación media mensual según los datos registrados es de 65 mm/mes, lo cual equivale a 65 litros/ m²

Si bien el área total del Relleno Sanitario propiamente dicho será de 10,84 Ha según los cálculos realizados en el capítulo 4.3.2, cabe destacar que ésta no se utilizará por completo desde el inicio de las actividades, sino que a medida que se depositen los residuos se abrirán nuevas celdas ampliando así el área utilizada. Por este motivo es que se aplicó el cálculo del caudal de lixiviados para cada año en los cuales estará operativo el Relleno, teniendo en cuenta el área estimada para cada uno de ellos.

Finalmente, mediante la ecuación N° 1 se procedió al cálculo del caudal medio de lixiviado generado para cada año, de la siguiente manera:

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t}$$

Tabla 16: Cálculo de lixiviados generados durante los 30 años de vida útil del Relleno Sanitario

Año	Área de Relleno Sanitario (m2)	Lixiviados (m3/mes)	Volumen Acumulado (m3/mes)	Total acumulado (m3)
2027	2.846	46	46	555
2028	5.730	93	139	1.672
2029	8.653	141	280	3.360
2030	11.614	189	469	5.624
2031	14.616	238	706	8.475
2032	17.657	287	993	11.918
2033	20.739	337	1.330	15.962
2034	23.862	388	1.718	20.615
2035	27.026	439	2.157	25.885
2036	30.233	491	2.648	31.780
2037	33.483	544	3.192	38.310
2038	36.776	598	3.790	45.481
2039	40.114	652	4.442	53.303
2040	43.495	707	5.149	61.785
2041	46.922	762	5.911	70.934
2042	50.395	819	6.730	80.761
2043	53.914	876	7.606	91.275
2044	57.480	934	8.540	102.483
2045	61.093	993	9.533	114.396
2046	64.755	1.052	10.585	127.024
2047	68.466	1.113	11.698	140.375
2048	72.226	1.174	12.872	154.459
2049	76.037	1.236	14.107	169.286
2050	79.898	1.298	15.406	184.866
2051	83.811	1.362	16.767	201.209
2052	87.777	1.426	18.194	218.326
2053	91.795	1.492	19.685	236.226
2054	95.867	1.558	21.243	254.920
2055	99.993	1.625	22.868	274.418
2056	104.174	1.693	24.561	294.732
2057	108.411	1.762	26.323	315.872

Una vez conocido el volumen que se generará para cada año, se estima el promedio general para poder tener una idea del volumen medio y así dimensionar el sistema de tratamiento, se obtiene así que el **volumen medio de lixiviados generado en el Relleno Sanitario de la ciudad de Lobería durante los 30 años de vida útil será de 850 m³/mes**

Es importante destacar que los modelos de estimación de la generación de lixiviados empleados mundialmente han demostrado márgenes de error importantes en cuanto a los volúmenes generados y la generación real. De acuerdo a estudios hechos por Schroeder et al. (1988), se establece que para métodos de balance de agua los errores pueden variar del orden del 83% al 154%. Por su parte, Pellón et al. (2015) plantean que tanto las precipitaciones y la humedad propia de los residuos sólidos son los indicadores más importantes a los efectos de estimar el volumen de lixiviados que se generan en los Rellenos Sanitarios. Por tanto, para el cálculo de la formación de lixiviados realizan un balance hidrológico en el vertedero, el cual tiene en cuenta la suma de todas las corrientes de aguas que entran en el mismo y la sustracción de las consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua (Espinosa et al., 2010). En esta oportunidad no se utilizó ese método ya que existen actualmente datos confiables acerca de las características de los residuos del partido de Lobería que permitan realizar una estimación más precisa.

Sin embargo, aunque para la estimación de la generación de lixiviados se han desarrollado diversos modelos a nivel mundial, algunos mencionados en el capítulo 3.7.1, el modelo suizo empleado en este proyecto resulta uno de los más usados internacionalmente.

4.4.1.2 Estimación de la carga contaminante

La composición fisicoquímica de los lixiviados de los Rellenos Sanitarios es compleja debido a que los procesos que la determinan se ven afectados por cambios en el clima, en la calidad de los RSU dispuestos y por la edad de los Rellenos.

En este caso, al no existir datos reales de la composición de los residuos generados en la ciudad de Lobería, se estimaron los valores de parámetros que se adoptarán para el diseño de la planta de lixiviados basados en bibliografía para un módulo genérico y 3 etapas etarias (Relleno joven, intermedio y maduro). La primera etapa, correspondiente al de un Relleno joven, en estos la carga orgánica resulta muy elevada, del orden de 10.000 mg DBO/L y la relación DBO/DQO toma un valor de 0,5, confirmando la biodegradabilidad del efluente. La siguiente etapa de edad intermedia contempla los años 4 a 10. La carga orgánica de los lixiviados es inferior en esta etapa, con una disminución de la relación DBO/DQO. Del año 11 en adelante se considerarán los valores de rellenos maduros, donde primarán los compuestos orgánicos recalcitrantes. (G. Tchobanoglous et al, 1994).

Estos valores teóricos se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17: Parámetros adoptados para el diseño de la planta de tratamiento de lixiviados. Fuente: G. Tchobanoglous et al, 1994.

Parámetro	Valor adoptado
DBO ₅ (mg/l)	10.000
DQO (mg/l)	18.000
Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO)	0,56
NTK (mg/l)	2.000
N-NH ₄ (mg/l)	1.600
P Total (mg/l)	100
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	7.000
SST (mg/L)	500
pH (upH)	7
SSEE (mg/l)	150

4.4.1.3 Condiciones de vuelco de efluentes líquidos.

El anexo II de la Resolución N°336/2003 de la Autoridad del Agua: “Parámetros de calidad de las descargas límite admisibles” establece los límites admisibles para descargar efluentes industriales en diferentes cuerpos receptores, dentro de los cuales se encuentran: colectora cloacal, conductos pluviales o cuerpo de agua superficial, absorción por el suelo, o mar abierto. Los mismos se adjuntan a continuación, en la tabla N°18.

Tabla 18: Parámetro de calidad de las descargas límite admisibles. Res. N°336/03

**ANEXO II
PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS DESCARGAS LÍMITE ADMISIBLES**

GRUPO	PARAMETRO	UNIDA D	CODIGO TECNICA ANALITICA	LIMITES PARA DESCARGAR A:			
				Colectora Cloacal	Cond. Pluv. o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (h)	Mar Abierto
I	Temperatura	°C	2550 B	≤45	≤45	≤45	≤45
	pH	upH	4500 H+ B	7,0-10	6,5-10	6,5-10	6,5-10
	Sólidos Sedim 10 Min (2)	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos Sedimen.2 Horas (2)	ml/l	Cono Imhoff	≤5,0	≤1,0	≤5,0	≤5,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤2,0	≤1,0	≤5,0	NE (c)
	S.S.E.E. (1)	mg/l	5520 B (1)	≤100	≤50	≤50	≤50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Hidrocarburos Totales	mg/l	EPA 418.1 ó ASTM3921- 85	≤30	≤30	Ausente	≤30
	Cloro Libre	mg/l	4500 Cl G (DPD)	NE	≤0,5	Ausente	≤0,5
Coliformes Fecales (f)	NMP/10 0ml	9223 A	≤20000	≤2000	≤2000	≤20000	

II	D.B.O.	mg/l	5210 B	≤200	≤50	≤200	≤200
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤700	≤250	≤500	≤500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤10	≤2,0	≤2,0	≤5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤2,0	≤0,5	≤0,1	≤2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	≤1000	NE	≤1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤10	≤2,0	≤0,1	≤10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤1,0	≤0,5	≤0,1	≤10

III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Niquel	mg/l	3111 B y C	≤3,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cromo Total	mg/l	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤0,2	≤0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	≤0,5	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤0,02	≤0,005	Ausente	≤0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y C	≤2,0	≤1,0	Ausente	≤2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤0,5	≤0,5	≤0,1	≤0,5
	Bario	mg/l	3111 B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plaguicidas Organoclorados (g)	mg/l	6630 B	≤0,5	≤0,05	Ausente	≤0,05
Plaguicidas Organofosforados (g)	mg/l	6630 B	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1	

IV	Nitrógeno total (d)	mg/l	4500 N org B (NTK)	≤105	≤35	≤105	≤105
	Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/l	4500 NH ₃ +F	≤75	≤25	≤75	≤75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	≤30	≤10	≤30	≤30
	Fósforo Total (d)	mg/l	4500 PC	≤10	≤1,0	≤10	≤10

El cuerpo receptor de los lixiviados tratados originados en el Relleno Sanitario de la localidad de Lobería estará definido una vez escogido el sitio donde se emplace el mismo. Debido a que el presente trabajo no determinó sitios de posibles emplazamientos por los motivos mencionados en capítulos anteriores, los parámetros a los cuales se debe ajustar el tratamiento de los lixiviados será un punto a determinar una vez escogido el sitio y consecuentemente el cuerpo receptor de lixiviados.

4.4.1.4 Sistema de tratamiento

En función de las premisas de tratamiento y los requerimientos generales de descarga se ha considerado como aspecto básico del tratamiento, la remoción de la materia orgánica.

En base a los datos obtenidos de bibliografía, la neutralidad del pH no supone un requerimiento de un sistema de corrección, pero podría agregarse para la estabilidad de la operación. En cuanto a los sólidos suspendidos, estos se encuentran en un nivel bajo en comparación al valor de DBO y DQO, lo que indica que la carga orgánica se encuentra en su mayoría disuelta. El valor del aceite y las grasas equivale a menos de un 2% de la carga de DBO, lo cual indica que no es necesario un proceso unitario para su exclusiva remoción.

Considerando estos factores, se sugiere un sistema de tratamientos de lixiviados que esté compuesto por las etapas que se muestran en el diagrama de bloques de la Ilustración N° 17:

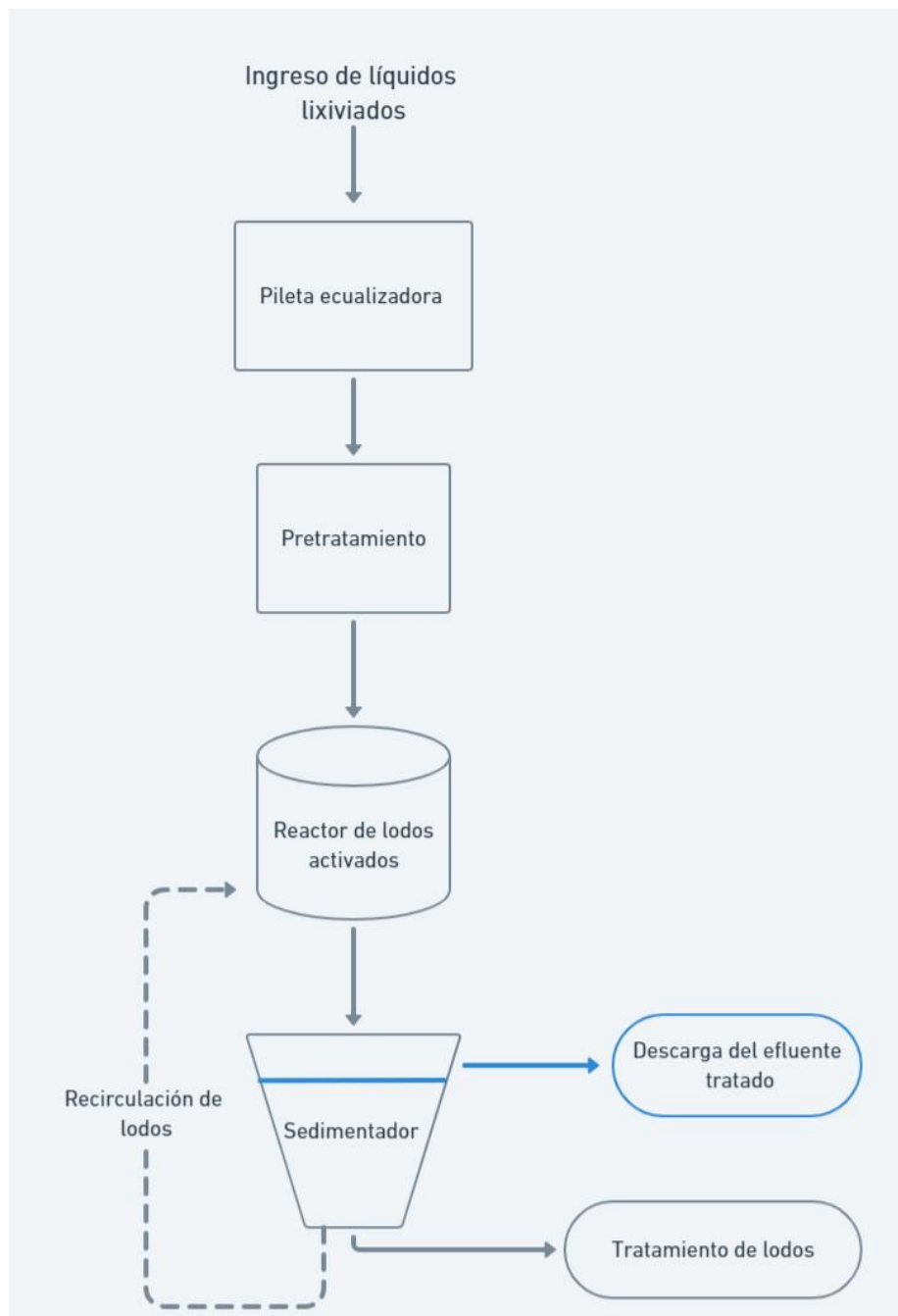


Ilustración 18: Sistema de tratamiento de lixiviados propuesto

1. Pileta Ecualizadora:

La pileta ecualizadora, también conocida como tanque de almacenamiento o balsa de lixiviados, tiene la función de recibir el flujo de lixiviado generado por el Relleno Sanitario y almacenarlo de manera temporal permitiendo homogeneizar las características del mismo. Esta estructura es importante porque el caudal de lixiviado puede variar a lo largo del tiempo,

y la pileta ecualizadora permite igualar y estabilizar el flujo antes de enviarlo a los siguientes procesos de tratamiento. También ayuda a proteger los sistemas de tratamiento de sobrecargas hidráulicas. Para ello se instalará un mezclador sumergible para homogeneizar las concentraciones y mantener los sólidos finos en suspensión.

2. Pretratamiento:

El objetivo de todo pretratamiento es el de acondicionar el efluente para los procesos posteriores. Se busca homogeneizar la carga y el caudal como también remover partículas que puedan dañar procesos o equipos instalados en la planta.

Esto se logra a través de sistemas de cribado, desarenadores y desengrasadores, que separan y retiran partículas y grasas flotantes. El objetivo es proteger las etapas posteriores del tratamiento de posibles obstrucciones y daños.

3. Tratamiento Biológico:

El método constructivo elegido para los reactores y el sedimentador será el de tipo lagunar (excavación con cobertura de membrana), tal como se muestra en la ilustración N° 18 ya que los materiales y técnicas de construcción se asemejan a los empleados en la construcción de los módulos de Relleno Sanitario. De este modo, se podrá incurrir en una economía de escala en la mano de obra, maquinaria y compra de materiales para ambas obras entre los que se encuentra la membrana PEAD que recubre tanto a los módulos como a las lagunas.



Ilustración 19: Sedimentador de tipo lagunar.

El tratamiento biológico es el corazón del sistema de tratamiento de lixiviados para eliminar la contaminación carbonosa y parte del nitrógeno. El proceso aeróbico biológico más utilizado es el reactor de lodos activados (cuya fundamentación se menciona en el capítulo 3: Marco teórico). En este sistema, el lixiviado es mezclado con microorganismos (bacterias) en un reactor que proporciona oxígeno a las bacterias. Las bacterias se alimentan de la materia orgánica (carbono) presente en el lixiviado, reduciendo así su concentración.

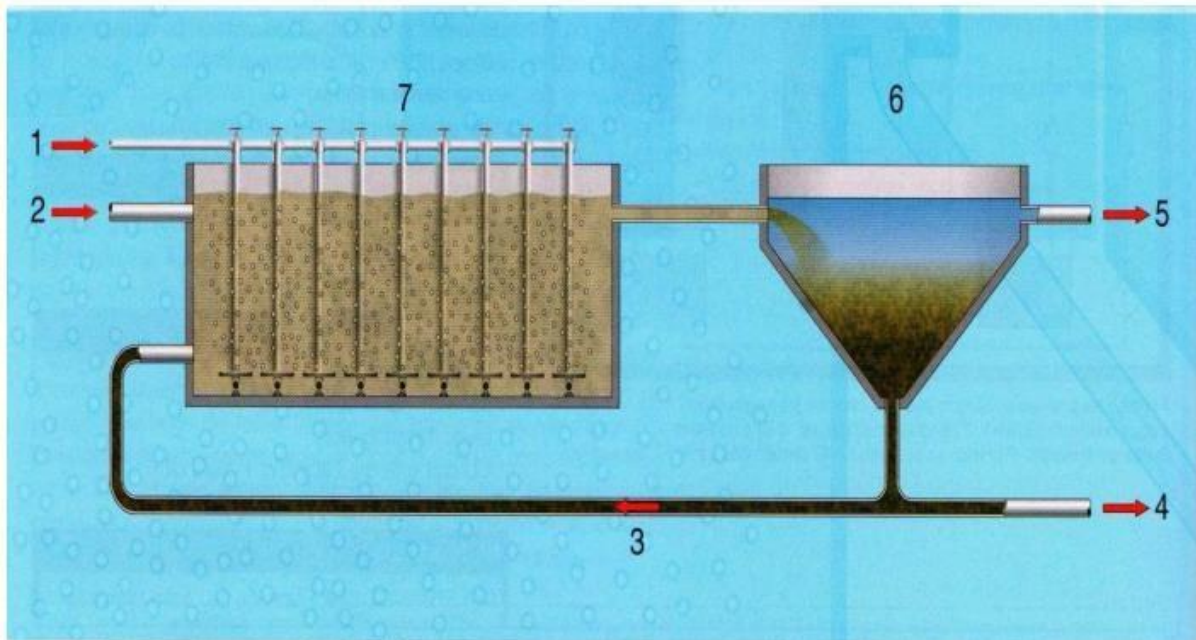


Ilustración 20: Reactor de lodos activados

4. Sedimentador:

Después del tratamiento biológico, el lixiviado tratado pasa por un sedimentador, también conocido como clarificador o decantador. En esta etapa, las bacterias ~~biológicas~~ y los sólidos formados en el tratamiento biológico se asientan y se separan del agua tratada, que sale del sedimentador con una concentración de sólidos reducida. Los lodos que se acumulan en el fondo del sedimentador serán, un porcentaje recirculados al reactor biológico para mantener una población activa de microorganismos y el porcentaje restante tratados para disponer de forma adecuada.

5. Tratamiento de lodos:

Por último, es necesario tener en cuenta la disposición final o tratamiento de los lodos y sólidos generados durante el proceso de tratamiento de los lixiviados. Una posible alternativa, ya que los lodos decantados y purgados aún contienen cierta cantidad de agua, será la de su deshidratación con el fin de reducir su volumen y facilitar su manejo. Se pueden someter a procesos de deshidratación mediante filtros prensa, centrifugas o sistemas de secado térmico.

Luego, los lodos deshidratados se podrán compostar para obtener una enmienda orgánica de alto valor para ser utilizado como fertilizante natural para plantas ornamentales, no así para huertas o vegetales de consumo humano.

Es esencial mencionar que este es un sistema de tratamiento básico, y en la realidad, el sistemas de tratamiento de lixiviados podría variar en complejidad según las características de los mismos. Otros componentes y procesos adicionales pueden agregarse para abordar otros contaminantes específicos o mejorar la eficiencia del tratamiento. En este sentido, será necesario determinar las características específicas del lixiviado una vez generado o teniendo

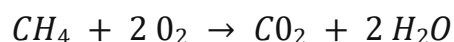
en cuenta las propiedades de los residuos generados en la localidad, estudio que no se ha realizado hasta la actualidad.

4.4.2 Sistema de Tratamiento de Gases

En base de lo analizado, y teniendo en cuenta que la cantidad de residuos dispuestos no generarán la magnitud de gas suficiente para poder ser utilizados como una fuente de energía, se optó por un tratamiento de gases que consiste en el venteo de los mismos, utilizando chimeneas verticales de venteo pasivo para su posterior quema.

Se estima que por la proyección demográfica y tipos de residuos característicos, los cuales fueron analizados en capítulos anteriores, el volumen de emisiones será bajo y no requerirá un sistema de captación activo.

Aunque el volumen de los mismos sea bajo, la emisión sin tratamiento de estos puede generar un gran impacto ambiental. Por este motivo, se realizará la quema del biogás generado para producir CO₂ y H₂O como producto de la reacción, según la ecuación N° 2:



Tal como se explicó en el capítulo 3.7.2, los sistemas de captación pasivos extraen el gas del Relleno Sanitario sin el uso de succión o vacío en las tuberías. Estos se usan principalmente en Rellenos en los que la producción de gas es baja y no se tiene control sobre la regulación de las emisiones a la atmósfera. Estos sistemas controlan la ubicación de las emisiones y previenen la migración hacia áreas adyacentes. La Ilustración N° 20 muestra un sistema de captación pasivo.

El modelo de gestión y control de gases propuesto incluye la instalación de chimeneas de venteo pasivo.

Se utilizará para tal fin caño de PEAD reforzado de 160 mm de diámetro, en tramos de 6 metros, rodeado por un material pétreo drenante (mínimo 0.40 m).

Estas chimeneas se colocarán desde el fondo de cada celda. La bibliografía consultada indica un radio de eficiencia de las chimeneas de aproximadamente 40 metros (Van Der Wiel Holding, 2001), por lo tanto, se realizaron los siguientes cálculos para conocer el número de chimeneas necesarias para una recolección eficiente de los gases generados en el Relleno Sanitario de la localidad de Lobería:

Área calculada del Relleno Sanitario = 11 Ha = 110.000 m²

Área de influencia de la chimenea = $\pi \times R^2 = \pi \times (40m)^2 = 5.026,5 \text{ m}^2/\text{chimenea}$ (16)

N° de chimeneas = $\frac{110.000 \text{ m}^2}{5.026,5 \text{ m}^2/\text{chimenea}} = 21.88 = 22 \text{ chimeneas}$ (17)

Por lo tanto, se concluye que será necesaria la instalación de 22 chimeneas para una superficie de 11 hectáreas que tendrá el área operativa del Relleno Sanitario.

Para la construcción de las chimeneas se comienza con la colocación, en el fondo de la celda, de un molde cilíndrico metálico con un diámetro determinado, dentro del molde se coloca el caño de PEAD en el centro y el dren pétreo alrededor.

Una vez que la celda inicia su operación y el nivel de los residuos llega a la altura del molde cilíndrico, este es retirado hacia arriba, quedando conformada un tramo de la chimenea de venteo. Esta operación se repite sucesivamente hasta la cota de cierre en cada una de las chimeneas proyectadas. En la parte superior se construye un cabezal de hormigón.

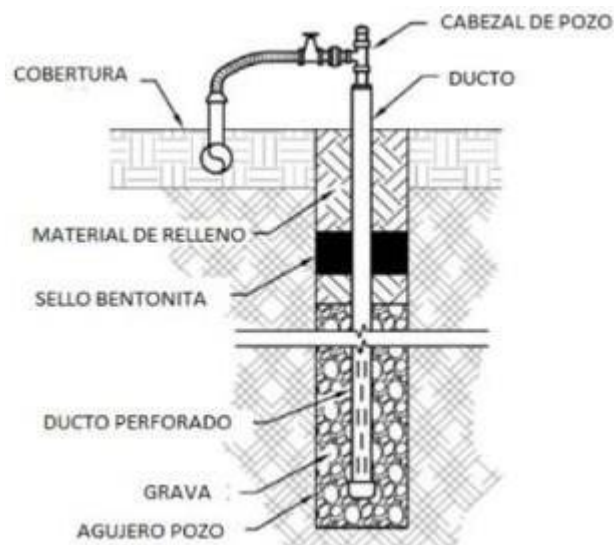


Ilustración 21: Sistema de captación pasivo de gases en Rellenos Sanitarios.

Capítulo 5: Aspectos complementarios al diseño del Relleno Sanitario

5.1 Impermeabilización del suelo

La preparación e impermeabilización de las celdas de vertido de residuos, requiere de una planificación y método de trabajo que involucre todas las consideraciones necesarias tanto ingenieriles como ambientales, para lograr los objetivos constructivos planteados.

Esta es una de las tareas más costosas en la explotación de un Relleno Sanitario y tiene primordial importancia en lo referente a la seguridad ambiental del mismo.

La base de la celda tiene fundamental incidencia en evitar la lixiviación a los niveles freáticos, en conformar una base de asentamiento sólida, estable y homogénea a la membrana de protección y en muchos casos tiene una incidencia crucial, en aquellos terrenos cuyos niveles freáticos pueden subir, aunque más no sea circunstancialmente, hasta la base diseñada.

Las características geológicas del emplazamiento determinan el tipo de impermeabilización que es necesario ejecutar, e incluso hasta la viabilidad de la ejecución del proyecto. Por este motivo, para el caso del Relleno Sanitario de Lobería se deberán realizar los estudios geológicos e hidrogeológicos correspondientes para evaluar tanto la profundidad del nivel freático como el tipo de suelo donde se ubicará el mismo. Sin embargo, se recomienda de forma general:



Ilustración 22: Esquema general de impermeabilización de Rellenos Sanitarios

- **Barrera geológica natural:** El acondicionamiento de base de cada celda deberá ser tratado uniformemente, con suelo compactado, con un espesor mínimo de 0,60 metros garantizando un coeficiente de permeabilidad $K=1 \times 10^{-7} \text{ cm/seg}$. Utilizando para ello arcillas que compactadas convenientemente posean dicho coeficiente o bien mejorando suelos limosos existentes con la utilización de bentonita en un porcentaje que varía entre el 6% y el 10%.
- **Barrera geológica artificial:** Sobre la capa de base de celda y libre de elementos cortantes o punzantes se asentará la membrana de PEAD. Las características mínimas a exigir a las láminas de impermeabilización de PEAD, según normativas aplicadas en la Unión Europea, deberán ser:

Tabla 19: Características exigibles a láminas PEAD de impermeabilización

CARACTERÍSTICA	Unidad	Valor
Espesor	mm	1,5
Densidad	g/cm ³	> 0,94
Índice de fluidez	g/10 min	0,5
Contenido en negro de carbono	%	2,5 ± 0,5
Contenido de cenizas	%	0,005
Dispersión de negro de carbono	-	4
Dureza Shore D	-	60±5
Doblado a bajas temperaturas	-	Sin grietas
Resistencia a la percusión	-	Sin perforación
Resistencia tracción, fluencia, alargamiento		
Resistencia a la tracción	MPa	35
Límite elástico	MPa	17
Alargamiento en la rotura	%	800
Alargamiento en el punto de fluencia	%	17
Resistencia a la perforación		
Resistencia a la perforación	N/mm	400
Recorrido	mm	10
Envejecimiento artificial acelerado		
Alargamiento en rotura	%	< 15
Resistencia al desgarro	N/mm	140
Resistencia al calor	%	2
Envejecimiento térmico	-	
Alargamiento en rotura	%	< 15
Resistencia a cuarteamiento por tensión en medio acuoso	-	Sin grietas
Absorción de agua	%	0,2 a 24 h (1 a 6 días)
Resistencia a la perforación por raíces	-	Resiste

Es siempre recomendable utilizar láminas del mayor ancho posible para minimizar el número de soldaduras, éstas deben realizarse en la propia obra. La soldadura será de tipo doble, con canal intermedio de comprobación de 15 cm de amplitud mínima. El anclaje de las láminas PEAD, será del tipo zanja, y se implantará en la coronación de los taludes.

- **Geosintético de refuerzo de la impermeabilización:** En la parte inferior de la capa de drenaje de lixiviados, se deberá colocar un geotextil no tejido de polipropileno de 350 g/m², cuya función será proteger la lámina de PEAD de posibles punzonamientos con los materiales de la capa de drenaje de lixiviados. Además se puede colocar otro geotextil de las mismas características por debajo de la lámina de PEAD para proteger de posibles punzonamientos con los materiales del terreno natural. Por ende, estos geotextiles consiguen alargar la vida útil de los revestimientos artificiales, y reducen el riesgo de rotura, y por tanto de emisión de lixiviados o gases al suelo.
- Por último, se deberá colocar una **capa de material granular drenante** cuyo espesor sea mayor o igual a 0,50 metros para la recolección de los lixiviados. Este sistema de drenaje actúa como filtro y facilita el flujo de lixiviados pero impidiendo el paso de residuos sólidos. Por tanto, esta capa será conformada por cantos rodados o gravas con una permeabilidad (K) mayor a 10⁻¹ cm/s. Se recomienda material granular sin

finos de diámetro entre 3 y 7 cm. Dentro de este se ubica el conducto que transporta a los lixiviados, generalmente una tubería de PVC.

5.2 Áreas complementarias

Como se mencionó en el punto 4.3.2, un porcentaje del área total del diseño propuesto para la instalación del Relleno Sanitario en la ciudad de Lobería estará destinada a lo que se denomina "Áreas Complementarias". Resultando así 11 hectáreas que conforman la denominada Área Operativa (AO) con un solo Módulo (M1); quedando en disponibilidad 3 hectáreas.

Esta superficie incluirá:

- Área Administrativa (Oficinas Contratista y Municipalidad) (AA)
- Áreas de servicio (baños, comedor, vestuarios) (AS)
- Área de Control de Ingresos. (ACI)
- Área de acopio de suelo (AAS)
- Área Báscula y Oficina Cobro de particulares. (AB)
- Área Talleres. (AT)
- Área Planta de Tratamiento de Lixiviados. (ATL)
- Área de Tratamiento de Gases. (ATG)
- Playón de estacionamiento (E)
- Área de circulación de caminos internos (AC)

Además el perímetro del predio será mantenidos con cultivos o forestadas, para no afectar la estética paisajística del lugar.

La localidad contará con red eléctrica y de iluminación, servicio de agua de red, cloaca y drenaje y dispondrá de alambrado perimetral y vigilancia. Además contará con un grupo electrógeno de media tensión para evitar cortes de energía.

5.3 Seguridad e Higiene en el trabajo

Como se mencionó a lo largo del trabajo, en el Relleno Sanitario coexisten diferentes actividades de forma simultánea, y por lo tanto, puestos laborales. Esto genera la exposición de los trabajadores a diversos riesgos, conocidos como "Riesgos Laborales".

El proyecto deberá ser acompañado de un Programa de seguridad, determinado por el profesional de Seguridad e Higiene. El mismo abarca todas las etapas del proyecto, para proteger la salud y bienestar de los trabajadores, así como para garantizar un ambiente laboral productivo y eficiente. Debido a que el proyecto es catalogado como obra, el programa de seguridad bajo la reglamentación Res.35/98 y la Res. 51/97.

El objetivo principal de este servicio es la prevención de accidentes, ya que es la mejor forma de evitar cualquier siniestro, y por lo tanto se debe conocer los tipos de riesgos laborales existentes.

Existen numerosos riesgos laborales que se pueden detallar en un Relleno Sanitario, para un análisis más específico, un profesional en el área deberá analizar los distintos puestos de trabajo.

De acuerdo a la etapa del proyecto, se pueden reconocer de los siguientes riesgos laborales en un Relleno Sanitario (sin contemplar la etapa del transporte de RSU):

Etapa constructiva del Relleno Sanitario:

- **Riesgo Físico**
 - Ruido: Movimiento y uso de maquinaria
 - Vibración: Uso de maquinaria
 - Carga Térmica: Trabajo al aire libre, expuesto a condiciones climáticas
 - Estrés por frío: Trabajo al aire libre, expuesto a condiciones climáticas
 - Radiaciones no ionizantes: Trabajo al aire libre, exposición de los trabajadores directa al sol.
 - Golpes: Caída de objetos pesados o durante la manipulación de maquinaria
 - Caídas en mismo nivel: Inestabilidad del terreno por movimiento de suelo.
- **Riesgo químico:**
 - Inhalación de material particulado: Movimiento de suelo
- **Riesgo mecánico:**
 - Peligro de atrapamiento o arrastre: Movimiento y uso de maquinaria pesada
- **Riesgo eléctrico:**

Construcción de instalaciones eléctricas

- **Riesgo ergonómico**

Levantamiento manual de cargas: Movimiento de insumos livianos

- Movimiento estático por tiempo prolongado: Manejo de maquinaria pesada

Etapa operativa del Relleno Sanitario:

- **Riesgo físico:**
 - Ruido: Movimiento y uso de maquinaria
 - Vibración: Uso de maquinaria
 - Carga Térmica: Trabajo al aire libre, expuesto a condiciones climáticas
 - Estrés por frío: Trabajo al aire libre, expuesto a condiciones climáticas
 - Radiaciones no ionizantes: Trabajo al aire libre, exposición de los trabajadores directa al sol.
 - Cortes y punciones: Separación manual de residuos
 - Golpes: Caída de objetos pesados o durante la manipulación de maquinaria

- Caídas en mismo nivel y a desnivel: Inestabilidad del terreno, la construcción del RS alcanzará una altura de aproximadamente 4m.

- **Riesgo químico:**

- Inhalación de material particulado: Movimiento de suelo y residuos
- Inhalación de gases: Generación de gases por la descomposición de los residuos tales como metano, dióxido de carbono entre otros.

- **Riesgo mecánico:**

Peligro de atrapamiento o arrastre: Movimiento y uso de maquinaria pesada

- **Riesgo eléctrico:**

Construcción de instalaciones eléctricas

- **Riesgo ergonómico:**

-Levantamiento manual de cargas: Una vez efectuada la separación, los residuos agrupados se manipulan manualmente.

-Movimiento estático por tiempo prolongado: Manejo de maquinaria pesada

- **Riesgos biológicos :**

- Presencia de agentes tales como virus, bacterias, hongos, etc.: Manipulación de basura y presencia de roedores, aves, insectos
- Picadura de insectos: Trabajo al aire libre con residuos.

- **Riesgo de explosión**

- Generación de gases de combustión: El correcto venteo de gases puede hacer que estos se acumulen generando una explosión.

- **Riesgo de incendio**

- Debido a la presencia de materiales de alto poder calorífico (papel, cartón etc) y la producción de biogás, el cual como se mencionó tiene un alto contenido de metano que favorece la aparición de incendios.

Medidas preventivas y correctivas generales

- Proveer al personal elementos de protección personal, adecuados a la tarea.
- Brindar capacitación a los empleados sobre los riesgos asociados a las tareas que desarrollan.

Capítulo 6: Comparación con implementación de PGIRSU

La eficiencia en el espacio y el tratamiento de los residuos en un Relleno Sanitario se optimiza considerablemente mediante la implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PGIRSU). A continuación, se destacan algunos de los beneficios clave de esta implementación:

- Optimización del uso del espacio: La implementación de un PGIRSU contribuye a una disposición más eficiente de los desechos, lo que resulta en una prolongación significativa de la vida útil del Relleno Sanitario.
- Reducción de residuos destinados al relleno: La introducción de programas de reciclaje y la separación de residuos en la fuente de origen conducen a una disminución notable en la cantidad de desechos que requieren ser procesados en el relleno, lo que, a su vez, libera espacio y recursos valiosos.
- Generación de empleo: La creación de instalaciones de separación de residuos y la gestión de la valorización de los desechos sólidos (mediante su comercialización, reutilización, reciclaje, etc.) generan oportunidades laborales significativas.
- Fomento de la educación: La promoción de la conciencia pública acerca de la gestión adecuada de los residuos no solo reduce la generación de desechos y promueve la separación adecuada en la fuente de origen, sino que también contribuye a la disminución de riesgos para la salud pública, minimiza impactos negativos en el entorno paisajístico y en otros aspectos relevantes.

Podemos estimar que si se realiza una correcta gestión de residuos sólidos, se prolongará significativamente la vida útil, permitiendo así aprovechar este recurso de forma eficiente y sostenible.

Como se menciona en el capítulo 4.2, aproximadamente un 34% de los residuos generados en la ciudad de Lobería corresponden a Residuos Secos Valorizables. Sin embargo, considerando una pérdida del 9% debido a deficiencias en la separación de residuos podemos estimar que un 25% de estos materiales son realmente aprovechables.

La cantidad total calculada de los residuos a disponer al implementar el PGIRSU se obtuvo al considerar que estos serán el 75% del total de los residuos a disponer sin la implementación de un PGIRSU.

Se adjuntan cálculos en documentación anexa.

Teniendo en cuenta la mencionada estimación del porcentaje de residuos a disponer con un PGIRSU, se realizaron nuevamente los cálculos del Capítulo 4 "Metodología", obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 20: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Con PGIRSU)

Cantidad total calculada de residuos a disponer durante la vida útil	Superficie del RS para una GIRSU	Producción total de lixiviados durante la vida útil	Promedio mensual de tratamiento de líquidos lixiviados	Cantidad de chimeneas de venteo de biogás	Vida útil proyectada
178.878 Ton	11 Ha	407.034 m ³	848 m ³ /mes	22 unidades	40 años

La tabla evidencia que con la implementación de un Programa de Gestión de RSU en el que se recupere el 25% de los residuos, y por lo tanto se disponga el 75% de ellos, se logrará una extensión en la vida útil del Relleno Sanitario de 10 años, es decir estará en operación aproximadamente hasta el 2066, contemplando la superficie total operativa de Relleno de 11 Ha planteada inicialmente.

En este caso, la variable a analizar es la extensión de la vida útil del Relleno Sanitario, por lo tanto, el área operativa, la cantidad de los residuos dispuestos y los sistemas de tratamiento (gases y lixiviados) no sufrirán modificaciones ya que estos se diseñan en base al volumen de residuos y al área operativa.

En resumen, la implementación de un PGIRSU adecuadamente diseñado no solo mejora la eficiencia en el espacio y tratamiento de los residuos en un Relleno Sanitario, sino que también reduce los impactos negativos en el medio ambiente y promueve prácticas sostenibles de gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

Capítulo 7: Resultados

6.1 Resultados

A continuación se sintetizan los resultados obtenidos en el trabajo realizado.

En primer lugar, se escogió como método de construcción para emplazamiento del RS el **método de área**.

Las dimensiones mínimas que tendrá el Relleno Sanitario considerando que no se implementará un Programa de Gestión de RSU, y el cual tendrá una vida útil de 30 años es de 14 hectáreas para el área total y 11 hectáreas para el área operativa.

Tabla 21: Dimensiones mínimas del RS para una vida útil de 30 años

Altura máxima	Área total	Área operativa	Área complementaria
3,3 m	14 Ha	11 Ha	3 Ha

El área operativa del Relleno Sanitario contará con la siguiente distribución para la disposición de los residuos:

Tabla 22: Diseño del área operativa del RS para una vida útil de 30 años

	Módulo	Sectores	Celdas
Cantidad	1	4	16
Dimensiones	11 Ha (200m x 550m)	137,5m x 200m	137,5m x 50m

El Relleno Sanitario tendrá un sistema de tratamiento de líquidos lixiviados y un sistema de colección y venteo de gases, los mismos se contarán con las siguientes características generales:

Tabla 23: Diseño de sistemas de tratamiento del RS para una vida útil de 30 años

	Tratamiento de gases	Tratamiento de lixiviados
Cantidad	22 chimeneas de 160 mm de diámetro y 6 m de largo de PEAD.	Una pileta ecualizadora, un sistema de pretratamiento, un reactor de lodos activados, un sedimentador.
Tratamiento	Venteo pasivo de gas.	Pretratamiento, tratamiento primario y secundario.

A continuación, resumimos los resultados obtenidos al implementar un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PGIRSU) y sin la implementación del mismo.

Cabe destacar que estos resultados se pueden ver representados a través dos variables diferentes, estas son:

1. El área ocupada por los residuos.
2. Los años de vida útil del Relleno Sanitario.

Si consideramos fija la variable “tiempo” y analizamos la variación del área ocupada por los residuos, se obtiene como resultado que en el año 2057 se habrán dispuesto el 75% de los residuos, por lo tanto, éstos ocuparán tan sólo 8 hectáreas de las 11 calculadas inicialmente.

La segunda forma de ver representados los resultados es manteniendo fija la variable “superficie” y analizar la variación en la extensión de la vida útil. Para esto se evalúa el tiempo que llevará completar con residuos las 11 hectáreas definidas inicialmente, para lo cual se obtiene que con la implementación del Programa de Gestión de RSU, la vida útil del Relleno Sanitario se extenderá en 10 años.

Esta última forma de ver representados los resultados es la más gráfica ya que, al utilizar el total de la superficie planteada inicialmente (11 hectáreas), no se verán modificados los sistemas de tratamiento de gases y lixiviados, ya que estos se diseñan en base a los residuos dispuestos y al área operativa.

Los cálculos realizados se encuentran adjuntos en la sección de Anexos y los resultados se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 24: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Analizando la variable “superficie”)

Método de disposición final	Vida útil proyectada	Cantidad total calculada de residuos a disponer	Superficie del RS ocupada por los residuos	Producción total de lixiviados durante la vida útil
Sin PGIRSU (Disposición final del 100%)	30 años	178.878 Ton	11 Ha	26.323 m3
Con PGIRSU	30 años	134.159 Ton	8 Ha	236.904 m3

Tabla 25: Resultados obtenidos para la instalación del Relleno Sanitario (Analizando la variable "tiempo")

Método de disposición final	Cantidad total calculada de residuos a disponer	Superficie del RS ocupada por los residuos	Cantidad de chimeneas de venteo de biogás	Producción total de lixiviados durante la vida útil	Vida útil proyectada
Sin PGIRSU (Disposición final del 100%)	178.878 Ton	11 Ha	22 unidades	315.872 m3	30 años
Con PGIRSU	178.878 Ton	11 Ha	22 unidades	407.034 m3	40 años

Se puede concluir que tras la implementación de un PGIRSU, la vida útil del Relleno Sanitario se extenderá por 10 años, siendo éste proyectado hasta el año 2066.

Capítulo 8: Conclusiones

Se puede concluir con éxito que los objetivos planteados fueron abordados de manera efectiva. Este logro se sustenta en un análisis de la bibliografía relevante, la recopilación de datos primarios, la realización de cálculos pertinentes y la interpretación de los resultados obtenidos.

Para el cumplimiento de los objetivos establecidos, se consideraron varios aspectos clave, tales como las características topográficas y climáticas de la zona, el crecimiento demográfico, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) per cápita, los hábitos de consumo y las costumbres en el área de estudio, entre otros factores pertinentes para el proyecto. Estos elementos permitieron determinar las condiciones mínimas necesarias para diseñar un Relleno Sanitario en el partido de Lobería. Se optó por un enfoque basado en el método de área para su construcción, con un requisito mínimo de 14 hectáreas en total y 11 hectáreas operativas para lograr una vida útil de 30 años, con la disposición final del 100% de los RSU generados en la ciudad estudiada.

Del mismo modo, se han calculado y diseñado los aspectos esenciales para el tratamiento de lixiviados y gases generados por la descomposición de los RSU. También se identificaron los riesgos inherentes a esta actividad y se determinaron las áreas complementarias necesarias, entre otros aspectos relevantes.

Es importante destacar que la realización de este proyecto debe complementarse con estudios y análisis específicos de la zona, ya que muchos de los datos se obtuvieron de la bibliografía nacional. Tras el conocimiento de las condiciones mínimas de emplazamiento, la elección del sitio de ubicación deberá estar acompañada de un estudio detallado de factores geológicos, hidrológicos, sociales, entre otros, con el fin de evaluar la viabilidad económica y legal de la instalación del Relleno Sanitario.

La implementación del proyecto implica la correcta disposición final de los RSU de la ciudad de Lobería, conlleva una serie de resultados y beneficios significativos para la ciudad y sus habitantes. Algunos de estos son: La reducción del Impacto Ambiental asociado a los RSU, la mejora en la calidad del aire y la salud pública, el cumplimiento de regulaciones ambientales y la reducción de costos a largo plazo entre otros.

Por último, es relevante destacar que la ejecución de este proyecto ha permitido resaltar la importancia de implementar adecuadamente un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PGIRSU) en el partido de Lobería, lo cual resultará extender la vida útil del Relleno diseñado en 10 años adicionales.

En resumen, la implementación exitosa de este proyecto tendrá un impacto positivo en múltiples aspectos, desde la protección del medio ambiente y la salud pública hasta el cumplimiento normativo y la planificación a largo plazo. Además, sentará las bases para un manejo sostenible y responsable de los residuos en el partido de Lobería.

Bibliografía

Aguilar, M. (2008, septiembre). Plan de desarrollo local para el municipio del partido de Lobería.

Bejerano, J. (2020, mayo). Estimación del caudal medio de lixiviados generados en el vertedero de Viñales, Pinar Del Río. vol. 22, núm. 3. Instituto de Información Científica y Tecnológica.

Beckmann, CS (sf). Construcción de un módulo de Relleno Sanitario para la disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Concordia. Recuperado de <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2707/3-%20Prefactibilidad.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Agudelo Castañeda, AS (2020). Metodología Para El Diseño De Un Sistema De Captación Y Aprovechamiento De Biogás Proveniente De Residuos Sólidos Urbanos. Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (sf). Hojas de Divulgación Técnica. Recuperado de www.cepis.ops.oms.org

De Luca, M. (1999). Tecnología de la disposición final mediante el método de Relleno Sanitario. Estudios previos y selección de emplazamiento. Asociación para el estudio de los Residuos Sólidos. Buenos Aires, Argentina.

Dirección Provincial de Hidráulica. (sf). Mapa de Cuencas Hídricas de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado de https://www.gba.gob.ar/hidraulica/cuencas_hidricas/mapa

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar.

Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. (2010). Recuperado de http://estadisticas.ambiente.gob.ar/archivos/web/Indicadores/file/multisitio/pdf/41_2%20Composici%C3%B3n%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos.pdf

Estrategia Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2012). Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/provincia_de_buenos_aires_0.pdf

Informe: Basurales a Cielo Abierto. (sf). Defensoría del Pueblo de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado el 6 de septiembre de 2022, de <https://www.defensorba.org.ar/pdfs/informes-tecnicos-upload-2019/informe-basurales.pdf>

Instituto Geográfico Nacional. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2020). Martínez Arroyo A., Ruíz Suárez LG, Gavilán García A., Mendoza Cantú A., Ramírez Muñoz T. Metodología para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generados por Residuos Sólidos Urbanos en sitios de disposición final.

INTA. (2009-2019). RIAN: Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas.

INTA. (2020-2023). Informe Mensual Agropecuario EEA INTA Balcarce. ISSN 2796-7123.

Jaramillo, J. & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.

Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires. (sf). Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas - Ambientales de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado de <https://www.minfra.gba.gov.ar/web/Hidraulica/Atlas.pdf>

Pazmiño Oquendo, LF (2010). Relleno Sanitario de la isla San Cristóbal, provincia de Galápagos: Diseño e impermeabilización. Julio, 2010.

Secretaría de control y monitoreo ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020, Noviembre.) Proyecto ejecutivo de seis (6) centros ambientales distribuidos en el norte del territorio argentino.

Sistema Integrado de Información Ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://ciam.ambiente.gob.ar/repositorio.php?tid=8#>

Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F. y Moulin, P. (2008). Tratamiento de lixiviados de vertedero: Revisión y oportunidad. Revista de materiales peligrosos, 150.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S. (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos. Madrid: Editorial Mc. Colina Graw.

Torres, N. (2014). Diseño de un reactor biológico de fangos activos (Tesis de maestría). Universidad de Almería, Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales.

Van der Wiel Holding BV (mayo de 2001). Proyecto ejecutivo: "Construcción y Operación del Servicio de Disposición Final de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables, generados en los Municipios de: General Pueyrredón y General Alvarado".

ANEXO 1

TABLA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO SIN PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CIUDAD DE LOBERÍA

Año	Población proyectada	Generación per cápita (Kg/hab día)	Cantidad residuos Kg/día	Volumen de residuos		
				Diario (m3/día)	Anual (m3/año)	Total acumulado
2027	18.539	0,694	12.866	21,44	7.827	7.827
2028	18.600	0,701	13.038	21,73	7.931	15.758
2029	18.662	0,708	13.212	22,02	8.037	23.795
2030	18.724	0,715	13.388	22,3136	8.144,47	31.940
2031	18.786	0,722	13.567	22,61	8.253	40.193
2032	18.848	0,729	13.748	22,91	8.363	48.556
2033	18.911	0,737	13.932	23,22	8.475	57.031
2034	18.974	0,744	14.118	23,53	8.588	65.620
2035	19.037	0,752	14.306	23,84	8.703	74.323
2036	19.100	0,759	14.497	24,16	8.819	83.142
2037	19.163	0,767	14.691	24,48	8.937	92.079
2038	19.227	0,774	14.887	24,81	9.056	101.135
2039	19.291	0,782	15.086	25,14	9.177	110.312
2040	19.355	0,790	15.287	25,48	9.300	119.612
2041	19.419	0,798	15.491	25,82	9.424	129.036
2042	19.484	0,806	15.698	26,16	9.550	138.586
2043	19.548	0,814	15.908	26,51	9.677	148.263
2044	19.613	0,822	16.120	26,87	9.807	158.069
2045	19.678	0,830	16.336	27,23	9.937	168.007
2046	19.744	0,838	16.554	27,59	10.070	178.077
2047	19.809	0,847	16.775	27,96	10.205	188.282
2048	19.875	0,855	16.999	28,33	10.341	198.623
2049	19.941	0,864	17.226	28,71	10.479	209.102
2050	20.007	0,872	17.456	29,09	10.619	219.720
2051	20.074	0,881	17.689	29,48	10.761	230.481
2052	20.140	0,890	17.925	29,88	10.904	241.385
2053	20.207	0,899	18.164	30,27	11.050	252.435
2054	20.274	0,908	18.407	30,68	11.198	263.633
2055	20.342	0,917	18.653	31,09	11.347	274.980
2056	20.409	0,926	18.902	31,50	11.499	286.479
2057	20.477	0,935	19.154	31,92	11.652	298.131

Año	Material de cobertura (m3/año)	Volumen	
		Relleno Sanitario (m3)	Acumulado (m3)
2027	1.565	9.392	9.392
2028	1.586	9.517	18.910
2029	1.607	9.645	28.554
2030	1.629	9.773	38.328
2031	1.651	9.904	48.231
2032	1.673	10.036	58.267
2033	1.695	10.170	68.438
2034	1.718	10.306	78.744
2035	1.741	10.444	89.187
2036	1.764	10.583	99.770
2037	1.787	10.724	110.494
2038	1.811	10.868	121.362
2039	1.835	11.013	132.375
2040	1.860	11.160	143.534
2041	1.885	11.309	154.843
2042	1.910	11.460	166.303
2043	1.935	11.613	177.915
2044	1.961	11.768	189.683
2045	1.987	11.925	201.608
2046	2.014	12.084	213.692
2047	2.041	12.246	225.938
2048	2.068	12.409	238.347
2049	2.096	12.575	250.922
2050	2.124	12.743	263.664
2051	2.152	12.913	276.577
2052	2.181	13.085	289.663
2053	2.210	13.260	302.923
2054	2.240	13.437	316.360
2055	2.269	13.616	329.976
2056	2.300	13.798	343.774
2057	2.330	13.983	357.757

Área Requerida sin la implementación de un PGIRSU			
Relleno Sanitario (m2)	Relleno Sanitario (Ha)	Total (m2) (RS + Áreas complementarias)	Total (Ha)
2.846	0,3	3.700	0,37
5.730	0,6	7.449	0,74
8.653	0,9	11.249	1,12
11.614	1,2	15.099	1,51
14.616	1,5	19.000	1,90
17.657	1,8	22.954	2,30
20.739	2,1	26.960	2,70
23.862	2,4	31.020	3,10
27.026	2,7	35.134	3,51
30.233	3,0	39.303	3,93
33.483	3,3	43.528	4,35
36.776	3,7	47.809	4,78
40.114	4,0	52.148	5,21
43.495	4,3	56.544	5,65
46.922	4,7	60.999	6,10
50.395	5,0	65.513	6,55
53.914	5,4	70.088	7,01
57.480	5,7	74.724	7,47
61.093	6,1	79.421	7,94
64.755	6,5	84.182	8,42
68.466	6,8	89.006	8,90
72.226	7,2	93.894	9,39
76.037	7,6	98.848	9,88
79.898	8,0	103.868	10,39
83.811	8,4	108.955	10,90
87.777	8,8	114.109	11,41
91.795	9,2	119.333	11,93
95.867	9,6	124.627	12,46
99.993	10,0	129.991	13,00
104.174	10,4	135.426	13,54
108.411	10,8	140.935	14

Lixiviados generados

Año	Área de Relleno Sanitario (m2)	Lixiviados (m3/mes)	Volumen Acumulado (m3/mes)	Total acumulado (m3)
2027	2.846	46	46	555
2028	5.730	93	139	1.672
2029	8.653	141	280	3.360
2030	11.614	189	469	5.624
2031	14.616	238	706	8.475
2032	17.657	287	993	11.918
2033	20.739	337	1.330	15.962
2034	23.862	388	1.718	20.615
2035	27.026	439	2.157	25.885
2036	30.233	491	2.648	31.780
2037	33.483	544	3.192	38.310
2038	36.776	598	3.790	45.481
2039	40.114	652	4.442	53.303
2040	43.495	707	5.149	61.785
2041	46.922	762	5.911	70.934
2042	50.395	819	6.730	80.761
2043	53.914	876	7.606	91.275
2044	57.480	934	8.540	102.483
2045	61.093	993	9.533	114.396
2046	64.755	1.052	10.585	127.024
2047	68.466	1.113	11.698	140.375
2048	72.226	1.174	12.872	154.459
2049	76.037	1.236	14.107	169.286
2050	79.898	1.298	15.406	184.866
2051	83.811	1.362	16.767	201.209
2052	87.777	1.426	18.194	218.326
2053	91.795	1.492	19.685	236.226
2054	95.867	1.558	21.243	254.920
2055	99.993	1.625	22.868	274.418
2056	104.174	1.693	24.561	294.732
2057	108.411	1.762	26.323	315.872

Volumen promedio durante la vida útil (m3/mes) 849

ANEXO 2

TABLA DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO CON PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE LOBERÍA

Año	Población proyectada	Generación per cápita (Kg/hab día)	Cantidad de residuos Kg/día sin PGIRSU	Cantidad de residuos (Kg/día) con PGIRSU	Volumen de residuos con PGIRSU		
					Diario (m3/día)	Anual (m3/año)	Total acumulado
2027	18.539	0,694	12.866	9.649	16,1	5.870	5.870
2028	18.600	0,701	13.038	9.778	16,3	5.948	11.818
2029	18.662	0,708	13.212	9.909	16,5	6.028	17.846
2030	18.724	0,715	13.388	10.041	16,7	6.108	23.955
2031	18.786	0,722	13.567	10.175	17,0	6.190	30.145
2032	18.848	0,729	13.748	10.311	17,2	6.273	36.417
2033	18.911	0,737	13.932	10.449	17,4	6.356	42.774
2034	18.974	0,744	14.118	10.588	17,6	6.441	49.215
2035	19.037	0,752	14.306	10.730	17,9	6.527	55.742
2036	19.100	0,759	14.497	10.873	18,1	6.614	62.356
2037	19.163	0,767	14.691	11.018	18,4	6.703	69.059
2038	19.227	0,774	14.887	11.165	18,6	6.792	75.851
2039	19.291	0,782	15.086	11.314	18,9	6.883	82.734
2040	19.355	0,790	15.287	11.465	19,1	6.975	89.709
2041	19.419	0,798	15.491	11.619	19,4	7.068	96.777
2042	19.484	0,806	15.698	11.774	19,6	7.162	103.939
2043	19.548	0,814	15.908	11.931	19,9	7.258	111.197
2044	19.613	0,822	16.120	12.090	20,2	7.355	118.552
2045	19.678	0,830	16.336	12.252	20,4	7.453	126.005
2046	19.744	0,838	16.554	12.415	20,7	7.553	133.558
2047	19.809	0,847	16.775	12.581	21,0	7.653	141.211
2048	19.875	0,855	16.999	12.749	21,2	7.756	148.967
2049	19.941	0,864	17.226	12.919	21,5	7.859	156.826
2050	20.007	0,872	17.456	13.092	21,8	7.964	164.790
2051	20.074	0,881	17.689	13.267	22,1	8.071	172.861
2052	20.140	0,890	17.925	13.444	22,4	8.178	181.039
2053	20.207	0,899	18.164	13.623	22,7	8.287	189.327
2054	20.274	0,908	18.407	13.805	23,0	8.398	197.725
2055	20.342	0,917	18.653	13.990	23,3	8.510	206.235
2056	20.409	0,926	18.902	14.176	23,6	8.624	214.859
2.057	20.477	0,935	19.154	14.366	23,9	8.739	223.598
2058	20.545	0,945	19.410	14.557	24,3	8.856	232.454
2059	20.613	0,954	19.669	14.752	24,6	8.974	241.428
2060	20.681	0,964	19.932	14.949	24,9	9.094	250.522
2061	20.750	0,973	20.198	15.148	25,2	9.215	259.737
2062	20.819	0,983	20.468	15.351	25,6	9.338	269.075
2063	20.888	0,993	20.741	15.556	25,9	9.463	278.539
2064	20.957	1,003	21.018	15.763	26,3	9.589	288.128
2065	21.027	1,013	21.299	15.974	26,6	9.717	297.845
2066	21.097	1,023	21.583	16.187	27,0	9.847	307.693

Año	Material de cobertura (m3/año)	Volumen	
		Relleno Sanitario (m3)	Acumulado (m3)
2027	1.174	7.044	7.044
2028	1.190	7.138	14.182
2029	1.206	7.233	21.416
2030	1.222	7.330	28.746
2031	1.238	7.428	36.174
2032	1.255	7.527	43.701
2033	1.271	7.628	51.328
2034	1.288	7.729	59.058
2035	1.305	7.833	66.890
2036	1.323	7.937	74.828
2037	1.341	8.043	82.871
2038	1.358	8.151	91.021
2039	1.377	8.259	99.281
2040	1.395	8.370	107.651
2041	1.414	8.482	116.132
2042	1.432	8.595	124.727
2043	1.452	8.710	133.437
2044	1.471	8.826	142.262
2045	1.491	8.944	151.206
2046	1.511	9.063	160.269
2047	1.531	9.184	169.453
2048	1.551	9.307	178.760
2049	1.572	9.431	188.191
2050	1.593	9.557	197.748
2051	1.614	9.685	207.433
2052	1.636	9.814	217.247
2053	1.657	9.945	227.192
2054	1.680	10.078	237.270
2055	1.702	10.212	247.482
2056	1.725	10.349	257.831
2057	1.748	10.487	268.318
2058	1.771	10.627	278.945
2059	1.795	10.769	289.714
2060	1.819	10.913	300.626
2061	1.843	11.058	311.685
2062	1.868	11.206	322.891
2063	1.893	11.356	334.246
2064	1.918	11.507	345.754
2065	1.943	11.661	357.415
2066	1.969	11.817	369.231

Área Requerida con implementación de un PGIRSU			
Relleno Sanitario (m2)	Relleno Sanitario (Ha)	Total (m2) (RS + Áreas complementarias)	Total (Ha)
2.135	0,2	2.775	0,3
4.298	0,4	5.587	0,6
6.490	0,6	8.436	0,8
8.711	0,9	11.324	1,1
10.962	1,1	14.250	1,4
13.243	1,3	17.215	1,7
15.554	1,6	20.220	2,0
17.896	1,8	23.265	2,3
20.270	2,0	26.351	2,6
22.675	2,3	29.478	2,9
25.112	2,5	32.646	3,3
27.582	2,8	35.857	3,6
30.085	3,0	39.111	3,9
32.621	3,3	42.408	4,2
35.192	3,5	45.749	4,6
37.796	3,8	49.135	4,9
40.435	4,0	52.566	5,3
43.110	4,3	56.043	5,6
45.820	4,6	59.566	6,0
48.566	4,9	63.136	6,3
51.350	5,1	66.754	6,7
54.170	5,4	70.421	7,0
57.028	5,7	74.136	7,4
59.924	6,0	77.901	7,8
62.858	6,3	81.716	8,2
65.832	6,6	85.582	8,6
68.846	6,9	89.500	8,9
71.900	7,2	93.470	9,3
74.995	7,5	97.493	9,7
78.131	7,8	101.570	10,2
81.308	8,1	105.701	10,6
84.529	8,5	109.887	11,0
87.792	8,8	114.130	11,4
91.099	9,1	118.428	11,8
94.450	9,4	122.785	12,3
97.846	9,8	127.199	12,7
101.287	10,1	131.673	13,2
104.774	10,5	136.206	13,6
108.307	10,8	140.800	14,1
111.888	11,2	145.455	14,5

Lixiviados generados

Año	Área de relleno con PGIRSU	Lixiviados (m3/mes)	Volumen Acumulado (m3/mes)	Total acumulado (m3)
2027	2.135	35	35	416
2028	4.298	70	105	1.254
2029	6.490	105	210	2.520
2030	8.711	142	352	4.218
2031	10.962	178	530	6.356
2032	13.243	215	745	8.938
2033	15.554	253	998	11.971
2034	17.896	291	1.288	15.461
2035	20.270	329	1.618	19.414
2036	22.675	368	1.986	23.835
2037	25.112	408	2.394	28.732
2038	27.582	448	2.843	34.111
2039	30.085	489	3.331	39.977
2040	32.621	530	3.862	46.338
2041	35.192	572	4.433	53.201
2042	37.796	614	5.048	60.571
2043	40.435	657	5.705	68.456
2044	43.110	701	6.405	76.862
2045	45.820	745	7.150	85.797
2046	48.566	789	7.939	95.268
2047	51.350	834	8.773	105.281
2048	54.170	880	9.654	115.844
2049	57.028	927	10.580	126.964
2050	59.924	974	11.554	138.650
2051	62.858	1.021	12.576	150.907
2052	65.832	1.070	13.645	163.744
2053	68.846	1.119	14.764	177.169
2054	71.900	1.168	15.932	191.190
2055	74.995	1.219	17.151	205.814
2056	78.131	1.270	18.421	221.049
2057	81.308	1.321	19.742	236.904
2058	84.424	1.372	21.114	253.367
2059	87.560	1.423	22.537	270.441
2060	90.696	1.474	24.011	288.127
2061	93.832	1.525	25.535	306.424
2062	96.968	1.576	27.111	325.333
2063	100.104	1.627	28.738	344.853
2064	103.241	1.678	30.415	364.985
2065	106.377	1.729	32.144	385.729
2066	109.513	1.780	33.924	407.084

Volumen promedio durante la vida útil (m3/mes) 848