

**Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Química**

**Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en**  
**Ingeniería Ambiental**

**“Diseño del relleno sanitario para el tratamiento y disposición de los residuos sólidos  
de Corredores y Golfito.”**

**Maylith Rocío Vega Alvarado**

**Noviembre, 2012**

**“Diseño del relleno sanitario para el tratamiento y disposición de los residuos sólidos  
de Corredores y Golfito”**

Informe presentado a la Escuela de Química  
del Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Ambiental con el grado en Licenciatura

**Miembros del Tribunal**

---

**Ing. Jorge Calvo Gutiérrez**

**Director de Tesis**

---

**Ing. Macario Pino Gómez**

**Lector 1**

---

**MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga**

**Lector 2**

## **Dedicatoria**

A mis padres, por el gran esfuerzo que realizaron para costear mis estudios y por haber puesto su confianza en mí.

## **Agradecimientos**

Primeramente a Dios por la vida y la capacidad brindada para alcanzar esta meta.

De manera muy especial a mis padres, por haber inculcado en mí buenos principios y valores fundamentales para tomar las mejores decisiones y luchar por lo que se quiere lograr en la vida. Por el enorme esfuerzo que realizaron durante mis años universitarios para hacer posible mi estadía en Cartago y costear mis estudios; por su apoyo incondicional y por haber depositado su confianza en mí. A mi hermano Anthony Vega, por sus consejos y apoyo para seguir adelante con mi carrera.

A Eddie Álvarez por su cariño y apoyo incondicional, por sus consejos, por sus palabras de ánimo para seguir adelante y además, por su ayuda con la utilización de AutoCAD.

Al profesor e Ing. Jorge Calvo por su generosidad, por su orientación para la realización de este proyecto, por el tiempo brindado y las enseñanzas impartidas para hacer esto posible; al profesor e Ing. Macario Pino por el aporte de sus conocimientos técnicos brindados en clase, en materia de Relleno Sanitarios. A los profesores en general, por la formación académica proporcionada.

A mis amigas y amigos del TEC, por su ayuda académica durante la carrera y por hacer más acogedora la estadía en Cartago.

Al Señor Oscar Madrigal de la Municipalidad de Golfito, por su amabilidad, su valioso tiempo y por su ayuda en la búsqueda de información municipal.

# 1. Tabla de contenido

## 1.1 Contenido General

Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos.....	iv
1. Tabla de contenido.....	v
1.1 Contenido General.....	v
1.2 Contenido de Cuadros.....	viii
1.3 Contenido de Figuras .....	x
2. Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
3. Introducción.....	14
4. Objetivos .....	16
4.1 Objetivo General .....	16
4.2 Objetivos Específicos .....	16
5. Alcances y limitaciones del Proyecto .....	16
6. Marco Teórico .....	18
7. Caracterización de la zona.....	24
7.1 Descripción general del sitio .....	24
7.2 Descripción de la población.....	24
7.3 Ubicación Geográfica .....	26
7.4 Topografía.....	27
7.5 Geología Local.....	29
7.6 Caracterización de suelos.....	29
7.7 Clima.....	30
7.8 Hidrología .....	33

8.	Proyección de la población y estimación de desechos.....	33
8.1	Proyección de la población .....	33
8.2	Proyección de desechos .....	35
9.	Diseño del relleno sanitario .....	37
9.1	Tipo de relleno sanitario .....	38
9.2	Volumen de desechos y área requerida para su disposición .....	38
9.3	Vida útil del relleno sanitario .....	41
9.4	Perfiles del terreno.....	42
9.5	Diseño de celdas.....	47
9.6	Material de cobertura.....	48
9.7	Impermeabilización .....	50
9.8	Producción de lixiviados.....	51
9.9	Sistema de recolección de lixiviados.....	52
9.10	Producción de biogás y sistema de recolección.....	54
9.11	Taludes finales del relleno sanitario.....	64
9.12	Drenaje pluvial.....	64
10.	Equipo y Maquinaria .....	66
10.1	Fase de Construcción .....	66
10.2	Fase de Operación.....	68
11.	Instalaciones Complementarias .....	68
11.1	Casetas de seguridad .....	68
11.2	Sistema de pesaje .....	68
11.3	Malla perimetral.....	69
11.4	Área de lavado .....	69
11.5	Centro de Acopio .....	69
11.6	Parqueo.....	70

11.7	Comedor .....	70
11.8	Oficinas administrativas .....	71
11.9	Consultorio Médico.....	71
11.10	Área de compostaje .....	71
11.11	Sistema de tratamiento de lixiviados.....	71
12.	Análisis de Costos.....	73
12.1	Costos de diseño .....	73
13.	Conclusiones y recomendaciones .....	74
13.1	Conclusiones.....	74
13.2	Recomendaciones .....	75
14.	Bibliografía .....	77
14.1	Libros impresos y electrónicos .....	77
14.2	Tesis .....	78
14.3	Leyes y Reglamentos .....	79
14.4	Estudios e informes .....	79
14.5	Artículos de revistas.....	81
15.	Anexos.....	82
15.1	Memoria de Diseño del Relleno Sanitario .....	82
15.1.1	Proyección de la población de diseño .....	82
15.1.2	Vida útil del relleno sanitario .....	84
15.1.3	Diseño de celdas .....	86
15.1.4	Material de Cobertura.....	87
15.1.5	Estimación de la producción de lixiviados y sistema de evacuación.....	88
15.1.6	Estimación de la producción de gases y sistema de evacuación .....	96
15.1.7	Estimación de las dimensiones del drenaje pluvial.....	99
15.2	Manual de Operación y Mantenimiento.....	101

15.2.1	Jornada diaria de trabajo.....	101
15.2.2	Equipo necesario para la operación del relleno sanitario .....	101
15.2.3	Personal requerido para la operación del relleno sanitario.....	101
15.2.4	Control de acceso .....	102
15.2.5	Operación de báscula .....	102
15.2.6	Disposición de desechos.....	102
a.	Tipo de residuos .....	102
b.	Separación de residuos .....	103
c.	Llenado de celdas .....	104
d.	Material de cobertura .....	105
e.	Operación del relleno sanitario .....	105
f.	Cierre técnico de cada celda.....	106
15.2.7	Mantenimiento y Servicio .....	107
a.	Habilitación de espacios de trabajo .....	107
b.	Transporte interno .....	107
c.	Mantenimiento de Instalaciones.....	108
15.2.8	Situaciones de emergencia y posibles dificultades .....	110
15.2.9	Reportes Operacionales.....	111
15.3	Datos Climatológicos .....	112

## **1.2 Contenido de Cuadros**

Cuadro 1.	Población de Corredores y Golfito .....	25
Cuadro 2.	Datos climatológicos del Cantón de Golfito.....	31
Cuadro 3.	Proyección de la población de Corredores y Golfito.....	34
Cuadro 4.	Estimación de desechos a disponer durante la vida útil del relleno sanitario por la población actual que recibe el servicio de recolección.....	35



Cuadro 5. Estimación de desechos a disponer durante la vida útil del relleno sanitario por la población actual que recibe el servicio de recolección.....	37
Cuadro 6. Proyección de desechos, volumen y área requerida del relleno sanitario.....	39
Cuadro 7. Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando la población actual que recibe el servicio de recolección. ....	41
Cuadro 8. Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando toda la población de la zona.....	42
Cuadro 9. Área y volumen propuestos para cada celda.....	48
Cuadro 10. Estimación de la producción de biogás en el relleno sanitario. ....	56
Cuadro 11. Costo total de diseño.....	73
Cuadro 12. Proyección poblacional de Corredores y Golfito. ....	83
Cuadro 13. Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando la población actual que recibe el servicio de recolección. ....	86
Cuadro 14. Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando toda la población de la zona. ....	86
Cuadro 15. Material de cobertura requerido para cada celda.....	87
Cuadro 16. Caudal de lixiviados generado por las precipitaciones.....	89
Cuadro 17. Cálculo de la generación de lixiviados por la humedad de los residuos.....	91
Cuadro 18. Coeficientes de esorrentía para distintas superficies. ....	93
Cuadro 19. Resultados del cálculo delcaudal de escurrimiento superficial. ....	94
Cuadro 20. Caudal de evapotranspiración. ....	95
Cuadro 21. Resultados proporcionados por el Modelo de Biogás Centroamericano.....	98
Cuadro 22. Equipo necesario para la operación del relleno sanitario.....	101
Cuadro 23. Personal necesario para la operación del relleno sanitario .....	102

Cuadro 24. Material de cobertura requerido para cada celda.....	105
Cuadro 25. Datos meteorológicos de la estación del IMN en Río Claro de Golfito .....	112
Cuadro 26. Datos meteorológicos de la estación del IMN en Golfito.....	113
Cuadro 27. Datos meteorológicos de la estación del IMN en PINDECO, Buenos Aires ...	114

### 1.3 Contenido de Figuras

Figura 1. Fotografías del vertedero municipal de Corredores.....	23
Figura 2. Fotografías del vertedero municipal de Golfito.....	23
Figura 3. Ubicación de los cantones de Corredores y Golfito .....	25
Figura 4. Ubicación del proyecto Relleno Sanitario de Golfito-Corredores.Hoja Cartográfica Piedras Blancas.Escala1:500000.....	26
Figura 5. Vía de acceso al Relleno Sanitario de Golfito-Corredores, de acuerdo con la carretera interamericana. Hoja Cartográfica Piedras Blancas. Escala 1:25000 .....	27
Figura 6. Área plana en la parte alta de la finca. ....	28
Figura 7. Área de ligeras pendientes en la parte alta de la finca. ....	28
Figura 8. Pendiente alta en la parte sur de la finca. ....	29
Figura 9. Comportamiento mensual de la temperatura en Golfito.....	32
Figura 10. Comportamiento mensual de las lluvias en Golfito.....	32
Figura 11. Corte transversal de la celda 1, Estación 0+000.....	43
Figura 12.Corte transversal de la celda 1, Estación 0+010.....	43
Figura 13. Corte transversal de la celda 1, Estación 0+020.....	44
Figura 14. Corte transversal de la celda 1, Estación 0+030.....	44
Figura 15. Corte transversal de la celda 1, Estación 0+040.....	45
Figura 16. Perfil de la celda 1 .....	46
Figura 17. Distribución de celdas en el relleno sanitario .....	47
Figura 18. Capas que conforman la impermeabilización del terreno .....	51
Figura 19. Distribución del drenaje de lixiviados en el relleno sanitario .....	53

Figura 20. Composición del drenaje de evacuación de lixiviados. ....	54
Figura 21. Ubicación y distribución de pozos de extracción de gas en el relleno sanitario..	58
Figura 22. Área de absorción del pozo de gas.....	59
Figura 23. Detalles de perforación de tuberías de los pozos de extracción de gases. ....	59
Figura 24. Sección transversal del cuerpo de la chimenea .....	60
Figura 25. Detalles de los pozos de extracción de gases en el relleno sanitario. ....	61
Figura 26. Detalles del quemador de gases en el relleno sanitario.....	62
Figura 27. Sistema de tuberías para la captación y aprovechamiento del biogás. ....	63
Figura 28. Ubicación de canales perimetrales en el relleno sanitario. ....	65
Figura 29. Dimensiones de canales perimetrales del relleno sanitario.....	66
Figura 30. Retroexcavadora.. ....	67
Figura 31. Tractor compactador. ....	67
Figura 32. Vagonetas. ....	67
Figura 33. Excavadora .....	68
Figura 34. Distribución de celdas y estructuras complementarias del relleno sanitario .....	72
Figura 35. Hoja de alimentación del Modelo de Biogás Centroamericano. ....	97
Figura 36. Dimensiones de los canales perimetrales. ....	100

## **2. Resumen**

Los cantones de Corredores y Golfito, ubicados en la zona sur del país, vierten sus residuos sólidos en un “botadero a cielo abierto”. La problemática ambiental que gira entorno a la disposición de residuos sin previo tratamiento, es grave. Esto debido a la generación de lixiviados altamente contaminantes, gases, olores desagradables, proliferación de insectos, roedores y aves. Además, implica riesgos a la salud pública por la presencia de recolectores de residuos expuestos a condiciones inadecuadas.

El diseño de un relleno sanitario, con los principales componentes técnicos, permitiría a ambas municipalidades disponer adecuadamente sus residuos. Los beneficiarios serían la Municipalidad de Corredores, la Municipalidad de Golfito y la población de la zona que recibe el servicio de recolección de residuos sólidos.

Por esta razón, el objetivo general de este proyecto es diseñar los principales requerimientos técnicos del relleno sanitario para tratar y disponer los residuos sólidos generados en los Cantones de Corredores y Golfito. Por consiguiente, este trabajo propone el diseño de celdas, sistemas de recolección de lixiviados, gases y agua pluvial, tomando en cuenta las condiciones topográficas, climatológicas, geológicas, características de la población y marco regulatorio aplicable. Además, se estableció el respectivo manual de operación y mantenimiento del relleno sanitario y el presupuesto necesario para realizar el diseño de dicho relleno sanitario.

Mediante visitas de campo, revisión de documentación municipal, investigación bibliográfica y consultas a personal especializado, se obtuvo el crecimiento de la población y de la cantidad de residuos durante la vida útil del relleno sanitario, las dimensiones y detalles de los sistemas de evacuación de lixiviados, gases y agua pluvial, detalles de celdas y demás instalaciones complementarias del relleno sanitario.

Por lo tanto, los principales productos obtenidos son el diseño del relleno sanitario y de las estructuras complementarias, el respectivo manual de operación y mantenimiento del relleno sanitario y los recursos económicos requeridos para realizar el diseño.

## **Abstract**

The cantons of Corredores and Golfito, located in the southern region, dump their solid waste in a "garbage dump". The environmental issue that revolves around waste disposal without previous treatment is serious. This is due to the generation of highly polluting leachate, gases, unpleasant odors, insect proliferation, rodents and birds. It also implies risks to public health for the presence of waste collectors exposed to unsuitable conditions.

The design of a landfill with the main technical components, would allow to both municipalities properly dispose their waste. The beneficiaries would be the Municipality of Corredores, the Municipality of Golfito and the population of the region that receives the collection solid waste service.

For this reason, the general objective of this project is to design the main technical requirements of the landfill for disposal and treatment of the solid waste generated in the cantons of Corredores and Golfito. Therefore, this project proposes the cells design, leachate collection systems, gases and rainwater, considering the topographical, climatological and geological conditions, population characteristics and regulatory framework applicable. Also was established the respective operation and maintenance manual of the landfill and the necessary budget for the design of the landfill.

Through field visits, review of municipal documents, literature review, consultations to specialized personal, was obtained the population growth and the amount of waste during the useful life of the landfill, the details and dimensions of the leachate collection systems, gases and rainwater, cells details and other complementary structures of the landfill.

Therefore, the main products obtained are the dimensions of the landfill and additional structures, the respective operational and maintenance manual of the landfill and the financial resources required to realize the design.

### **3. Introducción**

El crecimiento de la población, así como el desarrollo industrial, la urbanización y otros efectos del desarrollo experimentado por los países de América Latina y el mundo entero, vienen ocasionando un incremento importante en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades diarias de la población (Jaramillo, 1991).

La basura es un subproducto de todas las actividades que realiza el ser humano. Incluso el hecho de vivir genera residuos, ya que cuando se nace se generan cerca de 320 gramos de placenta, residuo liberado durante el parto y que lastimosamente es el indicador de lo que continuará haciendo durante el resto de su vida (Collazos, 2008).

La creciente degradación del medio ambiente ha despertado la preocupación del ser humano, principalmente por el efecto que ha tenido sobre su salud y sobre su calidad de vida. Por esta razón, él mismo se ha encargado de crear y promover acciones que contrarresten el daño causado diariamente a nuestro planeta (López y Mendoza, 2004).

Por lo tanto, se han realizado mejoras en el manejo de residuos sólidos y se ha incrementado el desarrollo de nuevas tecnologías para la disposición final de los mismos. Al lado de estos avances, el problema de disposición final de los residuos es aún más difícil en zonas rurales, principalmente por la falta de recursos, la escasez de información sobre las consecuencias graves de los botaderos y la ausencia de conocimiento sobre tecnologías apropiadas. En general, carecen de suficiente conocimiento para abordar la problemática de disposición final de los residuos (Jaramillo, 2004).

Actualmente, los Cantones de Corredores y Golfito, ubicados en la zona sur del país, depositan sus residuos sólidos en un vertedero que no cuenta con tratamiento adecuado de los residuos. Situación que desafortunadamente es común apreciar en muchos cantones de Costa Rica, principalmente en las zonas rurales.

La presencia de estos botaderos genera gran impacto ambiental en la zona, ya que no cuentan con tratamiento alguno de los residuos, simplemente se desechan en el sitio y algunas veces se cubren con una capa de tierra, haciendo uso de maquinaria especializada. Esta actividad se realiza con el objetivo de disminuir los malos olores y la presencia de animales como roedores, insectos, aves y demás vectores de enfermedades que se pueden

generar en un botadero. Sin embargo, éste trabajo es insuficiente y basta una visita al lugar para apreciar la problemática existente.

Por otro lado, los lixiviados que se generan como producto de la descomposición de la materia orgánica, la humedad que contienen los residuos y la contribución del agua de lluvia, son altamente contaminantes. Por lo tanto, al carecer de tratamiento alguno, estos lixiviados van directamente al suelo y están poniendo en riesgo la calidad de los mantos acuíferos de la zona. Además, no se cuenta con un sistema apropiado de recolección y evacuación de los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica.

Es importante mencionar que en estos botaderos existen algunas personas cuya subsistencia está basada en la recolección de residuos, los mal denominados “buzos”. Ante esta situación, es evidente la amenaza contra la salud pública que representa laborar en las condiciones precarias en la que se encuentran estos vertederos.

El manejo de residuos sólidos municipales es una problemática que asecha día a día a nuestro país, y es aquí donde la ingeniería ambiental entra a jugar un papel muy importante, ya que pone a disposición de los profesionales las herramientas necesarias para solucionar problemas de índole ambiental y social.

Por lo tanto, en este proyecto se propone el diseño de un relleno sanitario mecanizado, capaz de brindarle a la población de ambos cantones un lugar adecuado donde puedan disponer sus residuos sólidos, sin contaminar a cielo abierto. Entonces, el diseño comprende la distribución y metodología de llenado de celdas, la ubicación y detalles del sistema de evacuación de lixiviados y gases, detalles de canales para agua pluvial y descripción básica de las estructuras complementarias que debe tener el relleno sanitario.

Cabe mencionar que la metodología utilizada para realizar el diseño propuesto consiste básicamente en revisión de documentación municipal y de otras fuentes bibliográficas, visitas de campo, consulta a profesionales en el tema y aplicación de conocimientos adquiridos durante los cursos de carrera de Ingeniería Ambiental. A partir de estos, se obtiene el diseño del relleno sanitario con su respectivo manual de operación y mantenimiento y los costos económicos requeridos para realizar dicho diseño.

Por las razones anteriormente expuestas, es que la realización de este proyecto es de suma importancia ya que contribuye enormemente a minimizar el impacto ambiental existente, mediante una alternativa viable, adecuada a las condiciones de las municipalidades y técnicamente estructurado para tratar y disponer adecuadamente los residuos sólidos. Además, contribuye a la mejora de la gestión ambiental municipal y al cumplimiento con la legislación nacional.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Diseñar los principales requerimientos técnicos del relleno sanitario para tratar y disponer los residuos sólidos generados en los Cantones de Corredores y Golfito.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- 4.2.1 Diseñar las celdas, sistemas de recolección de lixiviados, gases y agua pluvial.
- 4.2.2 Crear el manual de operación y mantenimiento del relleno sanitario.
- 4.2.3 Establecer los costos de diseño del relleno sanitario.

## **5. Alcances y limitaciones del Proyecto**

Se realizará una descripción básica del sitio, incluyendo condiciones geográficas, geológicas, topográficas e hidrológicas. Sin embargo, el alcance del proyecto no comprende la realización de pruebas de campo ni de los estudios respectivos, ya que esta información fue proporcionada por la Municipalidad de Golfito.

El diseño del relleno sanitario surge a partir del hecho que ya se realizó el Estudio de Impacto Ambiental y se está en espera de la resolución de SETENA.

No se realizó un previo estudio de la composición de los residuos que llegan al vertedero actual, se parte de que son residuos sólidos ordinarios.



El proyecto comprende el diseño y ubicación de las celdas, al igual que la metodología de llenado durante la operación del relleno sanitario.

Se realizará el diseño de los drenajes para la evacuación de los lixiviados del relleno sanitario. Sin embargo, el diseño del sistema de tratamiento para dichos lixiviados no se encuentra dentro del alcance, debido a su magnitud y al tiempo disponible para realizar el proyecto.

El diseño además, comprende el sistema de recolección y evacuación de biogás del relleno sanitario. Sin embargo, no abarca la realización de un estudio de viabilidad para la posible captación y aprovechamiento del biogás, sólo se menciona un aproximado de las pérdidas económicas que puede tener la Municipalidad de seguir simplemente quemando el biogás.

Además, se realizará el diseño del sistema de evacuación de las aguas pluviales que requiere el relleno sanitario.

El alcance del proyecto no comprende el diseño de taludes ni de las carreteras dentro del relleno sanitario.

No se profundizará en el diseño de las estructuras complementarias que debe tener el relleno sanitario, sólo se brindará una descripción general de las más importantes.

Se establecerán las pautas a seguir durante la operación del relleno sanitario al igual que las medidas necesarias para brindarle un adecuado mantenimiento, todo esto dispuesto en el Manual de Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario.

No se realizará el análisis de costos de ejecutar el proyecto, ya que éste solo comprende la etapa de diseño y no la ejecución. Por lo tanto, los costos relacionados con el diseño del relleno sanitario si se encuentran dentro del alcance.

## **6. Marco Teórico**

Inicialmente, el hombre producía sólo desechos biodegradables. Sin embargo, a medida que se fue “modernizando”, fue cambiando su manera de vida y por ende, sus residuos sólidos también. El modernismo trae basura, tanto que actualmente nos encontramos en la era de los “desechables” como vasos, platos, empaques, pañales, entre otros (Collazos, 2008).

Por lo tanto, el desarrollo de cualquier asentamiento humano está acompañado siempre de una mayor producción de residuos que, al mezclarse, pierden su valor comercial y también afectan la salud pública y contaminan el medio ambiente. Ante esta problemática, se hace manifiesta la necesidad de buscar soluciones adecuadas para su manejo y disposición final (Jaramillo, 2002).

La generación de residuos domiciliarios ha ido incrementado con el pasar de los años, tanto en Costa Rica como en el mundo entero. Este comportamiento se debe principalmente al consumismo incontrolado, a esa cultura de “comprar y tirar”, a la falta de conciencia ambiental, al crecimiento poblacional y a la fabricación de productos cuyo único enfoque es su valor comercial, sin importar el impacto que puedan causar sobre el medio ambiente (PRESOL, 2007).

Los residuos sólidos municipales son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales, institucionales (administración pública, centros educativos, etc.), de mercados, y los provenientes de la limpieza de vías y áreas públicas de una población, cuya gestión está a cargo de las municipalidades (Jaramillo, 2002).

En Costa Rica se generan aproximadamente 4500 toneladas por día de desechos domiciliarios, de los cuales el 70% son recolectados por municipalidades, este 70% se divide en 52% a rellenos sanitarios, 17% a vertederos semicontrolados y 22% a botaderos a cielo abierto (Soto, 2006).

El Ministerio de Salud es el encargado de fiscalizar el correcto funcionamiento de los rellenos sanitarios y vertederos mecanizados en Costa Rica. A pesar de que la legislación nacional prohíbe los botaderos a cielo abierto y los vertederos sin control alguno, existe una gran porción del país que continúa utilizando estos métodos de disposición final (Soto, 2010).

La disposición final de los residuos sólidos en Costa Rica, representa una problemática grave desde el punto de vista de clasificación de los residuos desde su origen. Esto ocasiona que se dispongan residuos domiciliarios mezclados con residuos peligrosos, acción que magnifica el problema. Por otro lado, el impacto ambiental generado sobre el suelo, la atmósfera, aguas subterráneas y sus derivados impactos sobre la salud pública, convierten la disposición inadecuada de los residuos sólidos en un problema cuya solución es urgente y necesaria (PRESOL, 2007).

Ante el problema de la disposición final de los residuos, el hombre ha buscado diferentes métodos para solucionarlo. El relleno sanitario no es la solución perfecta, porque es “enterrar energía”, sin embargo, actualmente es la mejor solución ya que causa el menor impacto al ambiente y al ser humano (Collazos, 2008).

Un relleno sanitario es un sitio que opera conforme una lógica y un compromiso de protección al ambiente que orienta a la disposición final adecuada de los residuos sólidos municipales. Es una estructura bien planeada, con base en una serie de estudios geológicos e hidrológicos, con una infraestructura de captación de biogás y control de lixiviados. Además, todo el sitio se encuentra impermeabilizado para evitar el escape de lixiviados y su infiltración al subsuelo (Bernache, 2006).

Este sistema de disposición de los residuos sólidos genera gases y lixiviados, para esto se debe contar con un sistema de recolección y tratamiento adecuados. Se producen varios tipos de gases debido a la descomposición de la materia orgánica, pero los principales son el dióxido de carbono y el metano. Estos gases se recolectan por medio de drenajes que cuentan con material permeable como grava y además, con chimeneas para la quema de dichos gases en la salida (Campos, 2003).

Por otro lado, los lixiviados producidos por la descomposición de la materia orgánica, por el contenido de agua de los residuos y por la infiltración del agua de lluvia son recolectados por medio de drenajes y debido a su alto valor contaminante deben disponerse en un sistema de tratamiento adecuado (Campos, 2003). Además, un relleno sanitario debe contar con drenajes para la recolección y disposición de las aguas de escorrentía, pues se debe evitar al máximo el ingreso de éstas a la celda.

Los rellenos sanitarios como método de disposición final de los residuos sólidos presentan diversas ventajas sobre otros tipos de tratamiento, razón por la cual es común su utilización. Entre estas ventajas se pueden mencionar que es un método sanitario, completo y apropiado, que controla los olores, los roedores, las moscas y la contaminación del suelo y agua (Gómez, 2007).

Además, los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos lo que permite estar al alcance de las municipalidades, pues no requiere de equipos y técnicas muy sofisticadas para su funcionamiento y permite utilizar terrenos que estaban considerados como inaccesibles e improductivos y convertirlos posteriormente en lugares de recreación para las comunidades vecinas(Gómez, 2007).

Por otro lado, se encuentra la incineración, también como método de disposición final. Es un proceso térmico que puede aplicarse para el tratamiento de los residuos sólidos con el objetivo de disminuir el volumen y la peligrosidad que presentan, al tiempo que se capturen o se destruyan las sustancias potencialmente dañinas que pueden emitirse durante el proceso (Bono y Tomás, 2006).

Sin embargo, es muy importante considerar los aspectos ambientales involucrados, donde la mayor preocupación son las emisiones atmosféricas, que contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global. Además, ha surgido una preocupación reciente por las dioxinas y furanos que se puedan liberar durante la quema, ya que representan tanto peligro para el ser humano como para el ambiente.

La variedad de los materiales a tratar y los niveles de emisión impuestos por las normas legales han obligado a desarrollar o adaptar unas tecnologías específicas para este proceso. Los aspectos socioeconómicos ponen de manifiesto que se requieren elevadas inversiones, grandes costos de operación y, en general, una fuerte oposición popular. Por esta razón, la incineración no es tan común de encontrar como los rellenos sanitarios (Romero, s.f.).

En contraparte, se encuentra el compostaje, que en términos generales es un método que acelera la descomposición biológica de los residuos hasta obtener un humus estabilizado. Hoy en día se sigue insistiendo en esta solución, y la están aplicando en países altamente

desarrollados, sin embargo, para los países de baja capacidad económica representa problemas por el costo y la comercialización (Collazos, 2008).

En los últimos años, han surgido una serie de tecnologías que prometen superar los problemas ya conocidos por la incineración convencional, y a la vez generar energía a la que califican como “renovable”. Entre estas se pueden mencionar la pirolisis, la gasificación y el arco plasma (Greenpeace, 2010).

La pirolisis es una descomposición térmica de la materia orgánica presente en los residuos, pero en ausencia de oxígeno. Sin embargo, si el proceso es autotérmico, se introduce algo de oxígeno para producir una combustión parcial capaz de generar calor al proceso (Castells, 2012).

La gasificación, es un proceso en el que se convierte, mediante oxidación parcial a temperatura muy elevada, una materia prima (normalmente sólida) en un gas con un moderado poder calorífico. Normalmente, se trabaja con un 25-30% del oxígeno necesario para la oxidación completa, esta característica marca la diferencia entre este método y la combustión y pirolisis (Castells, 2012).

Por otro lado, el plasma se forma siempre que materia ordinaria es calentada a más de 5000°C. La antorcha de plasma opera a temperaturas muy altas y procesa todo tipo de residuos a presión atmosférica, lo cual resulta en gases o fluidos cargados eléctricamente que responden a fuerzas electromagnéticas (González et al, 2009).

Sin embargo, estas tres tecnologías han estado probándose sin alcanzar un grado de madurez tal que las convierta en soluciones realistas. Por el contrario, subsisten grandes interrogantes debido a los problemas que aún deben superar (Greenpeace, 2010).

En consecuencia, estas nuevas tecnologías son de altos costos, algunas aún en prueba por lo que no se cuenta con la certeza de que son eficientes, tampoco se cuenta con el conocimiento necesario acerca del funcionamiento de estas, ni la experiencia requerida.

Por lo tanto, el ser humano debe comprender que la solución más próxima y eficiente consiste en la reducción desde la fuente de origen, la reutilización, el reciclaje, tratamiento y una disposición final segura. Por ende, el relleno sanitario se convierte en la opción más

viable y adecuada de disposición final de acuerdo con las condiciones de las municipalidades de nuestro país.

En Costa Rica, la cobertura del servicio de recolección y transporte de residuos continúa siendo uno de los puntos críticos de la gestión de los residuos sólidos municipales. De acuerdo con un estudio realizado, un 43% de las municipalidades afirma recolectar menos del 50% de sus residuos sólidos, cifra muy baja, que demuestra el incumplimiento con el marco regulatorio nacional en tema de residuos (Gaviria y Soto, 2007).

Las zonas urbanas con alta densidad de población son las que presentan elevadas coberturas del servicio, aproximadamente del 90%. Sin embargo, para zonas rurales el escenario es distinto, pues se ven afectadas por la escasez del servicio de recolección, debido a la lejanía y a que presentan una densidad poblacional mucho menor que las zonas urbanas, esto hace que el servicio no sea rentable ni efectivo (PRESOL, 2007).

Por esta razón, es común encontrar zonas rurales en nuestro país que cuentan con un “botadero a cielo abierto”, tal es el caso de los Cantones de Corredores y Golfito, ubicados en la zona sur del país, en la provincia de Puntarenas. Dichos Cantones cuentan con una población estimada de 39150 habitantes para el caso de Golfito y para Corredores corresponde a 41831 (INEC, 2011).

Es importante mencionar que ambos cantones vierten sus residuos sólidos en un “botadero a cielo abierto” ubicados en Caracol Norte. A 10 km del centro de Ciudad Neily, se encuentra el vertedero de Corredores y el de Golfito se ubica en el cerro Fila Manigordo de Río Claro. Ambos vertederos no cuentan con tratamiento y disposición final adecuados de sus residuos, pues carecen de infraestructura para recolección y disposición de lixiviados, aguas de escorrentía, gases, control de roedores y moscas y demás requerimientos para la disposición adecuada de los residuos.



**Figura 1.** Fotografías del vertedero municipal de Corredores.



**Figura 2.** Fotografías del vertedero municipal de Golfito.

Por lo tanto, la condición actual de ambos vertederos está generando gran impacto ambiental y además, poniendo en riesgo la salud pública pues los recolectores realizan sus labores en condiciones insalubres. Ante tal problemática, un relleno sanitario con las

características técnicas necesarias, permitiría disponer y tratar adecuadamente los residuos de la zona y a la vez, le permite a ambas municipalidades mejorar la gestión de residuos sólidos mediante el cumplimiento con la “Ley para la Gestión Integral de Residuos sólidos”.

## **7. Caracterización de la zona**

Para realizar el diseño de un relleno sanitario, es de suma importancia conocer las características físicas y geográficas del sitio destinado para la implementación del proyecto. A continuación, se muestran las principales características que permiten visualizar el entorno físico y geográfico del lugar.

### **7.1 Descripción general del sitio**

La finca destinada para el proyecto es de 15,5 ha. Es de fácil acceso durante toda la época del año y además, es un terreno relativamente deshabilitado, ya que actualmente es utilizado para actividades ganaderas que lo convierten en un potrero con alta intervención antrópica. Cabe mencionar que el terreno posee una cobertura vegetal compuesta principalmente por zacate y arbustos. Además, la finca se encuentra junto al vertedero actual donde se disponen los residuos generados por la población de Golfito, que pertenece a la municipalidad de dicho cantón.

### **7.2 Descripción de la población**

El cantón de Corredores tiene un área total de 620,4 km<sup>2</sup> y Golfito posee un área de 1754 km<sup>2</sup>(Municipalidad de Golfito, 2011). El siguiente cuadro, muestra la población de ambos cantones distribuida por distritos.



**Cuadro 1.** Población de Corredores y Golfito.

Corredores		Golfito	
Corredor	17 250	Puerto Jiménez	8 789
Canoas	11 527	Golfito	11 284
La Cuesta	3 906	Guaycará	12 918
Laurel	9 148	Pavón	6 159
Total	41 831	Total	39 150

**Fuente:** INEC, Censo 2011.

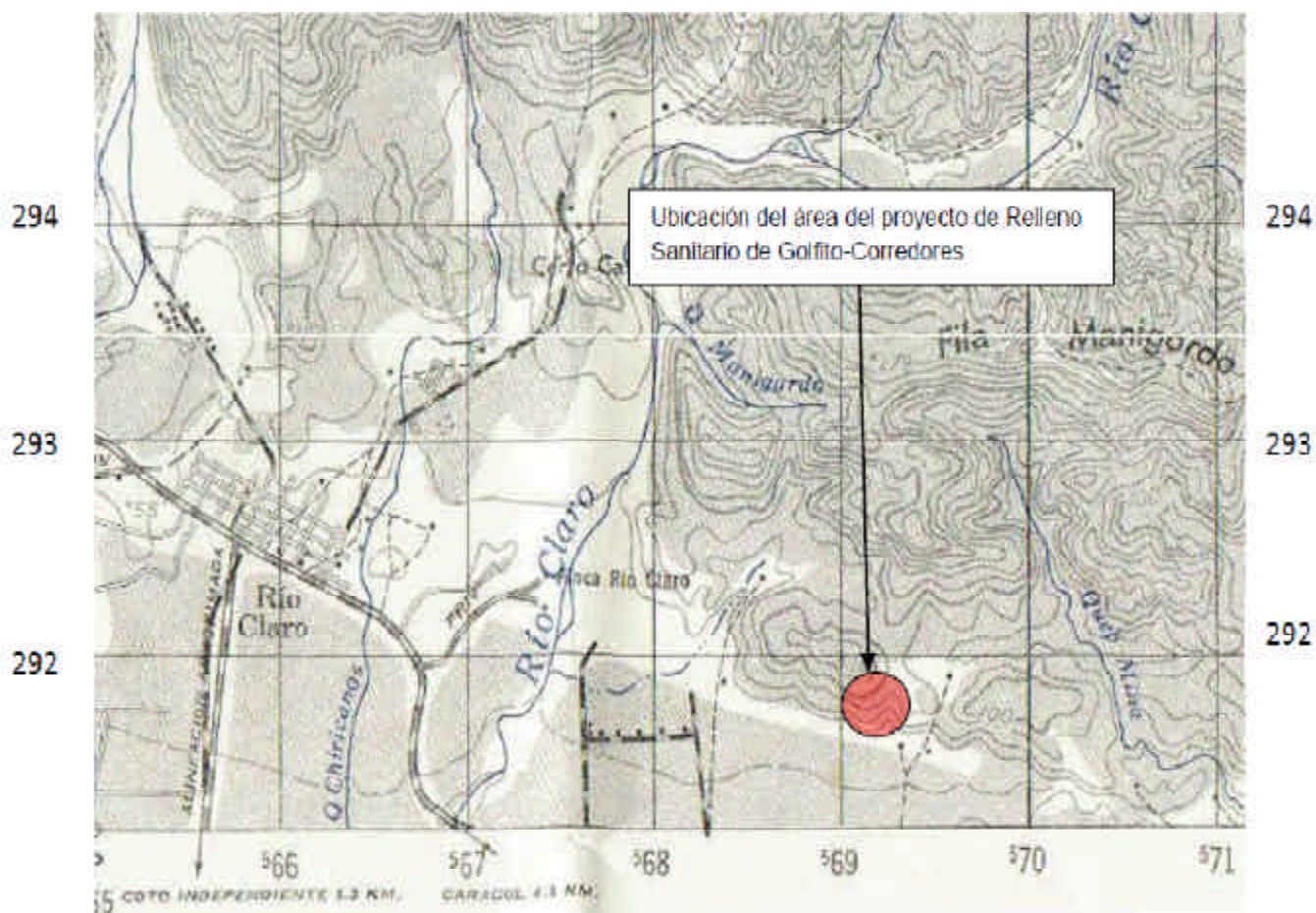


**Figura 3.** Ubicación de los cantones de Corredores y Golfito.

**Fuente:** Municipalidad de Golfito.

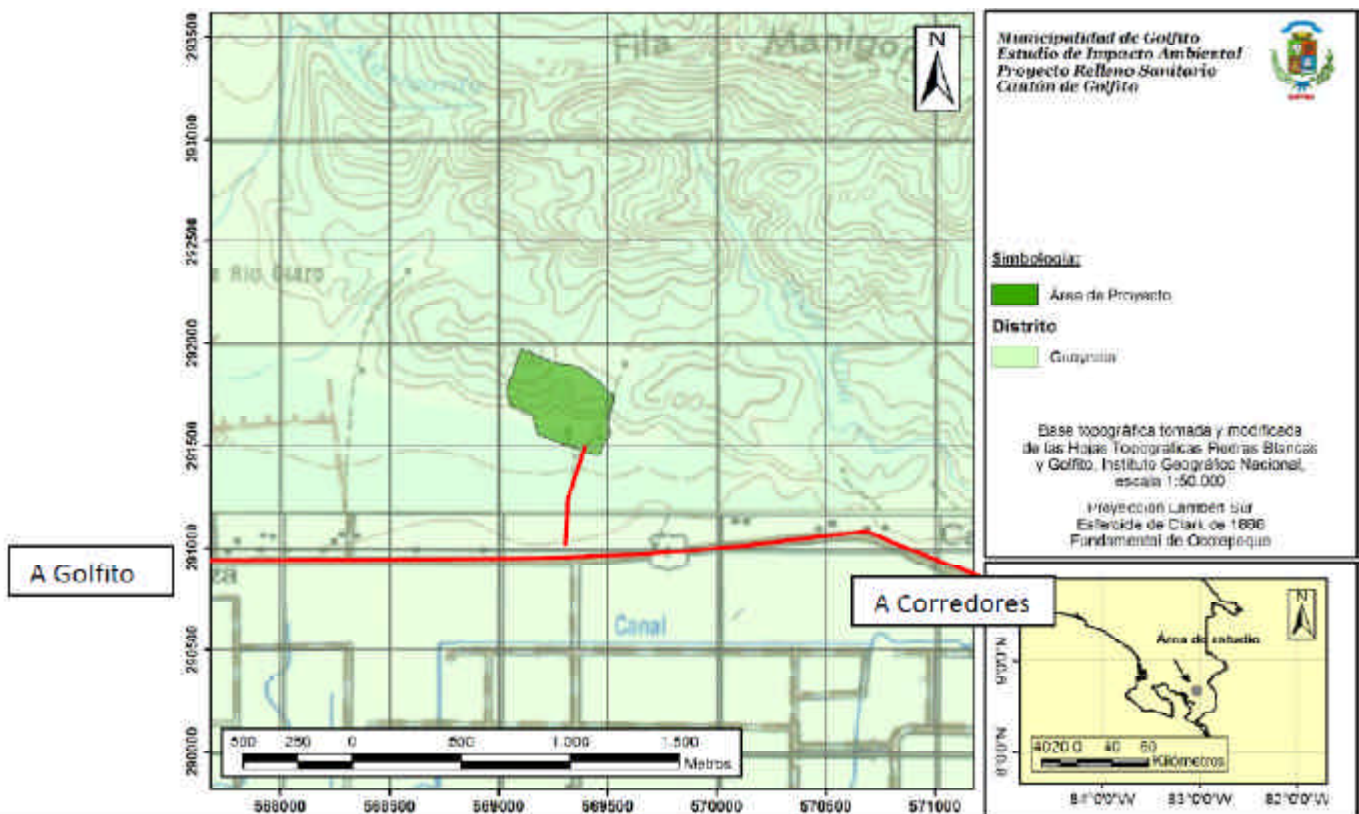
### 7.3 Ubicación Geográfica

El sitio donde se desea construir el Relleno Sanitario se ubica en el Roble del Distrito de Guaycará, cantón de Golfito, en la provincia de Puntarenas. Aproximadamente, se encuentra a 1,5 km de la carretera interamericana sur. Según el Instituto Geográfico Nacional, está definido en la hoja cartográfica Piedras Blancas a escala 1:50000, específicamente en las coordenadas Lambert N: 291-292 y E: 569-570 en el lugar conocido como Entrad del Cedro.



**Figura 4.** Ubicación del proyecto Relleno Sanitario de Golfito-Corredores. Hoja Cartográfica Piedras Blancas. Escala 1:500000.

**Fuente:** Municipalidad de Golfito



**Figura 5.** Vía de acceso al Relleno Sanitario de Golfito-Corredores, de acuerdo con la carretera interamericana. Hoja Cartográfica Piedras Blancas. Escala 1:25000.

**Fuente:**Municipalidad de Golfito.

#### 7.4 Topografía

La mayor altura dentro de la finca es de 110 msnm y la menor, corresponde a una depresión en el terreno que se encuentra a 30 msnm. En la parte superior, se encuentra una zona con pendientes ligeras, en cambio, al sur de la finca se encuentran unas pendientes más prolongadas, alcanzando incluso los 30° (EIA, 2011).

Las siguientes fotografías, muestran la topografía del terreno en algunas áreas de la finca donde se desea construir el relleno sanitario.



**Figura 6.** Área plana en la parte alta de la finca.



**Figura 7.** Área de pendientes ligeras en la parte alta de la finca.



**Figura 8.** Pendiente alta en la parte sur de la finca.

### **7.5 Geología Local**

La mayor parte del terreno se ubica sobre materiales de la unidad Lagarto de la formación Térraba, donde predominan los conglomerados y areniscas, además de canal esturbidícticos.

Los conglomerados están constituidos por bloques centimétricos redondeados, los cuales se encuentran inmersos en una matriz de limos o arcillas. Subyaciendo y sobreyaciendo la capa de conglomerados, se ubican estratos de areniscas finas a muy finas, de color generalmente gris o gris claro (EIA, 2011).

Los materiales conservan su estratificación original, aunque muy fracturados. Al meteorizar los materiales de esta unidad se generan suelos rojizos limo arcillosos, cuyo espesor puede variar de 1,0-1,5 m (EIA, 2011).

### **7.6 Caracterización de suelos**

En el sitio donde se desea construir el relleno sanitario, predomina el tipo de suelo Ultisol, que tiene características similares a los Alfisoles. Estos dos tipos de suelos pertenecen a los suelos más viejos y meteorizados del país y son los más abundantes en esta zona (EIA, 2011).

Las principales diferencias entre ellos son químicas y se establecen en el sub horizonte. Ambos, en términos agrícolas, presentan una capa arable muy semejante. En cuanto al

manejo intensivo, los Ultisoles presentan los problemas nutricionales más acentuados. Sin embargo, los Alfisoles presentan sub horizontes más básicos y particularmente en Costa Rica, se presentan en ambientes más secos (EIA, 2011).

La presencia de agregados estables en estructuras granulares confiere a estos suelos una condición física excelente, particularmente en lo que se refiere a sus drenajes naturales. El encalado de estos suelos, si bien favorece las condiciones de fertilidad en exceso puede incrementar la erosión al favorecer la desintegración de las arcillas. Desde el punto de vista de productividad, estos efectos son mucho más acentuados en ultisoles que en alfisoles ya que se une a su pobreza nutricional creando un ambiente poco amistoso para las raíces de las plantas (EIA, 2011).

En conclusión, los suelos en el terreno son limo arcillosos, con alta plasticidad, alto contenido de humedad en todos sus niveles y su consistencia aumenta con la profundidad. Según las pruebas de infiltración realizadas a los suelos, se obtuvo una velocidad de infiltración de  $5,02 \times 10^{-7}$  cm/sy una tasa de infiltración de 7,5 min/cm (EIA, 2011).

### **7.7 Clima**

La velocidad del viento, en el caso de Golfito, corresponde a 5,7 km/hy la humedad relativa de zona es de 89% (IMN, 2009).

A continuación se muestran los datos climatológicos para el cantón de Golfito, en el periodo comprendido entre 1985-2009, según la estación del Instituto Meteorológico Nacional ubicada en Río Claro.

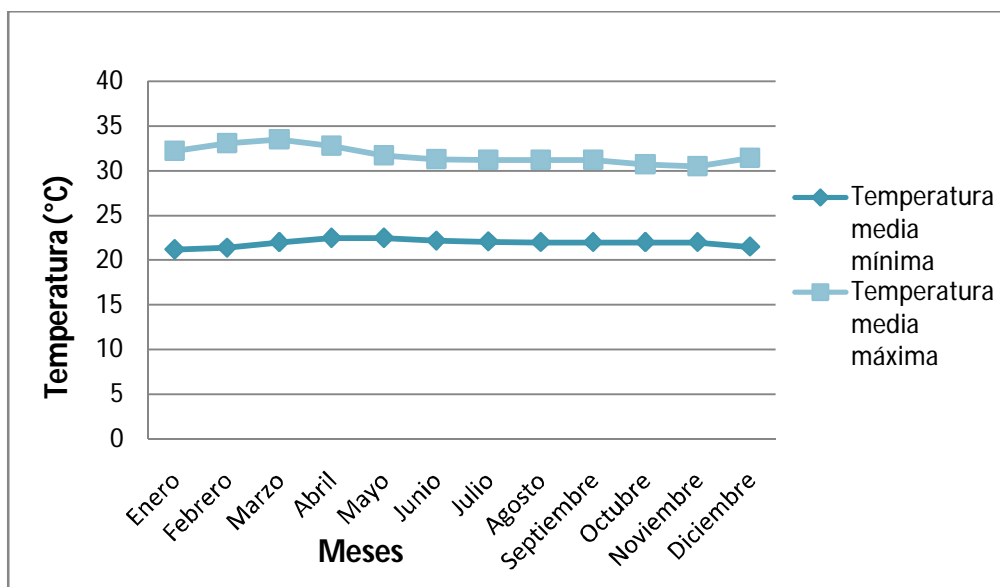
**Cuadro 2.** Datos climatológicos del cantón de Goltito.

Mes	Temperatura media °C		Precipitación total media (mm)	Promedio de días con lluvia
Enero	21,2	32,2	137,4	11
Febrero	21,4	33,1	104,2	8
Marzo	22,0	33,5	172,4	11
Abril	22,5	32,8	279,7	17
Mayo	22,5	31,7	512,4	24
Junio	22,2	31,3	470,5	24
Julio	22,1	31,2	527,5	23
Agosto	22,0	31,2	595,1	25
Setiembre	22,0	31,2	621,9	26
Octubre	22,0	30,7	693,7	26
Noviembre	22,0	30,5	536,0	26
Diciembre	21,5	31,4	259,6	17
Anual	22,0	31,7	4910,4	238

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2009.

Enero es el mes que presenta mayor cantidad de brillo solar, con un promedio regional de 6 horas de brillo solar (EIA, 2011). Esto debido a la baja nubosidad en época seca, mientras que octubre, presenta los valores mínimos, debido a que es el mes con más lluvias y se registra la más alta nubosidad de la zona. Además, la lluvia mantuvo una intensidad promedio anual de 4910,4mm.

En los siguientes gráficos, se muestran los principales comportamientos climáticos en la zona.

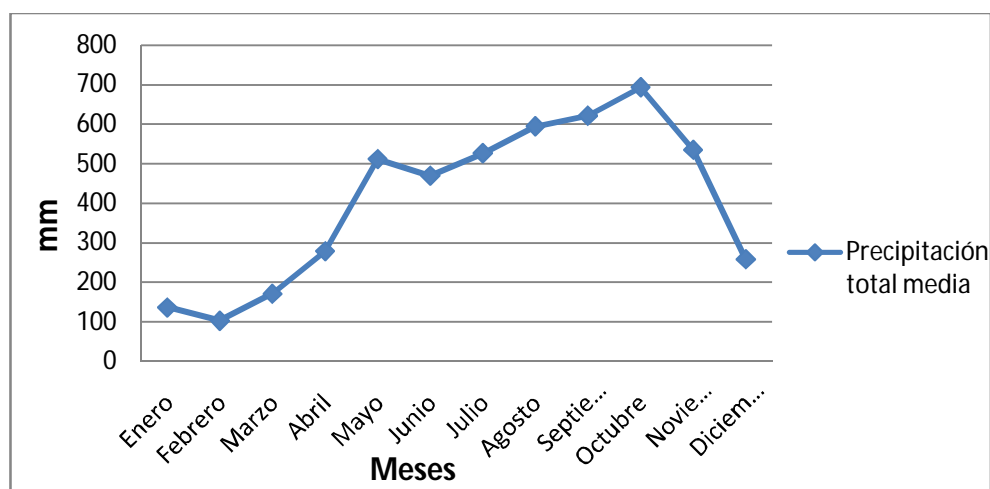


Microsoft Excel, 2010.

**Figura 9.** Comportamiento mensual de la temperatura en Golfito.

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2009.

Del gráfico anterior, se puede observar que la menor temperatura fue de 21,2°C y se dio durante el mes de enero. Por el contrario, el mes de marzo obtuvo la mayor temperatura que corresponde a 33,5 °C, por lo cual la temperatura media anual obtenida es de 26,8°C.



Microsoft Excel, 2010.

**Figura 10.** Comportamiento mensual de las lluvias en Golfito.

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2009.



El mes que presenta mayor intensidad de lluvias es octubre, con 693,7mm. Por otro lado, el mes de febrero presenta una intensidad de lluvias de 104,2 mm que corresponde a la menor cifra del año.

### **7.8 Hidrología**

Específicamente en el área de estudio no hay presencia de cuerpos de agua como manantiales, ríos o quebradas, que se pudieran contaminar directamente y afectar el río Claro que es el más próximo, ubicado a 2 km en dirección oeste de la propiedad. Sin embargo, en época de lluvias el lugar sería drenado sólo por un curso de agua intermitente, con orientación norte-sur. Las aguas superficiales debido a la baja permeabilidad en época lluviosa, drenan y escurren hacia el río Claro a través de una depresión en el terreno (EIA, 2011).

## **8. Proyección de la población y estimación de desechos**

### **8.1 Proyección de la población**

Para conocer la población de los Cantones de Corredores y Golfito durante la vida útil del relleno sanitario se utilizó el modelo de interés compuesto, que se muestra en la memoria de diseño en el apartado 15.1.1 del anexo 15.1. Dicha ecuación, relaciona la población actual con la tasa de crecimiento de los Cantones, de manera que permite conocer la población esperada año a año durante la vida útil del relleno sanitario.

El porcentaje de cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos es de 77,5% para Corredores y 60,1% para Golfito.

**Cuadro 3.** Proyección de la población de Corredores y Golfito.

Año	Población de Golfito	Población de Corredores	Población Total	Población con Servicio de Recolección
2013	40175	42671	82846	57215
2014	40697	43098	83795	57860
2015	41226	43529	84755	58512
2016	41762	43964	85726	59171
2017	42305	44404	86709	59838
2018	42855	44848	87703	60513
2019	43412	45296	88708	61195
2020	43976	45749	89725	61885
2021	44548	46206	90754	62583
2022	45127	46668	91795	63289
2023	45714	47135	92849	64004
2024	46308	47606	93914	64726
2025	46910	48082	94992	65456
2026	47520	48563	96083	66196
2027	48138	49049	97187	66944
2028	48764	49539	98303	67700
2029	49398	50034	99432	68464
2030	50040	50534	100574	69238
2031	50690	51039	101729	70020
2032	51349	51549	102898	70811
2033	52016	52064	104080	71611
2034	52692	52585	105277	72421
2035	53377	53111	106488	73241
2036	54071	53642	107713	74069
2037	54774	54178	108952	74907
2038	55486	54720	110206	75755
2039	56207	55267	111474	76612

**Fuente:** Elaboración propia.

## 8.2 Proyección de desechos

Para conocer la cantidad de desechos que se espera disponer en el relleno sanitario durante su vida útil, se toma en cuenta una llegada diaria actual de 48ton/día. Esta generación de residuos corresponde a una producción per cápita en la zona de 0,85 kg/hab/día, reportada por la Municipalidad y obtenida a partir de estimaciones realizadas de acuerdo con la situación socioeconómica y estilo de vida de la población.

Cabe mencionar que mediante campañas de educación ambiental en la zona, se espera una reducción en los próximos años de dicha producción per cápita, por lo cual, se realizaron los cálculos con este dato constante pues representaría la producción per cápita máxima de residuos en la zona.

Al tratarse de una zona rural, el servicio de recolección municipal de desechos no es brindado a la población total de la zona. Ambos cantones son extensos, lo que ocasiona que se encuentren comunidades muy alejadas del vertedero municipal, esto dificulta el servicio de recolección e incrementa los costos económicos involucrados.

De acuerdo con la población proyectada y el porcentaje de cobertura del servicio de recolección municipal, se procede a calcular la cantidad de residuos que se van a disponer en el relleno sanitario durante su vida útil, tal como muestra el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Estimación de desechos a disponer durante la vida útil del relleno sanitario por la población actual que recibe el servicio de recolección.

Año	Población Total con Servicio de Recolección (hab)	Producción de desechos diarios (kg/día)	Producción de desechos anuales (ton/año)	Desechos acumulados (ton)
2013	57215	48632,75	17750,95	35304,27
2014	57860	49181,00	17951,06	53255,33
2015	58512	49735,20	18153,34	71408,67
2016	59171	50295,35	18357,80	89766,47
2017	59838	50862,30	18564,73	108331,20
2018	60513	51436,05	18774,15	127105,35
2019	61195	52015,75	18985,74	146091,09
2020	61885	52602,25	19199,82	165290,91

2021	62583	53195,55	19416,37	184707,28
2022	63289	53795,65	19635,17	204342,45
2023	64004	54403,40	19857,24	224199,69
2024	64726	55017,10	20081,20	244280,89
2025	65456	55637,60	20307,72	264588,61
2026	66196	56266,60	20537,30	285125,91
2027	66944	56902,40	20769,37	305895,28
2028	67700	57545,00	21003,92	326899,20
2029	68464	58194,40	21240,95	348140,15
2030	69238	58852,30	21481,08	369621,23
2031	70020	59517,00	21723,70	391344,93
2032	70811	60189,35	21969,11	413314,04
2033	71611	60869,35	22217,31	435531,35
2034	72421	61557,85	22468,61	457999,96
2035	73241	62254,85	22723,02	480722,98
2036	74069	62958,65	22979,90	503702,88
2037	74907	63670,95	23239,89	526942,77
2038	75755	64391,75	23502,98	550445,75
2039	76612	65120,20	23768,87	574214,62

**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, también se analizaron los datos tomando en cuenta la población total de la zona, es decir, considerando que ambas Municipalidades desean en el futuro, brindar el servicio de recolección de residuos a toda la población de cada distrito. El estudio de ambos escenarios, se realiza con el objetivo de analizar la vida útil del relleno sanitario de acuerdo con la situación actual de disposición y la situación a la que se desea llegar.

Por lo tanto, la llegada de residuos es de 70 ton/día si se considera la población total. El siguiente cuadro muestra la proyección de residuos durante la vida útil del relleno sanitario, considerando que la población total dispone sus residuos en el relleno sanitario.

**Cuadro 5.** Estimación de desechos a disponer durante la vida útil del relleno sanitario por la población total de la zona.

Año	Población Total (hab)	Producción de desechos diarios	Producción de desechos anuales	Desechos acumulados (ton)
-----	-----------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------

		(kg/día)	(ton/año)	
2013	82846	70419,10	25702,97	51114,92
2014	83795	71225,75	25997,39	77112,31
2015	84755	72041,75	26295,23	103407,54
2016	85726	72867,10	26596,49	130004,03
2017	86709	73702,65	26901,46	156905,49
2018	87703	74547,55	27209,85	184115,34
2019	88708	75401,80	27521,65	211636,99
2020	89725	76266,25	27837,18	239474,17
2021	90754	77140,90	28156,42	267630,59
2022	91795	78025,75	28479,39	296109,98
2023	92849	78921,65	28806,40	324916,38
2024	93914	79826,90	29136,81	354053,19
2025	94992	80743,20	29471,26	383524,45
2026	96083	81670,55	29809,75	413334,20
2027	97187	82608,95	30152,26	443486,46
2028	98303	83557,55	30498,50	473984,96
2029	99432	84517,20	30848,77	504833,73
2030	100574	85487,90	31203,08	536036,81
2031	101729	86469,65	31561,42	567598,23

**Fuente:** Elaboración propia.

## 9. Diseño del relleno sanitario

El diseño del relleno sanitario surge a partir de los datos obtenidos en el apartado anterior, de manera que se diseña en función de la población de la zona y por ende, de la cantidad de desechos que se van a disponer en dicho relleno sanitario. Además, se consideran de suma importancia las características de la zona y la disponibilidad financiera del ente desarrollador del proyecto.

Las características de diseño propuestas en este proyecto, están basadas en parámetros comúnmente utilizados para este método de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales, así como también del criterio de expertos en materia de diseño, operación y mantenimiento de rellenos sanitarios.

### **9.1 Tipo de relleno sanitario**

El tipo de relleno sanitario a implementar se define a partir de la cantidad de residuos que se espera disponer. Por lo tanto, para poblaciones que producen más de 40 toneladas diarias se debe implementar un relleno sanitario mecanizado (Jaramillo, 2002). Tal es el caso de la unión de los Cantones de Corredores y Golfito. Cabe mencionar que un relleno sanitario mecanizado maximiza la vida útil del mismo, ya que permite dar una mayor compactación a los desechos mediante el uso de equipos mecánicos.

### **9.2 Volumen de desechos y área requerida para su disposición**

De acuerdo con el volumen diario de desechos esperados en el relleno sanitario, se determina el área requerida para la adecuada disposición de éstos, incluyendo el volumen requerido de material para cubrir diariamente los desechos. Sin embargo, para el proyecto en estudio, el diseño surge a partir del área disponible en el terreno para la disposición de los residuos y por ende la vida útil de cada celda.

Por lo tanto, los cálculos que se muestran en el cuadro 6 permiten visualizar el proyecto desde el punto de vista de cantidad de residuos que se van a disponer y además, de las dimensiones que debe tener el relleno sanitario para cumplir con la disposición adecuada de los desechos. Las fórmulas utilizadas para obtener estos datos se pueden analizar con detenimiento en la memoria de diseño en el apartado 15.1.2 del anexo 15.1.

**Cuadro 6.** Proyección de desechos, volumen y área requerida del relleno sanitario.

Año	Población (hab)	Cantidad desechos sólidos			Volumen desechos sólidos						Área requerida	
		Diaria (kg)	Anual (ton)	Acumulada (ton)	Compactados		Estabilizados		Relleno Sanitario		Relleno (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )
					Diario (m <sup>3</sup> )	Anual (m <sup>3</sup> )	Diario (m <sup>3</sup> )	Anual (m <sup>3</sup> )	Anual (DSE+MC) (m <sup>3</sup> )	Acumulados (m <sup>3</sup> )		
2013	57215	48632,75	17750,95	35304,27	97,26	35499,90	69,47	25356,55	32456,53	64553,17	5409,42	7032,24
2014	57860	49181,00	17951,06	53255,33	98,36	35901,40	70,25	25641,25	32821,53	97374,70	5470,25	7111,32
2015	58512	49735,20	18153,34	71408,67	99,47	36306,55	71,05	25933,25	33194,56	130569,26	5532,42	7192,14
2016	59171	50295,35	18357,80	89766,47	100,59	36715,35	71,85	26225,25	33568,32	164137,58	5594,72	7273,13
2017	59838	50862,30	18564,73	108331,20	101,72	37127,80	72,66	26520,90	33946,46	198084,04	5657,74	7355,06
2018	60513	51436,05	18774,15	127105,35	102,87	37547,55	73,48	26820,20	34329,71	232413,75	5721,61	7438,09
2019	61195	52015,75	18985,74	146091,09	104,03	37970,95	74,30	27119,50	34713,69	267127,44	5785,61	7521,29
2020	61885	52602,25	19199,82	165290,91	105,20	38398,00	75,14	27426,10	35105,7	302233,14	5850,95	7606,23
2021	62583	53195,55	19416,37	184707,28	106,39	38832,35	75,99	27736,35	35502,82	337735,96	5917,14	7693,28
2022	63289	53795,65	19635,17	204342,45	107,59	39270,35	76,85	28050,25	35904,32	373640,28	5984,05	7779,26
2023	64004	54403,40	19857,24	224199,69	108,80	39712,00	77,71	28364,15	36306,55	409946,83	6051,09	7866,411
2024	64726	55017,10	20081,20	244280,89	110,03	40160,95	78,59	28685,35	36717,54	446664,37	6119,59	7955,44
2025	65456	55637,60	20307,72	264588,61	111,27	40613,55	79,48	29010,20	37132,91	483797,28	6188,81	8045,45
2026	66196	56266,60	20537,30	285125,91	112,53	41073,45	80,38	29338,70	37553,39	521350,67	6258,89	8136,55
2027	66944	56902,40	20769,37	305895,28	113,80	41537,00	81,28	29667,20	37974,60	559325,27	6329,1	8227,83
2028	67700	57545,00	21003,92	326899,20	115,09	42007,85	82,20	30003,00	38404,57	597729,84	6400,76	8320,98
2029	68464	58194,40	21240,95	348140,15	116,38	42478,70	83,13	30342,45	38838,19	636568,03	6473,03	8414,93
2030	69238	58852,30	21481,08	369621,23	117,70	42960,50	84,07	30685,55	39277,65	675845,68	6546,27	8510,15

2031	70020	59517,00	21723,70	391344,93	119,03	43445,95	85,02	31032,30	39721,49	715567,17	6620,24	8606,31
2032	70811	60189,35	21969,11	413314,04	120,37	43935,05	85,98	31382,70	40169,71	755736,88	6694,95	8703,43
2033	71611	60869,35	22217,31	435531,35	121,73	44431,45	86,95	31736,75	40623,04	796359,92	6770,50	8801,65
2034	72421	61557,85	22468,61	457999,96	123,11	44935,15	87,93	32094,45	41081,48	837441,40	6846,91	8900,98
2035	73241	62254,85	22723,02	480722,98	124,50	45442,50	88,93	32459,45	41547,95	878989,35	6924,65	9002,04
2036	74069	62958,65	22979,90	503702,88	125,91	45957,15	89,94	32828,10	42019,53	921008,88	7003,25	9104,22
2037	74907	63670,95	23239,89	526942,77	127,34	46479,10	90,95	33196,75	42492,57	963501,45	7082,09	9206,71
2038	75755	64391,75	23502,98	550445,75	128,78	47004,70	91,98	33572,70	42973,64	1006475,09	7162,27	9310,95
2039	76612	65120,20	23768,87	574214,62	130,24	47537,60	93,02	33952,30	43459,82	1049934,91	7243,30	9416,29

**Fuente:** Elaboración propia.



### 9.3 Vida útil del relleno sanitario

Es importante mencionar que la vida útil del relleno sanitario está en función de la operación y mantenimiento del mismo, por lo tanto, es indispensable el cumplimiento de las recomendaciones y estatutos establecidos en el manual de operación y mantenimiento del relleno sanitario, que se encuentra en el anexo 15.2.

De acuerdo con los intereses de ambas Municipalidades, en el futuro se desea brindar el servicio de recolección de desechos a toda la región, situación que no se lleva a cabo actualmente. Por lo tanto, se muestran los resultados de calcular la vida útil del relleno sanitario considerando la situación actual y considerando la situación que se desea alcanzar, esto sería considerar que toda la población de la zona va disponer sus residuos en el relleno sanitario.

Las fórmulas utilizadas para los cálculos de la vida útil se encuentran en la memoria de diseño, apartado 15.1.2 adjunto en el anexo 15.1.

**Cuadro 7.** Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando la población actual que recibe el servicio de recolección.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Vida útil (años)	Vida útil acumulada (años)
1	974,14	50,00	48707,00	48707,00	2,50	2,50
2	848,74	50,00	42437,00	91144,00	2,18	4,68
3	1413,66	55,00	77751,30	168895,30	3,99	8,67
4	2201,53	55,00	121084,15	289979,45	6,22	14,89
5	456,47	66,00	30127,02	320106,47	1,54	16,43
6	2537,71	66,00	167488,86	487595,33	8,60	25,03
7-8	676,88	70,00	47381,60	534976,93	2,43	27,46

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 8.** Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando toda la población de la zona.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Vida útil (años)	Vida útil acumulada (años)
1	974,14	50,00	48707,00	48707,00	1,71	1,71
2	848,74	50,00	42437,00	91144,00	1,49	3,20
3	1413,66	55,00	77751,30	168895,30	2,74	5,94
4	2201,53	55,00	121084,15	289979,45	4,26	10,20
5	456,47	66,00	30127,02	320106,47	1,06	11,26
6	2537,71	66,00	167488,86	487595,33	5,90	17,16
7-8	676,88	70,00	47381,60	534976,93	1,67	18,83

**Fuente:** Elaboración propia.

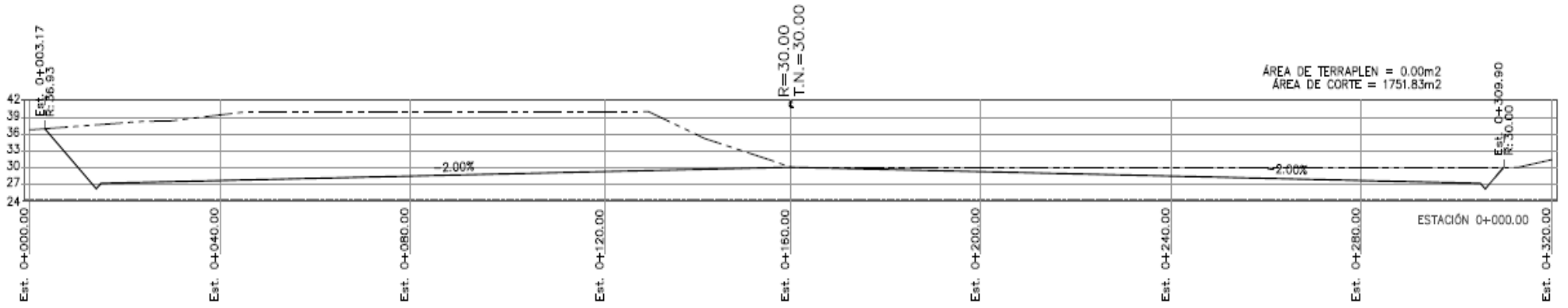
De los resultados obtenidos, se puede observar que la vida útil del relleno sanitario disminuye cuando se considera que toda la población de la zona va a disponer sus residuos sólidos en él. Por lo tanto, la vida útil será de 27,4 años considerando los porcentajes de cobertura del servicio de recolección actuales, y de 18,8 años tomando en cuenta que ambas Municipalidades hayan mejorado su servicio y se recolecten los desechos de toda la población de la zona.

#### **9.4 Perfiles del terreno**

Los perfiles y cortes del terreno permiten observar la conformación final del sitio luego de que se realicen los rellenos y movimientos de tierra respectivos.

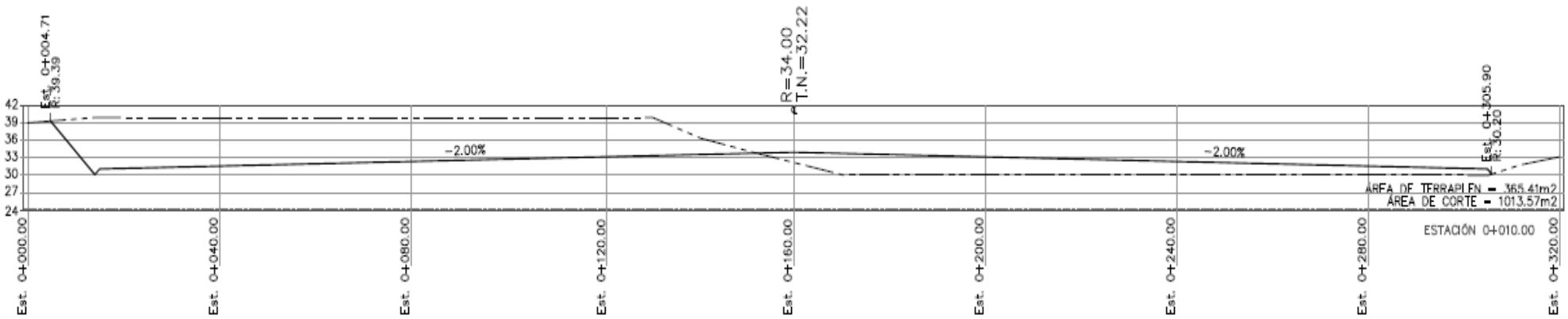
Para calcular el volumen de las celdas, se dividió el terreno disponible para cada celda en secciones transversales, es decir, se realizaron cortes transversales cada 10 m. Luego, se determinó el área de cada sección transversal, se sumaron todas las áreas para obtener un área total de celda que se multiplicó por el ancho de la misma, el ancho de cada celda se encuentra entre 50-70 m.

Para la celda 1 se realizaron cinco cortes cada 10 m, ya que esta posee un ancho de 50 m. A continuación se muestran los cortes transversales, para dicha celda.



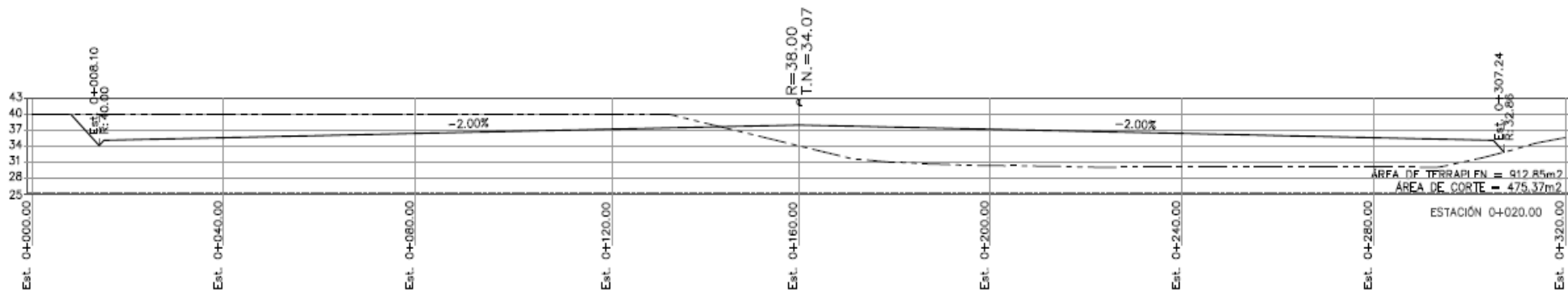
AutoCAD, 2012.

**Figura 11.** Corte transversal de la celda 1, Estación 0+000.



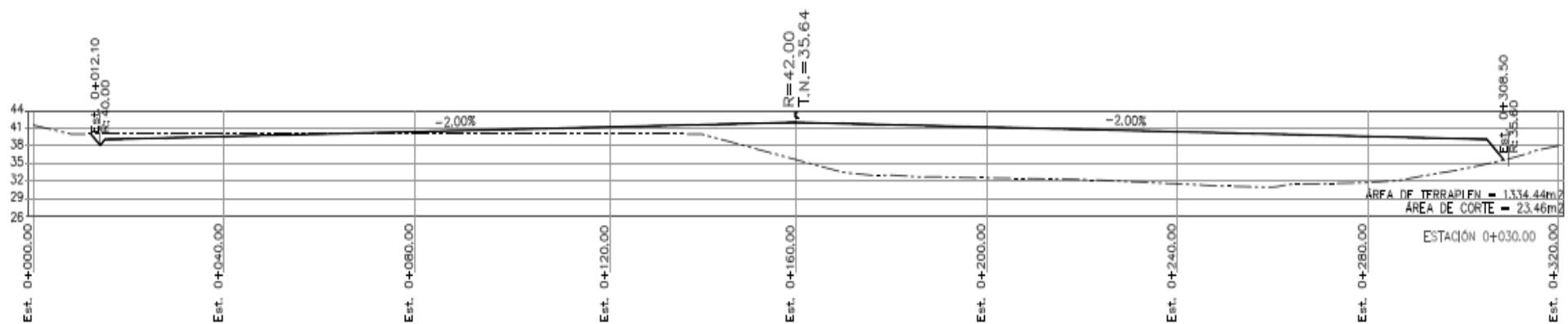
AutoCAD, 2012.

**Figura 12.** Corte transversal de la celda 1, Estación 0+010.



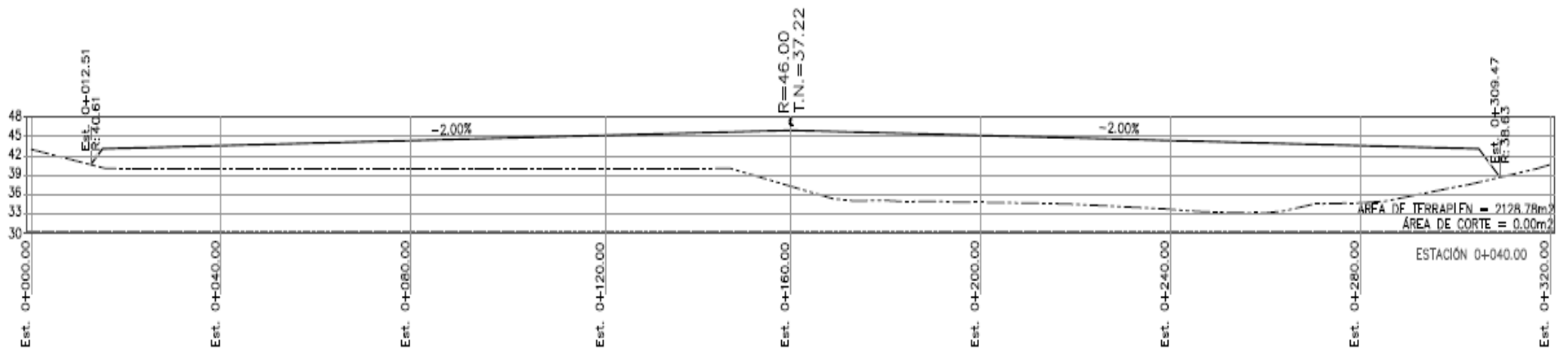
AutoCAD, 2012.

**Figura 13.** Corte transversal de la celda 1, Estación 0+020.



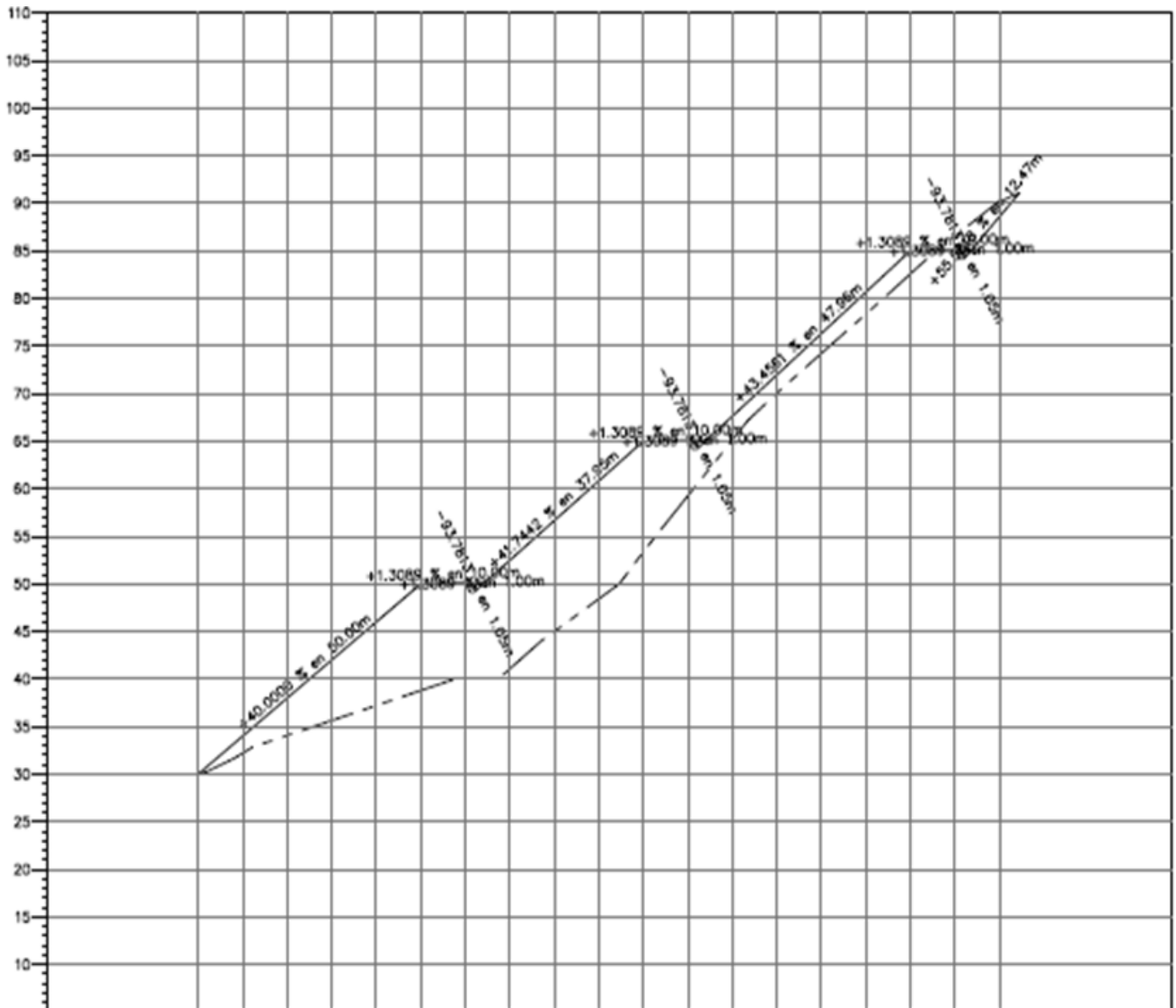
AutoCAD, 2012.

**Figura 14.** Corte transversal de la celda 1, Estación 0+030.



AutoCAD, 2012.

**Figura 15.** Corte transversal de la celda 1, Estación 0+040.

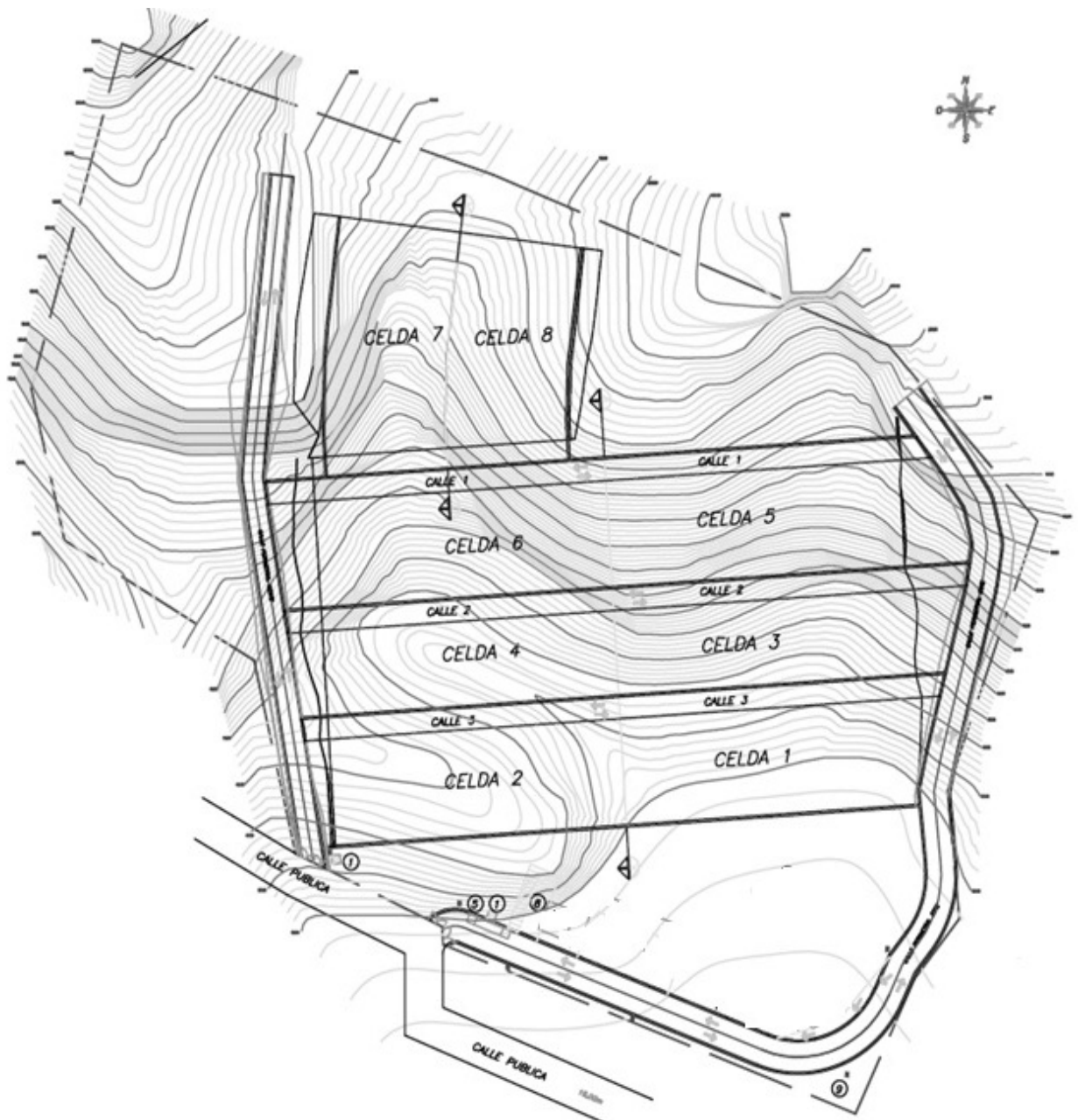


AutoCAD, 2012.

**Figura 16.** Perfil de la celda 1.

### 9.5 Diseño de celdas

El relleno sanitario contará con 8 celdas, tal como se muestra en el plano. Dichas celdas están distribuidas de acuerdo con la topografía del terreno, razón por la cual poseen áreas distintas. El diseño y distribución de las celdas en el terreno se muestran en la figura 17.



AutoCAD, 2012.

**Figura 17.** Distribución de celdas en el relleno sanitario.

El proceso de construcción y llenado iniciará con la celda 1 respectivamente, una vez que haya concluido la vida útil de esta celda, se construirá la celda 2 para el llenado de la misma y así sucesivamente, hasta acabar con el llenado de la celda 8. Cabe aclarar que la construcción sucesiva de cada celda incluye la instalación también de los drenajes, la impermeabilización y todos los detalles respectivos. Este procedimiento es el más adecuado, según el criterio de profesionales, pues permite el pronto aprovechamiento del material de cobertura extraído durante los movimientos de tierra y facilita la operación del relleno sanitario.

Para conocer información acerca del proceso de llenado y operación en cada celda, ver el punto del apartado 15.2.6 del manual de operación y mantenimiento en el anexo 15.2.

El siguiente cuadro muestra las dimensiones de las celdas.

**Cuadro 9.** Área y volumen propuestos para cada celda.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )
1	974,14	50,00	48707,00	48707,00
2	848,74	50,00	42437,00	91144,00
3	1413,66	55,00	77751,30	168895,30
4	2201,53	55,00	121084,15	289979,45
5	456,47	66,00	30127,02	320106,47
6	2537,71	66,00	167488,86	487595,33
7-8	676,88	70,00	47381,60	534976,93

**Fuente:** Elaboración propia.

### 9.6 Material de cobertura

El material de cobertura representa el 20% del volumen total compactado y se utiliza para cubrir diariamente los residuos en el relleno sanitario. La finalidad de este es aislar los residuos de su entorno, ya sea impidiendo la salida de gases hacia el exterior, cortando la infiltración de aguas de escorrentía hacia el interior de las celdas o actuando como barrera ante la posible acción de animales como insectos, roedores y aves (Collazos, 2008).

Es de suma importancia tomar en cuenta la disponibilidad de material de cobertura a la hora de construir un relleno sanitario. Es preferible que dicho material de recubrimiento se



aproveche del terreno destinado para el proyecto y de los movimientos de tierra que se deben realizar. Sin embargo, para este proyecto los movimientos de tierra son pocos, razón por la cual el material de cobertura se tomará de un terreno vecino que pertenece a la Municipalidad de Golfito, es accesible y los costos de transporte son mínimos por la cercanía al relleno sanitario.

Cabe mencionar que el material de cobertura cumple funciones de suma importancia para la operación adecuada de un relleno sanitario. Tales funciones se mencionan a continuación:

- Impedir o minimizar la entrada y proliferación de roedores, moscas y aves.
- Disminuir los malos olores.
- Minimizar la entrada de la lluvia a las celdas con residuos.
- Evitar incendios y presencia de humos.
- Conducir los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- Servir como base para la construcción futura de vías de acceso internas.
- Brindarle al relleno sanitario una apariencia estética aceptable.
- Permitir el crecimiento de vegetación luego del cierre técnico de las celdas (Jaramillo, 1991).

Para la construcción del relleno sanitario se utilizará material de cobertura proveniente del sitio y de un terreno cercano, ya que cuentan con el volumen suficiente y las características adecuadas para tal fin. Dicho material de cobertura se clasifica como Ultisoles, que es el tipo de suelo predominante en la zona (EIA, 2011).

Además, el suelo cuenta con baja permeabilidad debido a la clasificación mencionada anteriormente. Pruebas realizadas durante el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) demuestran que no hubo un descenso importante en el tiempo estimado para la prueba, por lo que la velocidad de infiltración se encuentra en  $5,02 \times 10^{-7}$  cm/s (EIA, 2011).

Diariamente, se cubrirán los residuos con una capa de material de cobertura de 0,15 m de espesor. Una vez que se alcance la altura máxima de cada celda y concluya su vida útil, se debe colocar una capa de material de cobertura de 0,60 m de espesor y al menos 0,20 m de

material que permita el crecimiento de vegetación para lograr una mejor integración con el paisaje natural (Jaramillo, 2002).

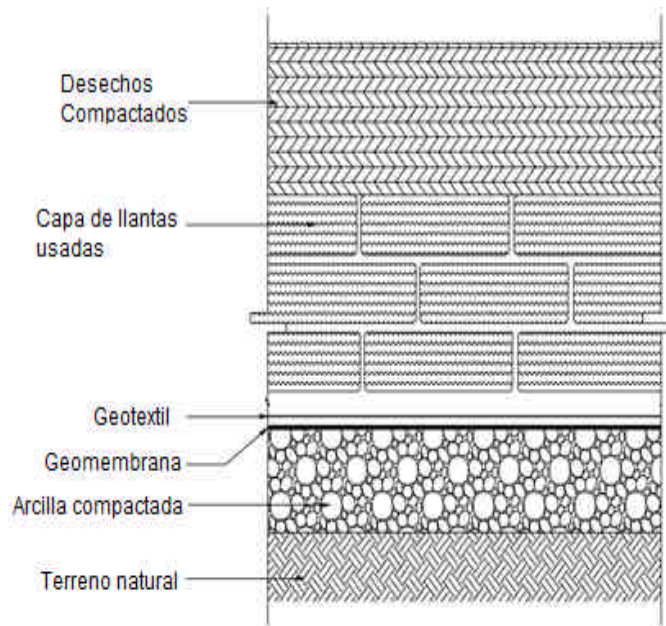
Es indispensable que este material de cobertura final presente una permeabilidad muy baja, por lo que se recomienda arcilla debidamente compactada. Las especificaciones de la cantidad del material necesario se puede observar en el apartado 15.1.4 de la memoria de diseño en el anexo 15.1

### **9.7 Impermeabilización**

La impermeabilización previa de cada celda es indispensable ya que evita la infiltración de los lixiviados al subsuelo, que posteriormente puede ocasionar la contaminación de mantos acuíferos, ríos y nacientes de agua, exponiendo la salud pública y la calidad del recurso en la zona.

Inicialmente, se impermeabilizará el terreno con una base natural compuesta por dos capas de arcilla de 25 cm cada una, con un coeficiente de penetración no superior a los  $10^8$  m/s y una compactación al 95% del próctor estándar. Luego, se colocará una geomembrana con un espesor de 1,5 mm, cuyo material corresponde a Polietileno de Alta Densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) y un geotextil que proteja de obstrucciones a la tubería que conduce los lixiviados. Posteriormente, se complementará la impermeabilización del terreno con una capa de llantas desechadas de 60 cm por donde pasan las tuberías del sistema de evacuación de lixiviados y además, tienen la función de proteger la geomembrana durante la operación de la maquinaria.

La siguiente figura, muestra la composición de la impermeabilización previa que se le debe dar al terreno.



AutoCAD, 2012.

**Figura 18.** Capas que conforman la impermeabilización del terreno.

### 9.8 Producción de lixiviados

Los lixiviados son líquidos que se producen dentro del relleno sanitario como consecuencia de la filtración del agua de lluvia, la descomposición de la materia orgánica y la humedad que contienen los desechos. Los lixiviados circulan dentro del relleno sanitario, esto ocasiona que arrastren materiales suspendidos y disueltos, razón por la cual dichos lixiviados son aguas residuales muy contaminadas que deben ser drenadas y tratadas adecuadamente (Campos, 2003).

El volumen de lixiviados que se van a producir en el relleno sanitario, depende de una serie de factores que se mencionan a continuación.

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los residuos sólidos.
- Grado de compactación.

- Capacidad del suelo y de los residuos para retener humedad (Jaramillo, 2002).

Para conocer la cantidad de lixiviados que se van a producir en el relleno sanitario se realizó un balance hídrico, este método considera que el efecto de las precipitaciones y la descomposición de los residuos, son los factores de mayor influencia en la producción de lixiviados. Sin embargo, se debe considerar también el efecto de la evapotranspiración y la escorrentía superficial.

Para realizar el balance hídrico se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{Total}} = Q_R + Q_P - Q_{\text{ES}} - Q_E$$

Donde:

$Q_R$  = Caudal generado por la descomposición de los residuos sólidos.

$Q_P$  = Caudal generado por el efecto de las precipitaciones

$Q_{\text{ES}}$  = Caudal de escorrentía superficial.

$Q_E$  = Caudal de evapotranspiración.

Por medio de esta ecuación se obtuvo un volumen de lixiviados mensual de 538,04m<sup>3</sup>. A partir de este dato, se determinó el diámetro de la tubería que va a evacuar los lixiviados de las celdas y dirigirlos al sistema de tratamiento respectivo.

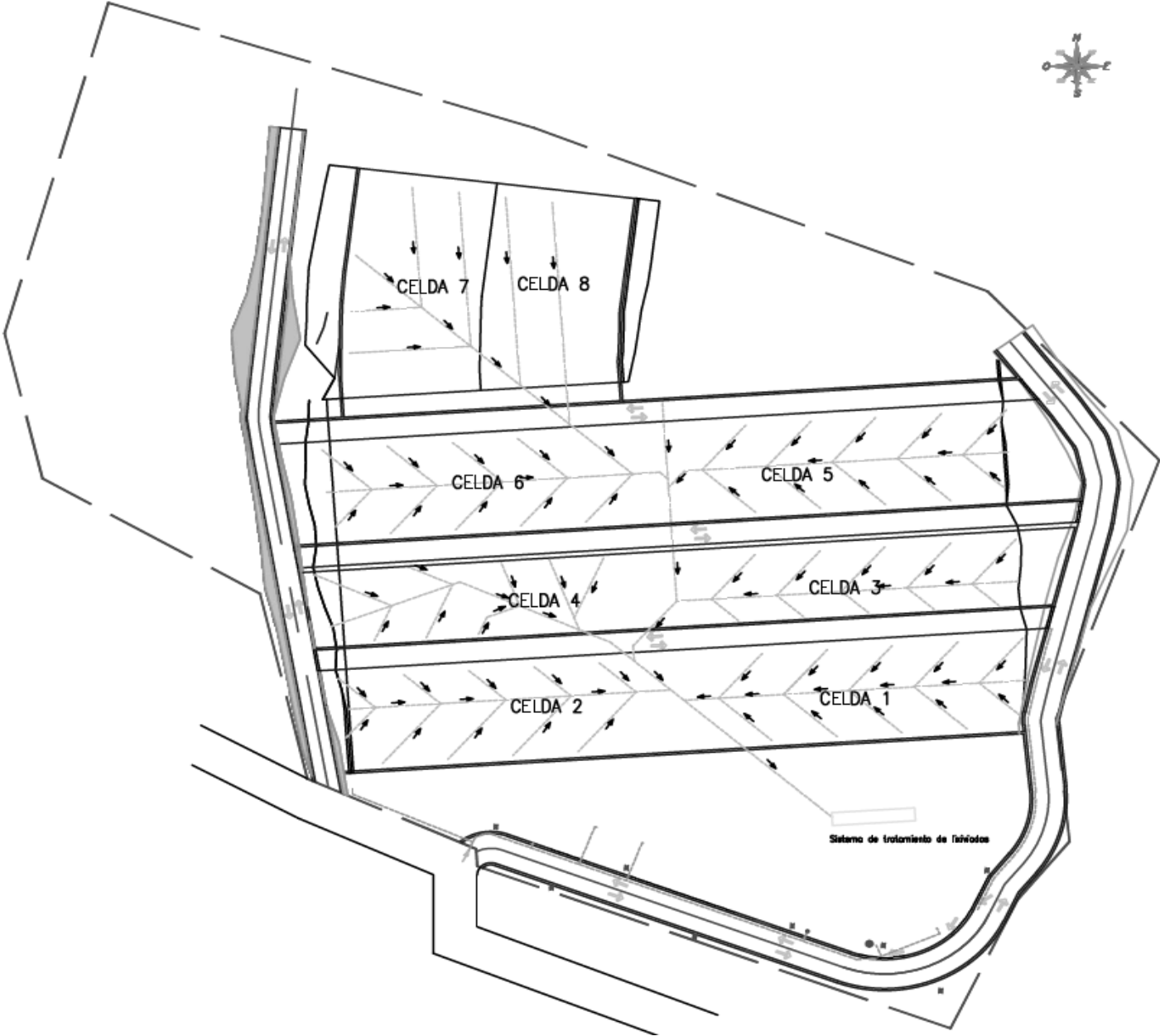
Las especificaciones de la determinación del volumen de lixiviados y los cálculos para obtener los diámetros de las tuberías se encuentran en el apartado 15.1.5 de la memoria de diseño que se encuentra en el anexo 5.1.

### **9.9 Sistema de recolección de lixiviados**

Los lixiviados tienden a salir por gravedad, por la parte inferior del relleno sanitario, hasta que la capa impermeable lo impida. Por lo tanto, el drenaje para la evacuación de lixiviados, que se encuentra en la parte inferior, tiene la finalidad de evitar la estadia de estos dentro del relleno sanitario y así ser tratados y dispuestos adecuadamente.

La instalación del drenaje y tuberías se realizará conforme se vaya construyendo cada celda. Las tuberías se colocaran en el fondo de la capa de llantas de 60 cm de espesor, en

forma de espina de pescado, de manera que las tuberías secundarias se unen a la tubería principal que posteriormente será la receptora de los lixiviados de las demás celdas, hasta conducirlos al sistema de tratamiento. Tal como se muestra en la siguiente figura.

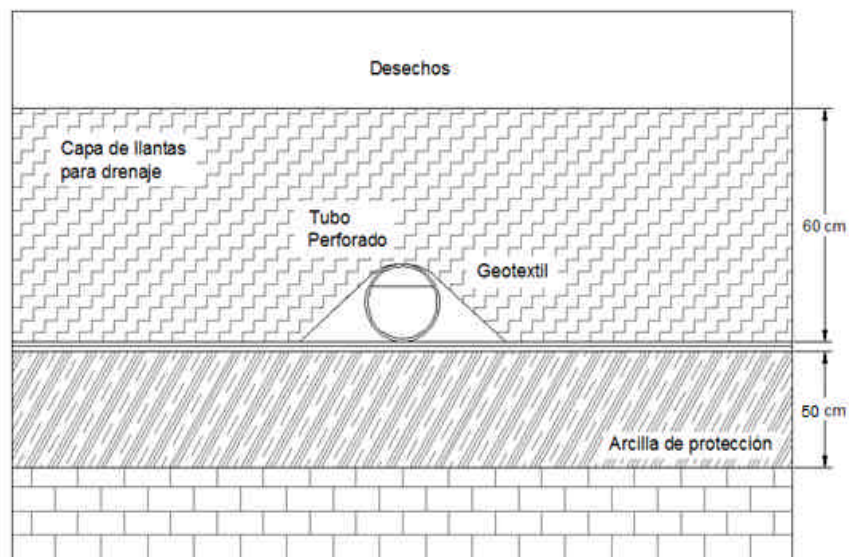


AutoCAD, 2012.

**Figura 19.** Distribución del drenaje de lixiviados en el relleno sanitario.

Las tuberías que se encuentran en la capa de llantas, deben estar perforadas para que facilite la captación y conducción de los lixiviados, dicha perforación debe ser por encima de la mitad de la circunferencia. Además, deben tener una pendiente de 3% para que facilite la evacuación de dichos lixiviados hacia la tubería principal ubicada en el centro del relleno sanitario en dirección Norte-Sur.

Las tuberías debentener un diámetro de 15 cm según los cálculos realizados, sin embargo se utilizará un diámetro de 20 cm como factor de seguridad. Sobre los tubos se debe colocar un geotextil cuya función es impedir la entrada de materiales que obstruyan el paso de los lixiviados hacia la tubería. Los cálculos relacionados con el diámetro de las tuberías se pueden revisar en el apartado 15.1.5 de la memoria de diseño en el anexo 15.1.



AutoCAD, 2012.

**Figura 20.** Composición del drenaje de evacuación de lixiviados.

### 9.10 Producción de biogás y sistema de recolección

Además de la producción de lixiviados como consecuencia de la degradación de la materia orgánica, se genera biogás. Este biogás está compuesto básicamente por dióxido de carbono y metano, este último es el principal contribuyente al efecto invernadero. Sin embargo,

también se liberan otros gases como amoníaco, hidrógeno, oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno (Campos, 2003).

Es de suma importancia diseñar un sistema adecuado que permita la evacuación de los gases del relleno sanitario, pues de lo contrario se puede generar una migración y dispersión incontrolada que puede ocasionar situaciones potencialmente peligrosas, tales como incendios o explosiones que atentan con la salud pública y generan gran impacto ambiental (MINAM, s.f.).

El biogás generado en rellenos sanitarios puede ser captado utilizando un sistema de recolección de biogás que normalmente quema el gas por medio de quemadores. Este gas, puede ser utilizado de diferentes maneras, tales como la producción de energía eléctrica a través del uso de generadores de combustión interna, turbinas o microturbinas y también puede utilizarse como combustible en calentadores de agua u otras instalaciones (Stege, 2007).

Además de los beneficios energéticos del aprovechamiento del biogás, la recolección y el control de dicho gas contribuye en gran manera a reducir las emisiones atmosféricas contaminantes. Por lo tanto, el beneficio ambiental es de mucha importancia ya que el metano es un gas de efecto invernadero que contribuye al problema de calentamiento global. Por otro lado, puede afectar la salud pública y presentar molestia a las poblaciones vecinas del relleno sanitario (Stege, 2007).

El volumen de biogás en el relleno sanitario se estimó mediante el Modelo de Biogás Centroamericano, que fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus cifras en inglés) de Estados Unidos.

El modelo utiliza una ecuación de degradación de primer orden que asume que la generación de biogás llega a su máximo después de un periodo de tiempo antes de la generación de metano. El modelo asume que el periodo es de seis meses desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás. Además, asume que por cada unidad de residuos, después de seis meses la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida (Stege, 2007).

El modelo en cuestión requiere datos específicos del relleno sanitario para producir las proyecciones de generación, excepto los valores de k (Índice de generación de metano) y  $L_0$  (Generación potencial de metano) que varían de acuerdo con el país, la composición de residuos y el clima. Además, considera que la composición del biogás es 50% metano y 50% de dióxido de carbono y trazos de otros componentes (Stege, 2007).

Los detalles acerca del uso del programa se encuentran en el apartado 15.1.6 de la memoria de diseño en el anexo 15.1. En el siguiente cuadro, se muestran los resultados obtenidos para la producción de biogás durante la vida útil del relleno sanitario.

**Cuadro10.** Estimación de la producción de biogás en el relleno sanitario.

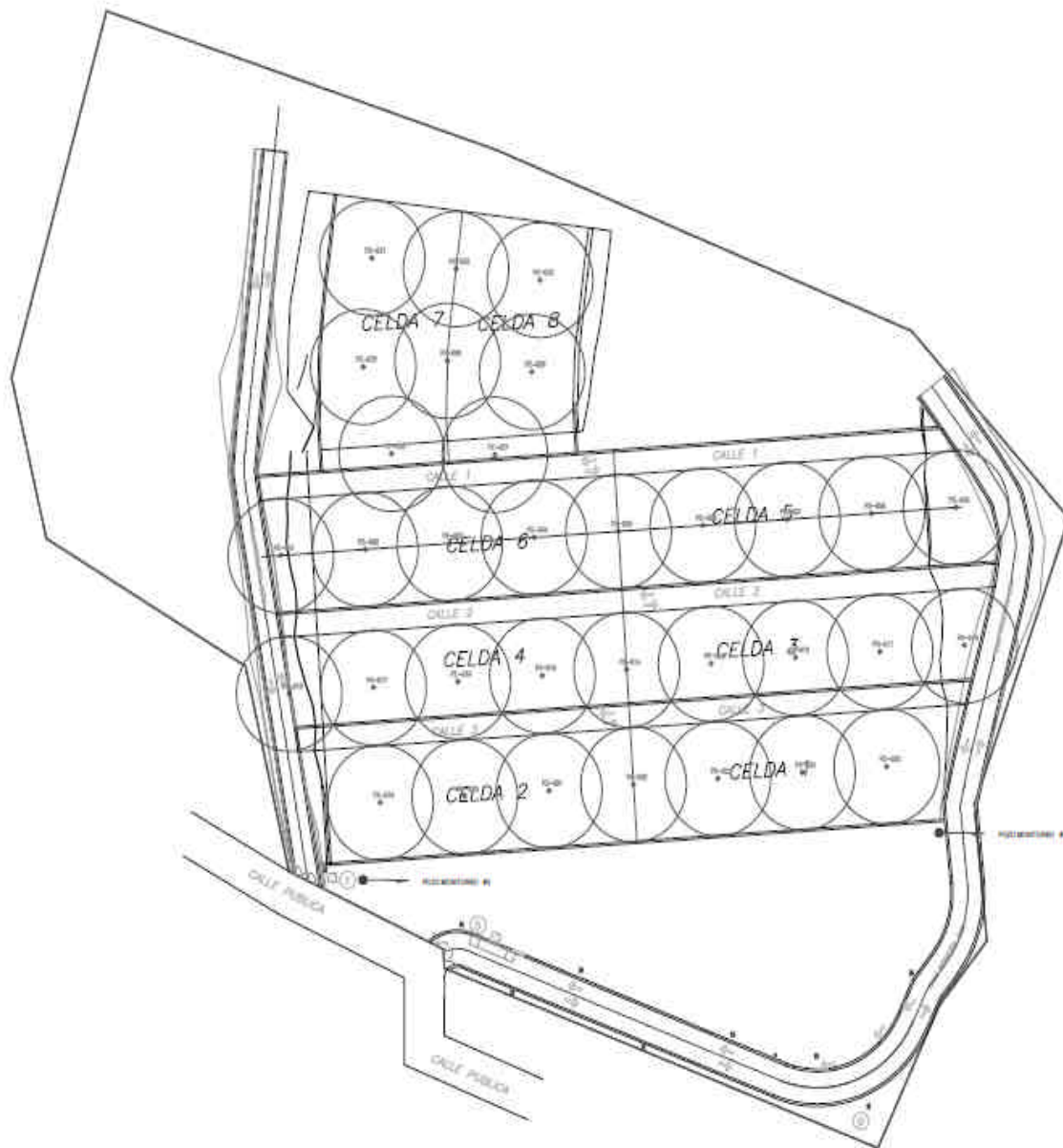
Año	Total de gases (m <sup>3</sup> /hora)	Total de gases (m <sup>3</sup> /año)	Metano (m <sup>3</sup> /año)	Dióxido de Carbono (m <sup>3</sup> /año)
2013	0	0	0	0
2014	34	297840	148920	148920
2015	63	551880	275940	275940
2016	87	762120	381060	381060
2017	108	946080	473040	473040
2018	125	1 095000	547500	547500
2019	140	1 226400	613200	613200
2020	153	1 340280	670140	670140
2021	164	1 436640	718320	718320
2022	175	1 533000	766500	766500
2023	184	1 611840	805920	805920
2024	192	1 681920	840960	840960
2025	199	1 743240	871620	871620
2026	206	1 804560	902280	902280
2027	213	1 865880	932940	932940
2028	219	1 918440	959220	959220
2029	225	1 971000	985500	985500
2030	230	2 014800	1 007400	1 007400
2031	235	2 058600	1 029300	1 029300
2032	240	2 102400	1 051200	1 051200
2033	244	2 137440	1 068720	1 068720



2034	249	2 181240	1 090620	1 090620
2035	253	2 216280	1 108140	1 108140
2036	257	2 251320	1 125660	1 125660
2037	261	2 286360	1 143180	1 143180
2038	265	2 321400	1 160700	1 160700
2039	269	2 356440	1 178220	1 178220

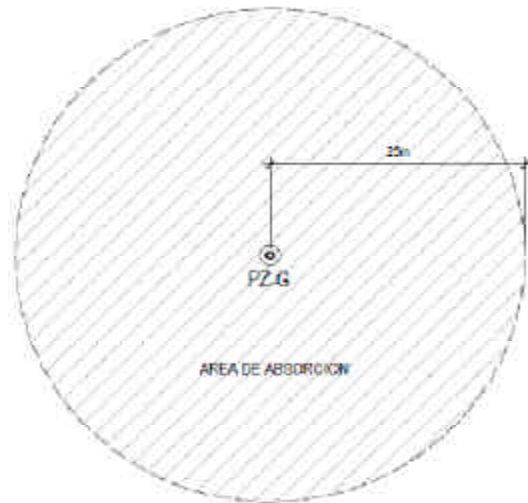
**Fuente:** Modelo Centroamericano de biogás v1.0

El sistema de evacuación de gases está constituido por 33 pozos de extracción distribuidos en la parte central de cada celda, ubicados cada 40 m, tal como se muestra en la siguiente figura.



AutoCAD, 2012.

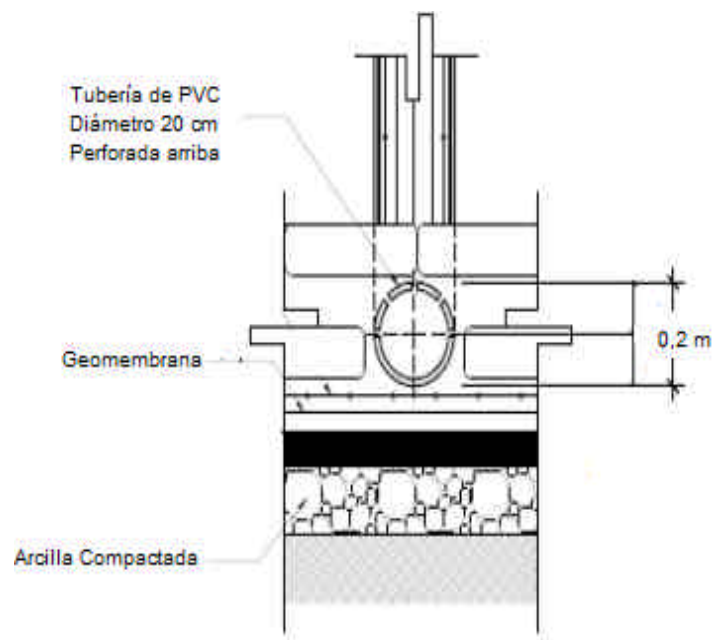
**Figura 21.** Ubicación y distribución de pozos de extracción de gas en el relleno sanitario.



AutoCAD, 2012.

**Figura 22.** Área de absorción del pozo de gas.

La construcción de los pozos de extracción de gases se realizará conforme se vayan llenando las celdas.

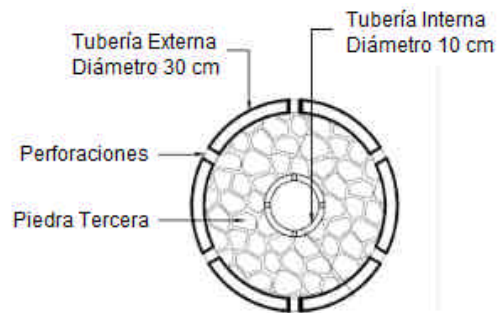


AutoCAD, 2012.

**Figura 23.** Detalles de perforación de tuberías de los pozos de extracción de gases.

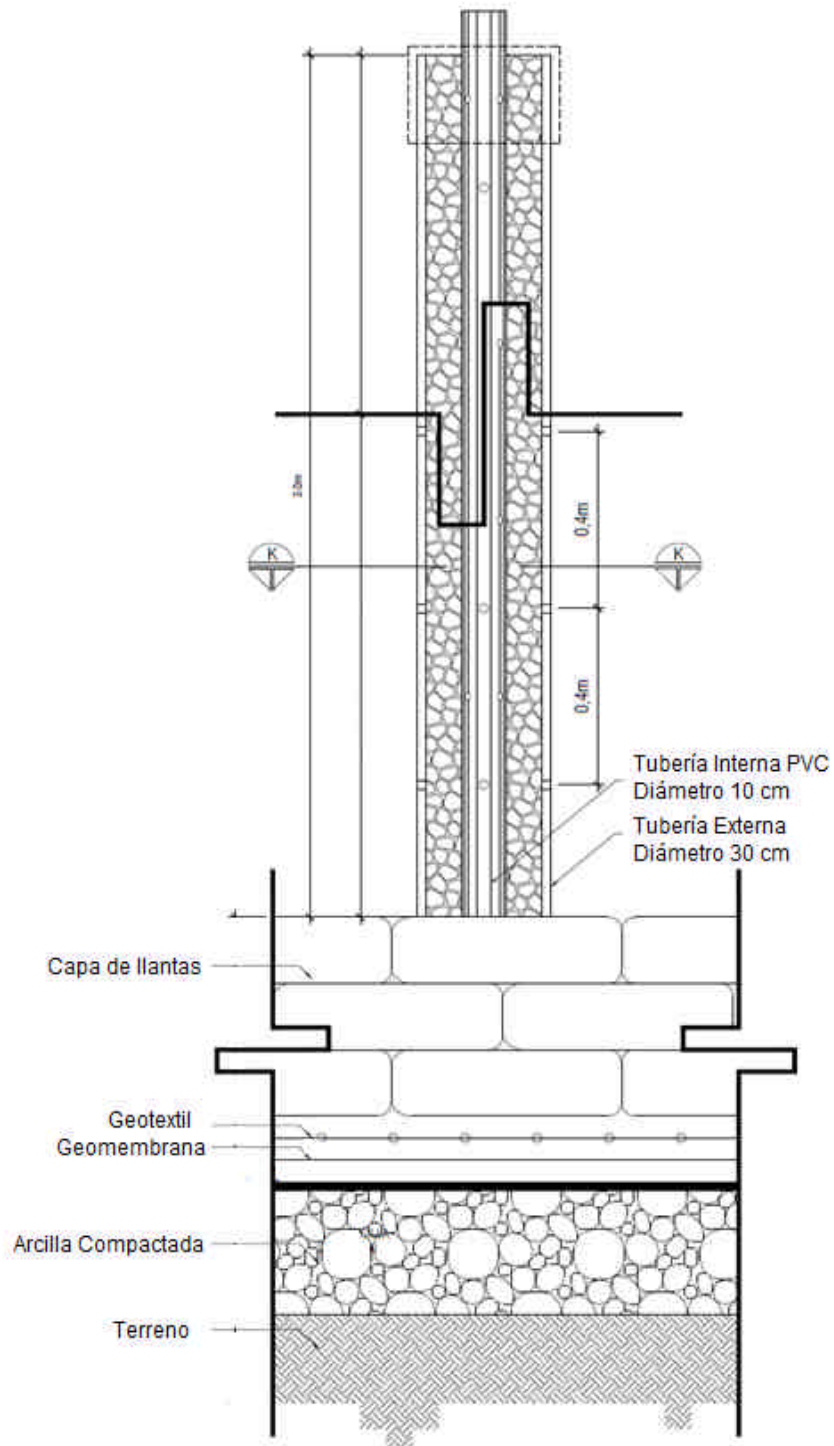
Estos pozos están compuestos primeramente, por una tubería metálica externa de 30 cm de diámetro, perforada cada 40 cm. Luego, cuentan con una tubería interna de PVC, con diámetro de 10 cm y perforada. Entre la tubería externa y la tubería interna las chimeneas están rellenas con piedra tercera limpia que actúa como material filtrante.

En la figura 24 se puede observar la conformación individual de las tuberías y los detalles de los pozos de extracción de gases se muestran en la figura 25.



AutoCAD, 2012.

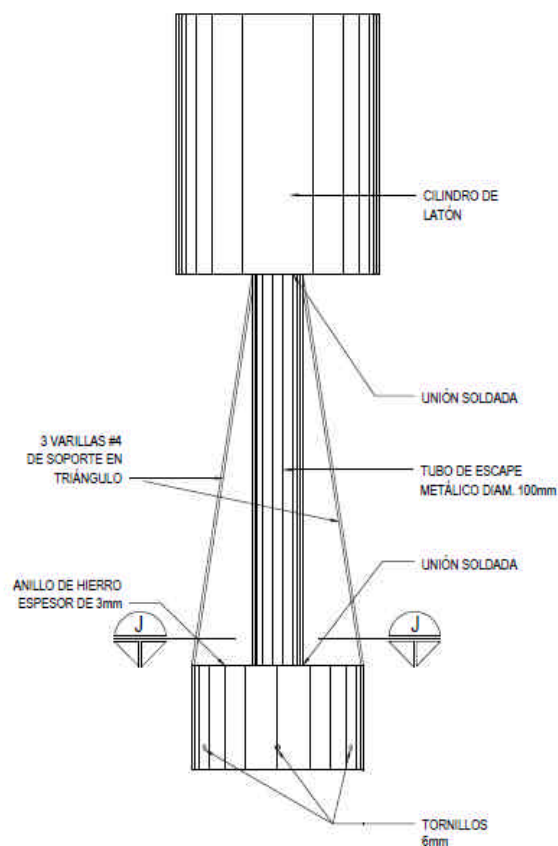
**Figura 24.** Sección transversal del cuerpo de la chimenea.



AutoCAD, 2012.

**Figura 25.** Detalles de los pozos de extracción de gases en el relleno sanitario.

En la parte superior de la chimenea, en el cuadro delimitado en la figura anterior, se coloca el quemador de los gases de salida.



AutoCAD, 2012.

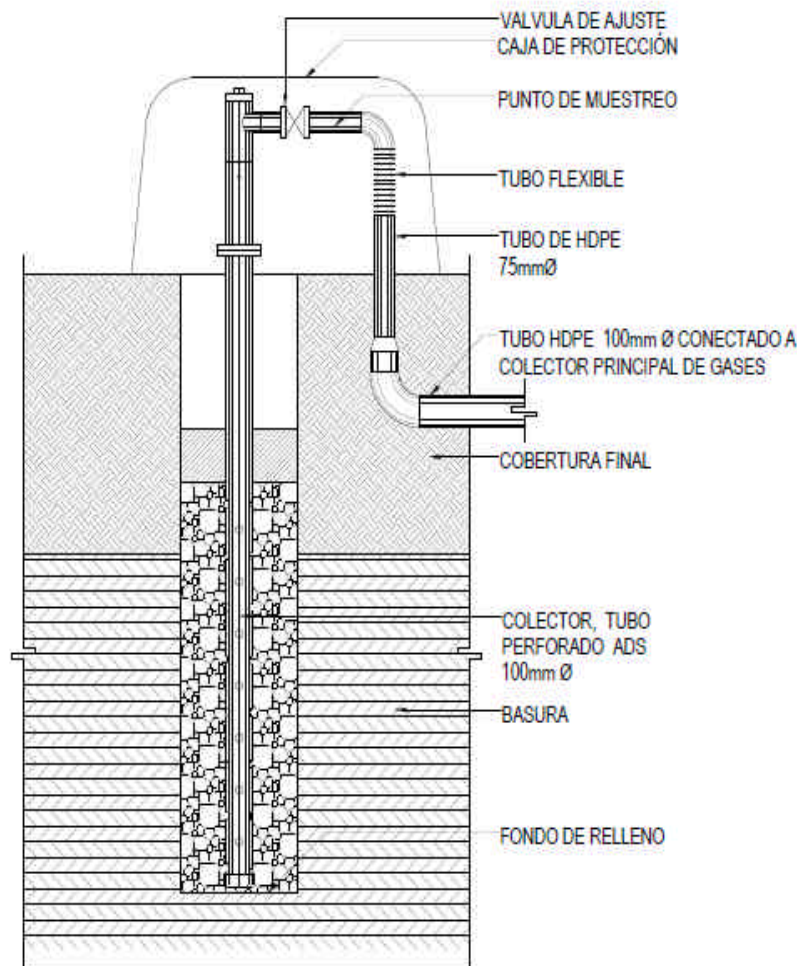
**Figura 26.** Detalles del quemador de gases en el relleno sanitario.

Según el criterio de expertos en el tema, un relleno sanitario con una llegada aproximada de 1200 ton/día puede llegar a alcanzar una producción de biogás de aproximadamente 75000 m<sup>3</sup>/día de biogás. Esta cantidad equivale aproximadamente a 20 000 litros diarios de bunker.

Para el relleno sanitario en estudio, se considera la máxima producción de biogás que corresponde al último año de vida útil (año 27), dicha producción es de 2 356 440 m<sup>3</sup>/año que equivale a 6 545,6 m<sup>3</sup>/día y a la vez, equivalen a 1745,5 litros de bunker diarios. Por lo tanto, de acuerdo con el valor reportado por RECOPE para el litro de búnker, que

corresponde a  $\phi$  384,75, este biogás no captado representa unas pérdidas diarias de  $\phi$  671581,1. Entonces, anualmente representa un valor de  $\phi$  245 127 110,6.

Considerando que a futuro se desea implementar un sistema de captación y aprovechamiento de biogás, se deben quitar los quemadores y colocar una tubería de conducción en la chimenea, que permita desviar el gas, tal como muestra la figura 27.



AutoCAD, 2012.

**Figura 27.** Sistema de tuberías para la captación y aprovechamiento del biogás.

Sin embargo, para implementar un sistema de aprovechamiento energético de biogás en el relleno sanitario, se debe realizar un estudio de viabilidad que demuestre que se generarán beneficios económicos, aparte de los ambientales, para la institución a cargo del proyecto.

### **9.11 Taludes finales del relleno sanitario**

La pendiente final de los taludes en el relleno sanitario es de vital importancia para la estabilidad del mismo durante toda su vida útil. Tal como se mencionó anteriormente, la capa de tierra de cobertura final debe tener 0,80 cm como mínimo de espesor y permitir el crecimiento de vegetación. Dicha cobertura final que a la vez conforman los taludes, tendrán una pendiente de 3:1, 3 horizontal y 1 vertical.

### **9.12 Drenaje pluvial**

El drenaje para las aguas de escorrentía se construye con el objetivo de desviar las aguas pluviales provenientes de los terrenos vecinos y canalizarlas sin que ingresen al relleno sanitario, pues ocasionan un aumento en el volumen de lixiviados. Para realizar el diseño de los canales se debe tomar en cuenta la intensidad de las precipitaciones en la zona, el área y permeabilidad del terreno.

Según estudios climáticos realizados por la Universidad Nacional en Costa Rica, la provincia de Puntarenas, considerando una frecuencia de aguacero o periodo de retorno de 30 años y una duración de las lluvias de 30 min, tiene una intensidad de la lluvia de 129mm/h (Alfaro et al, 2011).

Además, se considera un coeficiente de escurrimiento de 0,35 debido a que el suelo es bastante impermeable y se encuentra en la categoría de prados con suelo firme que poseen pendientes entre 2 y 7%. Por otro lado, el área tributaria mayor a drenar es de 44772 m<sup>2</sup>. Una vez que se conoce la intensidad de la lluvia, el coeficiente de escurrimiento y el área, se obtiene el caudal de aguas de escorrentía, haciendo uso de la fórmula que se expone en el apartado 15.1.7 de la memoria de diseño en el anexo 15.1.

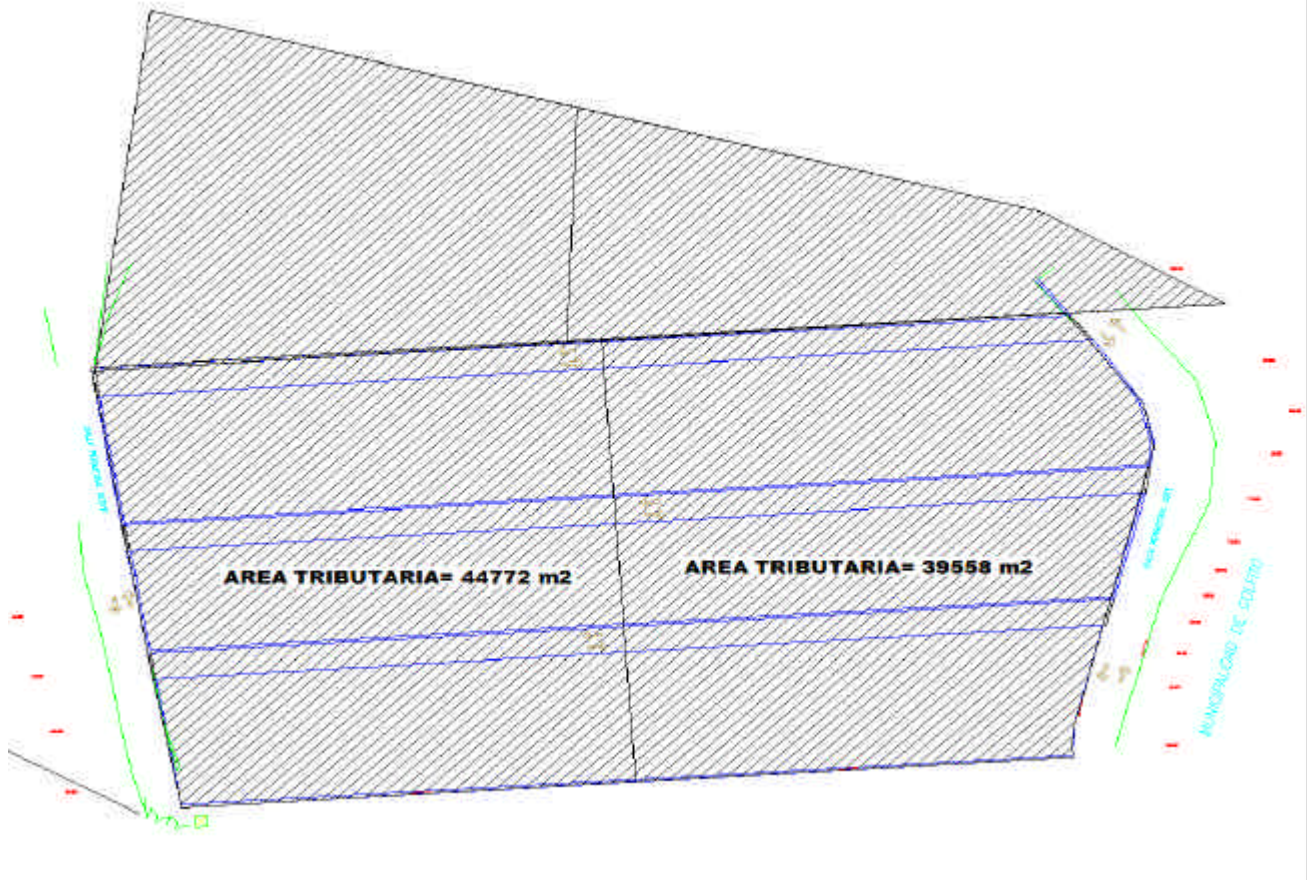
Por lo tanto, el caudal de agua pluvial esperado es de 0,563 m<sup>3</sup>/s. Los canales perimetrales serán de forma triangular sobre el suelo debidamente compactado y con una geomembrana, con un área hidráulica de 0,0631 m<sup>2</sup> y un tirante normal de 0,2511 m. Estas y demás



dimensiones se determinaron mediante el programa HCANALES v3.0. Los cálculos del caudal y detalles sobre el programa utilizado para determinación de las dimensiones de los canales se encuentran en el apartado 15.1.7 de la memoria de diseño en el anexo 15.1.

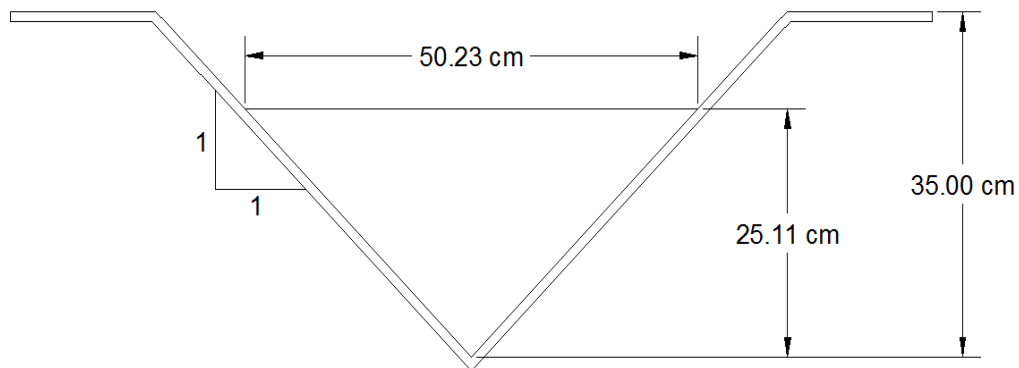
Cabe mencionar que para el cálculo del caudal se utiliza el área tributaria más grande, obtenida a partir de la división del área total en dos secciones (ver figura 28), lo que considera que el agua pluvial se distribuye hacia ambos lados. Por lo tanto, las dimensiones del canal se diseñan en función del área mayor, ya que considera las condiciones máximas.

Dentro del relleno sanitario, las aguas de lluvia van a correr en la base de cada talud hacia el este y oeste respectivamente, donde estarán ubicados los canales de evacuación principales, tal como muestra la siguiente figura.



AutoCAD, 2012.

**Figura 28.** Ubicación de canales perimetrales en el relleno sanitario.



AutoCAD, 2012.

**Figura 29.** Dimensiones de canales perimetrales del relleno sanitario.

## 10. Equipo y Maquinaria

El equipo y maquinaria requeridos para la operación y mantenimiento de un relleno sanitario varían de acuerdo con la magnitud del mismo, de la cantidad de residuos que se van a disponer y del tipo de relleno. Tomando en cuenta que el relleno sanitario que se desea construir será mecanizado, se describe la maquinaria requerida en las diferentes etapas de desarrollo del proyecto.

### 10.1 Fase de Construcción

Dentro de esta etapa, los principales trabajos involucrados son los movimientos de tierra, excavaciones, eliminación de cobertura vegetal y compactación del terreno. Por lo tanto, la maquinaria adecuada para estas labores es un tractor compactador para la preparación del terreno y una retroexcavadora para algunos movimientos de tierra y excavaciones. Además, se quieren al menos dos vagonetas para movilizar el material de cobertura que ha sido removido en el lugar o bien extraído en un terreno vecino.

Cabe mencionar que esta elección se realizó con el criterio de expertos y además, por ser el equipo comúnmente utilizado en rellenos sanitarios mecanizados en Costa Rica.



**Figura 30.** Retroexcavadora.



**Figura 31.** Tractor compactador.



**Figura 32.** Vagonetas.

## **10.2 Fase de Operación**

Para la operación del relleno sanitario, se toma en cuenta el equipo actual que posee la Municipalidad de Golfito. Por lo tanto, se contará con una excavadora utilizada actualmente en el vertedero, para realizar el esparcimiento de los residuos en el relleno sanitario. Además, se contará con el tractor mencionado anteriormente, para realizar la compactación diaria de los residuos.



**Figura 33.** Excavadora.

## **11. Instalaciones Complementarias**

### **11.1 Casetas de seguridad**

Las casetas de seguridad se construyen con el objetivo de regular la entrada y salida de personas, camiones y maquinaria especializada al relleno sanitario, por lo que deben estar ubicadas en ambas entradas del relleno y contar con un sistema de pluma que evite o permita el ingreso al mismo. Además, estas casetas deben estar suficientemente equipadas para suplir las necesidades del guarda, por lo que deben contar con servicio sanitario, agua potable, electricidad y teléfono.

### **11.2 Sistema de pesaje**

Es de suma importancia que el relleno sanitario cuente con un sistema de pesaje, pues es indispensable llevar un registro de la cantidad de residuos sólidos municipales que ingresan

diariamente. Debe estar ubicada cerca de la caseta de seguridad en la entrada principal y debe contar con un operador.

### **11.3 Malla perimetral**

La totalidad del terreno dispuesto para la construcción del relleno sanitario debe contar con una malla tipo ciclón que impida el ingreso de animales o personas y delimite el terreno con las propiedades vecinas.

### **11.4 Área de lavado**

Se debe disponer un área dedicada al lavado de los camiones recolectores y maquinaria, especialmente las llantas, ya que cuando salen del relleno sanitario pueden llevar consigo sustancias contaminantes o materiales que pueden transmitir vectores de enfermedades y poner en riesgo la salud pública.

El agua residual producida por el lavado de camiones, debe ser conducida al sistema de tratamiento que se establecerá para los lixiviados, por lo que es importante que el piso de lavado se encuentre cerca de dicho sistema y además, cerca de la salida del relleno sanitario.

### **11.5 Centro de Acopio**

Debido a la existencia de recolectores de residuos en el actual vertedero, la Municipalidad de Golfito desea proveer un centro de acopio para los materiales recuperables. Dicho centro de acopio consiste en un lugar cerrado y bajo techo, donde se puedan captar, seleccionar y almacenar adecuadamente los materiales reciclables que llegan al relleno sanitario. Este proyecto impulsa la mejora de las condiciones laborales de estas personas y además, a mejorar la situación económica de los vecinos que dependen de la venta de estos materiales para sobrevivir.

Mediante programas de educación ambiental que se están llevando a cabo en la zona, se busca incentivar a la población a reciclar y separar sus residuos en las casas, de manera que la Municipalidad recolecte el material valorizable en un día distinto a la recolección de residuos normal.

Cabe aclarar que la administración de dicho centro de acopio no estará a cargo de la Municipalidad de Golfito, sino de una Asociación creada por los recolectores que laboran en el relleno sanitario. Por lo tanto, la Municipalidad sólo les brindaría el espacio físico de trabajo pero no será el responsable de las operaciones del lugar.

Es importante que el centro de acopio cuente con duchas, servicios sanitarios y una pequeña oficina administrativa, para que los recolectores laboren bajo medidas estrictas de higiene y además, puedan realizar sus funciones administrativas adecuadamente.

El centro de acopio debe contar con paredes de concreto, ventilación adecuada, portón para el control de ingreso y condiciones de seguridad contra incendios, incluyendo los materiales que componen la estructura del lugar, entre otras características de diseño.

Además, se recomienda que este centro de acopio cuente con una banda transportadora que facilite la clasificación y recuperación de los materiales. En cuanto a la ubicación de las instalaciones complementarias, el centro de acopio se encuentra dentro del relleno sanitario por facilidad de disposición de terreno, sin embargo, de ser posible se recomienda que esté ubicado fuera de las instalaciones del relleno sanitario, para que la población que envíe material reciclable no adquiera la percepción errada de que éste se dispone igual que los demás residuos no recuperables. Además, al estar fuera de las instalaciones del relleno, se evita que los recolectores por cercanía ingresen a los frentes de trabajo.

### **11.6 Parqueo**

Es un área destinada para el estacionamiento de los camiones o maquinaria cuando no están en uso, además para el parqueo de los vehículos de las personas que laboran en el relleno sanitario o bien que se encuentran de visita en el lugar. Dicho parqueo debe estar ubicado cerca de la entrada principal del relleno sanitario.

### **11.7 Comedor**

Es importante que el relleno sanitario cuente con un comedor para que el personal pueda alimentarse y aprovechar sus horas de descanso adecuadamente. Además, es obligatorio que se le brinde al personal las mejores condiciones laborales e instalaciones adecuadas para disfrutar de sus espacios libres.

### **11.8 Oficinas administrativas**

Además, cerca del comedor, deben existir al menos dos oficinas, con fines administrativos, para ser usadas por el personal de ingeniería a cargo de la operación del relleno sanitario, para dar capacitaciones en caso de ser necesario y además, para atender a las visitas que lleguen al lugar.

### **11.9 Consultorio Médico**

Es importante que exista un consultorio médico dentro de las instalaciones del relleno sanitario. El objetivo es que el personal reciba la atención médica adecuada, de ser necesaria, y la vacunación obligatoria. Además, se desea que en casos de emergencia o alguna eventualidad el acceso a la atención médica sea rápido y evitar así accidentes mayores y poner en riesgo la vida de los trabajadores.

### **11.10 Área de compostaje**

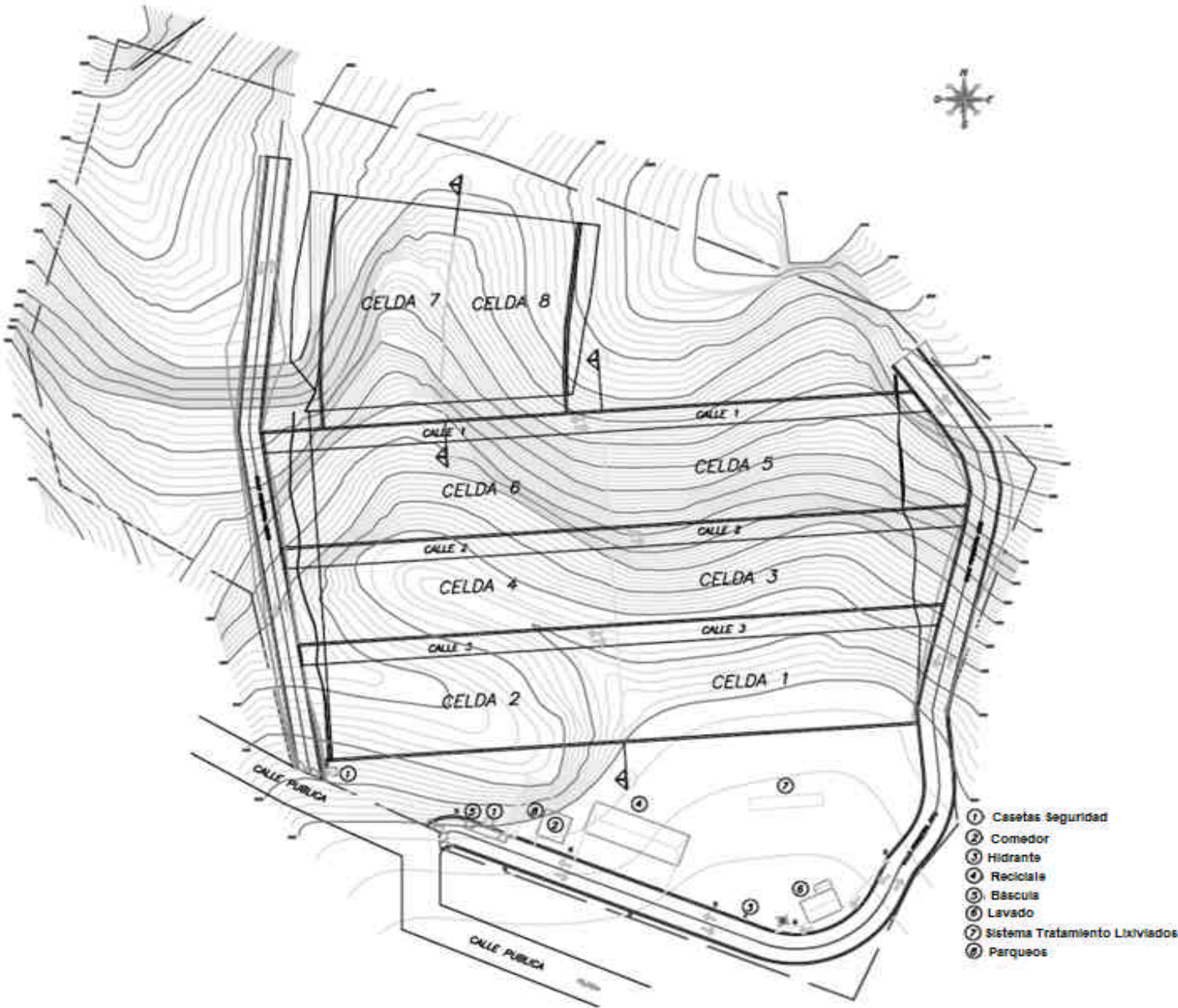
Además de la captación y recuperación de materiales reciclables, la Municipalidad de Golfito tiene entre sus objetivos, la construcción de un centro de compostaje o área destinada para la disposición de los residuos orgánicos, donde se les brindará el tratamiento necesario para convertir los residuos orgánicos recolectados en abono orgánico.

### **11.11 Sistema de tratamiento de lixiviados**

El drenaje de evacuación de los lixiviados en el relleno sanitario, conduce estos lixiviados hacia un sistema de tratamiento adecuado. Se recomienda tratar los lixiviados mediante un humedal artificial, que consiste en una fitodepuración mediante el cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. Este sistema presenta las siguientes ventajas al compararse con otros sistemas de tratamiento.

- No requiere el consumo de recursos como energía eléctrica.
- Sistema totalmente natural y amigable con el ambiente.
- No requiere el consumo de sustancias químicas u otra materia prima necesaria para el tratamiento.
- Presenta bajo costos de mantenimiento con respecto a otros sistemas.
- Disminución de malos olores y de producción de lodos.

Además, se recomienda que el sistema cuente con un previo sistema de sedimentación. Por razones de alcance del proyecto, no se profundizará en el diseño del sistema de tratamiento de lixiviados y demás instalaciones complementarias mencionadas anteriormente. Sin embargo, dentro del diseño se incluye la posible ubicación de las estructuras complementarias, como se puede observar en la siguiente figura.



AutoCAD, 2012.

**Figura 34.** Distribución de celdas y estructuras complementarias del relleno sanitario.



## 12. Análisis de Costos

Para realizar un análisis de costos, es necesario dividirlos por actividad. Los costos a calcular son solamente de diseño, aquellos que se encuentran dentro del alcance del proyecto.

### 12.1 Costos de diseño

A continuación se encuentran enlistadas las principales actividades consideradas en la etapa de diseño.

- Levantamiento topográfico.
- Diseño del relleno sanitario y confección de planos.
- Honorarios profesionales.

El siguiente cuadro, muestran los costos por cada una de las actividades mencionadas anteriormente.

**Cuadro 11.** Costo total de diseño.

Actividad	Costo (\$)
Levantamiento topográfico.	5 000
Diseño del relleno sanitario y confección de planos.	10 000
Honorarios profesionales.	20 000
Total	35 000

**Fuente:** Ing. Jorge Calvo.

## **13. Conclusiones y recomendaciones**

### **13.1 Conclusiones**

Para realizar el diseño de un relleno sanitario es indispensable contar con el previo estudio de impacto ambiental del proyecto y para ejecutarlo, este debe estar aprobado por SETENA.

Por otro lado, se deben conocer ciertas características específicas de la población, como por ejemplo la producción per cápita, el índice de crecimiento poblacional, la cantidad de habitantes que conforman cada cantón y la cobertura del servicio de recolección. Por medio de estos datos, se obtiene la proyección de la población y de los residuos que se van a disponer durante la vida útil del relleno sanitario.

Un relleno sanitario debe estar técnicamente bien estructurado para que los contaminantes que se producen no pongan en riesgo los recursos naturales de la zona e incluso la salud pública. Por lo tanto, el relleno sanitario debe estar previamente impermeabilizado, contar con drenajes de evacuación de lixiviados y gases, canales para agua pluvial y chimeneas con quemadores de biogás, en caso de que este no sea captado y aprovechado.

Cabe mencionar que el diseño del relleno sanitario surge a partir de la topografía del terreno, ya que la construcción de celdas se realiza aprovechando las depresiones y desniveles del terreno. Por lo tanto, en el diseño se debe considerar la gravedad, es decir, se deben ubicar estratégicamente las instalaciones de manera que se aprovechen las elevaciones del terreno para la conducción de lixiviados, por la acción de la gravedad y así no requiera sistemas de bombeo.

Durante la operación del relleno sanitario, es de gran importancia el cumplimiento con la cobertura diaria de los residuos, pues evita la proliferación de vectores de enfermedades, malos olores, aumento de lixiviados por acción de las lluvias, entre otros. En consecuencia, el no cumplimiento con el tapado de los desechos puede desencadenar disconformidades por parte de los vecinos, poner en riesgo la salud pública y causar la no aceptación del relleno sanitario.

Los lixiviados que se generan en el relleno sanitario son altamente contaminantes, estos deben ser conducidos hacia un sistema de tratamiento apropiado, diseñado en función de la caracterización de los lixiviados, condiciones climáticas, presupuesto disponible y demás factores de influencia.

Por otro lado, debe contar con una serie de instalaciones complementarias, aunque no se profundice en este proyecto. Esas instalaciones básicamente son báscula, casetas de seguridad, oficinas administrativas, comedor, parqueo, malla perimetral, entre otras.

Un relleno sanitario debe contar con una memoria de diseño y el manual de operación y mantenimiento respectivo, estos son requisitos para llevar a cabo el proyecto de acuerdo con el reglamento de rellenos sanitarios.

El manual de operación y mantenimiento establece las medidas necesarias para el buen funcionamiento del relleno sanitario. Por lo tanto, es importante que se cumpla con los procedimientos ahí estipulados con el objetivo de maximizar la vida útil del relleno sanitario y que este no represente riesgos al ambiente ni a la salud pública.

La apariencia paisajística es indispensable para la aceptación de un relleno sanitario por parte la población vecina. Para esto, se debe sembrar zacate y vegetación de pequeño tamaño, luego del cierre técnico de cada celda. Posteriormente, se debe realizar el mantenimiento respectivo que incluye poda y riego, de esta manera el relleno sanitario puede incluso convertirse un lugar de recreación.

Los costos relacionados con la realización del diseño del relleno sanitario son mínimos en comparación de los costos de ejecutar el proyecto. Sin embargo, estos últimos no se analizan en este proyecto porque corresponde a la etapa meramente de construcción del relleno sanitario.

### **13.2 Recomendaciones**

Cuando se desee iniciar la ejecución del proyecto, se deben realizar las solicitudes de los permisos legales respectivos, tales como el permiso de ubicación y el permiso sanitario de funcionamiento brindados por el Ministerio de Salud, entre otros.

Se debe diseñar un sistema de tratamiento adecuado, técnicamente estructurado para tratar y disponer los lixiviados de acuerdo con los parámetros de vertido establecidos en la legislación nacional.

Además, en época de verano, se debe considerar la opción de reutilizar las aguas tratadas para el riego de zonas verdes y control de polvo en el lugar.

Es necesario que se construyan al menos 3 pozos de extracción de lixiviados con el objetivo de muestrear estas aguas y enviar a un laboratorio para el análisis de las mismas.

Se debe analizar la posibilidad de implementar un sistema de captación y aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario. Para esto, se debe realizar un estudio de viabilidad que considere distintos factores del entorno del proyecto y así, determinar la iniciativa como viable o no, considerando en primera instancia el beneficio ambiental.

Es de suma importancia que ambas municipalidades continúen con los programas de educación ambiental en la zona, ya que mediante la concientización de la población se puede lograr una reducción en la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario. Además, orienta a los habitantes a realizar la separación de los residuos en sus casas y a reciclar.

Se deben realizar capacitaciones al personal del relleno sanitario. Además, es importante que en las instalaciones se realicen campañas de divulgación visual acerca de las medidas de higiene.

Contar con un centro de acopio donde se puedan separar y recuperar los materiales valorizables, disminuiría la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario y por ende, aumentaría la vida útil del relleno sanitario. Además, un lugar donde se puedan disponer los residuos orgánicos para realizar compost, también contribuiría a disminuir la cantidad de residuos.

Es importante que se realice el diseño de las estructuras complementarias, tales como el centro de acopio, las carreteras dentro del relleno sanitario, las instalaciones administrativas, comedor, entre otras.

## 14. Bibliografía

### 14.1 Libros impresos y electrónicos

- 14.1.1 Bernache, G. (2006). *Cuando la basura nos alcance: el impacto de la degradación ambiental*. México: Publicaciones de la Casa Chata. Recuperado de <http://books.google.co.cr/books?id=bL3Pn7PcFxoC&printsec=frontcover&dq=Cuando+la+basura+nos+alcance:+el+impacto+de+la+degradaci%C3%B3n+ambiental.&hl=es&sa=X&ei=RH-2UKCLPILc8ASeooDwBQ&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=Cuando%20la%20basura%20nos%20alcance%3A%20el%20impacto%20de%20la%20degradaci%C3%B3n%20ambiental.&f=false>
- 14.1.2 Bono, E; Tomás, C. (2006). *Residuos Urbanos y Sustentabilidad Ambiental: Estado de la cuestión y debate en la comunidad Valenciana*. Universidad de Valencia. Recuperado de <http://books.google.co.cr/books?id=iDbTgdLqdJ4C&printsec=frontcover&dq=incineraci%C3%B3n+residuos+sólidos+Tom%C3%A1s+Bono+2006&hl=es&sa=X&ei=QCOcUI2tNZKY8gSO-oBo&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>
- 14.1.3 Campos, I. (2003). *Saneamiento ambiental*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- 14.1.4 Castells, X. (2012). *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A. Recuperado de [http://books.google.co.cr/books?id=qYmL8Q10TYcC&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+y+Valorizaci%C3%B3n+Energ%C3%A9tica+de+Residuos.&hl=es&sa=X&ei=7n62UOXpFYzy9gS\\_goGQBw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=Tratamiento%20y%20Valorizaci%C3%B3n%20Energ%C3%A9tica%20de%20Residuos.&f=false](http://books.google.co.cr/books?id=qYmL8Q10TYcC&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+y+Valorizaci%C3%B3n+Energ%C3%A9tica+de+Residuos.&hl=es&sa=X&ei=7n62UOXpFYzy9gS_goGQBw&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=Tratamiento%20y%20Valorizaci%C3%B3n%20Energ%C3%A9tica%20de%20Residuos.&f=false)
- 14.1.5 Collazos, H. (2008). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. (3 ed). Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

- 14.1.6 Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, L; Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Universidad Mayor de San Simón, Bolivia. Recuperado de <http://books.google.co.cr/books?id=1kO2J5aDljQC&pg=PA8&dq=Depuraci%C3%B3n+de+aguas+residuales+por+medio+de+humedales+artificiales.&hl=es&sa=X&ei=vn62UJmYMZDO8wStqYC4Bg&ved=0CC8Q6AEwAA>
- 14.1.7 Gómez, O. (2007). *Educación para la salud*. (2ed). San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- 14.1.8 Jaramillo, J. (1991). *Residuos Sólidos Municipales: Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C.
- 14.1.9 Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>
- 14.1.10 Ramos, P; Jauregui, A; De la Fuente, J; et al. (2003). *Residuos: Alternativas de Gestión*. España: Ediciones Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://books.google.co.cr/books?id=pQz-1Gi5TnUC&printsec=frontcover&dq=Residuos:+Alternativas+de+Gesti%C3%B3n.&hl=es&sa=X&ei=eH62UISsL5Tc8AS12IFQ&ved=0CDUQ6AEwAA>

## 14.2 Tesis

- 14.2.1 Chavarría, N. (2011). *Caracterización del sitio, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos generados en el Tecnológico de Costa Rica*. (Proyecto de Graduación). Tecnológico de Costa Rica. Cartago.
- 14.2.2 Mendoza, P; López, V. (2004). *Estudio de la calidad del lixiviado del relleno sanitario La Esmeralda y su respuesta bajo tratamiento en filtro anaerobio piloto de flujo ascendente*. (Proyecto de Graduación). Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamedozasalgado.2004\\_.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1059/1/patriciamedozasalgado.2004_.pdf)

### **14.3 Leyes y Reglamentos**

- 14.3.1 Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. “*Ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839*”.La Gaceta N°135, 13 de Julio de 2010.
- 14.3.2 Gobierno de Costa Rica. “*Ley General de Salud N° 5395*”. La Gaceta N° 222, 24 de noviembre de 1973.
- 14.3.3 Ministerio de Salud de la República de Costa Rica. “*Reglamento de Rellenos Sanitarios N° 27378-S*”.La Gaceta N° 206, 23 de Octubre de1998.
- 14.3.4 Ministerio de Salud de la República de Costa Rica. “*Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios N° 36093-S*”.La Gaceta N° 158, 16 de Agosto de 2010.
- 14.3.5 Ministerio de Salud de la República de Costa Rica.“*Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables N° 35906-S*”.La Gaceta N° 86, 05 de Mayo de 2010.

### **14.4 Estudios e informes**

- 14.4.1 Alfaro, M; Araúz, I; Günter, W.(1992). *Lluvia de diseño: Curvas de tiempo-intensidad-frecuencia*. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica.
- 14.4.2 CONSTRUDINCO Civiles y Ambientales Ltda. (2008). *Diseños segunda etapa Relleno Sanitario Mariposas Amarillas*. Recuperado de [http://jerico-antioquia.gov.co/apc-aa-files/31623434313964353030636265643061/Dise\\_o\\_relleno\\_sanitario\\_Mariposas\\_Amarillas.pdf](http://jerico-antioquia.gov.co/apc-aa-files/31623434313964353030636265643061/Dise_o_relleno_sanitario_Mariposas_Amarillas.pdf)
- 14.4.3 Empresa Nacional de Servicios de Aseo S.A. (s.f.). *Balance de aguas y acumulación de lixiviados*. Recuperado de [https://www.e-seia.cl/archivos/713\\_Anexo\\_B.pdf](https://www.e-seia.cl/archivos/713_Anexo_B.pdf)
- 14.4.4 EPA (Environmental Protection Agency). (2007). *Manual de Usuario Modelo Centroamericano de Biogás*.Recuperado de [http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/ManualdelUsuarioV1\\_CentroamericaREV1.pdf](http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/ManualdelUsuarioV1_CentroamericaREV1.pdf)

- 14.4.5 Greenpeace. (2012). *Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución*. Recuperado de [http://www.captel.com.ar/downloads/2610083008\\_riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf](http://www.captel.com.ar/downloads/2610083008_riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf)
- 14.4.6 INM (Instituto Meteorológico Nacional). (2009). *Datos Climatológicos, Golfito*. San José, Costa Rica.
- 14.4.7 INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2011). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011: Resultados Generales*. Recuperado de <http://www.inec.go.cr>
- 14.4.8 MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). (2010). *Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Relleno Sanitarios*. Recuperado de [http://paap.mmaya.gob.bo/\\_\\_ucp/agua\\_saneamiento/OTROS/RESIDUOS%20SOLIDOS%20-%20VAPSB%20dic2010/Guia%20Rellenos%20Sanitarios.pdf](http://paap.mmaya.gob.bo/__ucp/agua_saneamiento/OTROS/RESIDUOS%20SOLIDOS%20-%20VAPSB%20dic2010/Guia%20Rellenos%20Sanitarios.pdf)
- 14.4.9 PRESOL (Plan de Residuos Sólidos Costa Rica). (2007). *Diagnóstico y Áreas Prioritarias*.
- 14.4.10 Röben, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales*. Municipalidad de Loja, Ecuador. Recuperado de [http://www.bvsde.paho.org/curso\\_rsm/e/fulltext/loja.pdf](http://www.bvsde.paho.org/curso_rsm/e/fulltext/loja.pdf)
- 14.4.11 Rodríguez, J. (2008). *Diseño del relleno sanitario para la Municipalidad Santa Rosa de Copan*. Recuperado de [http://santarosacopan.org/uploads/media/Diseno\\_del\\_Relleno\\_Sanitario.pdf](http://santarosacopan.org/uploads/media/Diseno_del_Relleno_Sanitario.pdf)
- 14.4.12 Romero, A. (s.f.). *Incineración de residuos sólidos urbanos*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/C2-315.pdf>
- 14.4.13 Sandoval, L. (s.f.). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*. Ministerio del Ambiente, Perú. Recuperado de [http://redpeia.minam.gob.pe/admin/files/item/4d80ca8b3fa80\\_Guia\\_de\\_relleno\\_sanitario\\_mecanizado.pdf](http://redpeia.minam.gob.pe/admin/files/item/4d80ca8b3fa80_Guia_de_relleno_sanitario_mecanizado.pdf)
- 14.4.14 Sanéz, L. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental-EsIA Relleno Sanitario Golfito-Corredores*.



- 14.4.15 Soto, S. (2006). *Manejo Residuos Sólidos: Persisten rezagos en la recolección*. Duodécimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr/>
- 14.4.16 Soto, S. (2010). *Generación y manejo de los residuos sólidos*. Decimosexto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr/>

#### **14.5 Artículos de revistas**

- 14.5.1 Gaviria, L; Soto, S. (Octubre, 2007). *Situación de la gestión de residuos sólidos en las Municipalidades en Costa Rica: recolección, disposición y recuperación*. Tecnología en Marcha, Vol. 20-4, P. 3-7. Recuperado de [http://www.tec.ac.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial\\_tecnologica/Revista\\_Tecnologia\\_Marcha/pdf/tecnologia\\_marcha\\_20-4/20-4%203-7.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha_20-4/20-4%203-7.pdf)
- 14.5.2 Taboada, P; et al. (Julio, 2009). *La tecnología de plasma y residuos sólidos*. Revista Académica de la FI-UADI, Vol. 13-2, P. 51-56. Recuperado de [http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/tecnologia\\_plasma.pdf](http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/tecnologia_plasma.pdf)

## 15. Anexos

### 15.1 Memoria de Diseño del Relleno Sanitario

#### 15.1.1 Proyección de la población de diseño

Para la proyección de la población, a lo largo de la vida útil del relleno sanitario, se utilizó el modelo de interés compuesto que utiliza la siguiente fórmula.

$$P_f = P_o (1 + r)^t$$

Donde:

$P_f$  = Población futura

$P_o$  = Población actual

$r$  = Tasa de crecimiento de la población

$t$  = (t final – t inicial) intervalo en años

La población de ambos Cantones según el censo 2011, corresponde a 39150 habitantes en Golfito y 41831 habitantes en Corredores, a partir de estos datos se realizó la proyección de la población (INEC, 2011).

La tasa de crecimiento poblacional corresponde a 0,013 para Golfito y 0,010 para Corredores, comprendida entre los años 2000 y 2011 (INEC, 2011). El porcentaje de cobertura del servicio de recolección de residuos es de 77,5% para el cantón de Corredores y 60,1% para Golfito.

El siguiente cuadro, muestra la proyección de la población total y de la población que recibe el servicio municipal de recolección de residuos sólidos, durante la vida útil del relleno sanitario.

**Cuadro 12.** Proyección poblacional de Corredores y Golfito.

Año	Población de Golfito	Población de Corredores	Población Total	Población Total con Servicio de Recolección
2013	40175	42671	82846	57215
2014	40697	43098	83795	57860
2015	41226	43529	84755	58512
2016	41762	43964	85726	59171
2017	42305	44404	86709	59838
2018	42855	44848	87703	60513
2019	43412	45296	88708	61195
2020	43976	45749	89725	61885
2021	44548	46206	90754	62583
2022	45127	46668	91795	63289
2023	45714	47135	92849	64004
2024	46308	47606	93914	64726
2025	46910	48082	94992	65456
2026	47520	48563	96083	66196
2027	48138	49049	97187	66944
2028	48764	49539	98303	67700
2029	49398	50034	99432	68464
2030	50040	50534	100574	69238
2031	50690	51039	101729	70020
2032	51349	51549	102898	70811
2033	52016	52064	104080	71611
2034	52692	52585	105277	72421
2035	53377	53111	106488	73241
2036	54071	53642	107713	74069
2037	54774	54178	108952	74907
2038	55486	54720	110206	75755
2039	56207	55267	111474	76612

**Fuente:** INEC, censo 2011.

### 15.1.2 Vida útil del relleno sanitario

Para calcular la vida útil del relleno sanitario de Corredores y Golfito, es necesario conocer la cantidad de residuos que se van a disponer y el volumen disponible por cada celda para la disposición de residuos. Sin embargo, es importante calcular primeramente las dimensiones que debe tener del relleno sanitario para abastecer la llegada anual de residuos.

Se utilizará una producción per cápita de 0,85 kg/hab/día para ambos cantones y el porcentaje de cobertura del servicio de recolección mencionado en el apartado anterior. Sin embargo, se determinará la vida útil considerando la población actual que envía sus residuos al vertedero y también, considerando que en el futuro la totalidad de la población recibe el servicio de recolección de desechos, pues es el deseo de ambas Municipalidades ir aumentando la cobertura del servicio.

Por lo tanto, el primer cálculo de la vida útil del relleno sanitario se realiza considerando la llegada diaria actual de 48 toneladas y el segundo cálculo, se realiza considerando una recepción diaria de 70 toneladas que corresponden a la disposición de los residuos de todos los habitantes de la zona.

A continuación se muestran las fórmulas que permiten obtener las dimensiones del relleno sanitario.

Cantidad de desechos producidos diariamente

$$Q = P \cdot C \cdot A \cdot D \cdot \frac{1}{365}$$

Volumen diario de desechos compactados

$$V = \frac{Q \cdot \rho}{\gamma} \cdot \frac{1}{\eta}$$

Volumen anual de desechos compactados

$$V_a = V \cdot 365$$

Volumen de material de cobertura

$$\begin{aligned}
 & \text{? ????} \\
 & \text{? ????} \\
 & \text{? ? ?}
 \end{aligned}$$

Volumen de desechos estabilizados

$$\begin{aligned}
 & \text{????} \\
 & \text{?} \frac{\text{????}}{\text{????}}
 \end{aligned}$$

Volumen anual de desechos estabilizados

$$\begin{aligned}
 & \text{????} \\
 & \text{? ? ? ? ?}
 \end{aligned}$$

Volumen del relleno sanitario

$$\begin{aligned}
 & \text{????} \\
 & \text{? ? ? ? ?} \\
 & \text{? ? ? ? ?}
 \end{aligned}$$

Área del relleno sanitario

$$\text{???} \frac{\text{????}}{\text{????}}$$

Área total del relleno sanitario

$$\begin{aligned}
 & \text{????} \\
 & \text{? ? ? ? ?}
 \end{aligned}$$

Cantidad de desechos útiles en el relleno sanitario

$$\text{? ? ? ? ?}$$

Vida útil del relleno sanitario

$$\text{???} \frac{\text{????}}{\text{????}}$$

**Cuadro 13.** Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando la población actual que recibe el servicio de recolección.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Vida útil (años)	Vida útil acumulada (años)
1	974,14	50,00	48707,00	48707,00	2,50	2,50
2	848,74	50,00	42437,00	91144,00	2,18	4,68
3	1413,66	55,00	77751,30	168895,30	3,99	8,67
4	2201,53	55,00	121084,15	289979,45	6,22	14,89
5	456,47	66,00	30127,02	320106,47	1,54	16,43
6	2537,71	66,00	167488,86	487595,33	8,60	25,03
7-8	676,88	70,00	47381,60	534976,93	2,43	27,46

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 14.** Vida útil del relleno sanitario por cada celda considerando toda la población de la zona.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Ancho (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Acumulado (m <sup>3</sup> )	Vida útil (años)	Vida útil acumulada (años)
1	974,14	50,00	48707,00	48707,00	1,71	1,71
2	848,74	50,00	42437,00	91144,00	1,49	3,20
3	1413,66	55,00	77751,30	168895,30	2,74	5,94
4	2201,53	55,00	121084,15	289979,45	4,26	10,20
5	456,47	66,00	30127,02	320106,47	1,06	11,26
6	2537,71	66,00	167488,86	487595,33	5,90	17,16
7-8	676,88	70,00	47381,60	534976,93	1,67	18,83

**Fuente:** Elaboración propia.

### 15.1.3 Diseño de celdas

El relleno sanitario contará con 8 celdas que poseen áreas distintas y estarán ubicadas de acuerdo con la topografía del terreno. En el cuadro anterior, se pueden observar los detalles de área para cada celda.

Se espera la llegada diaria de aproximadamente 48 toneladas al relleno sanitario. Se utilizará un área de trabajo diario de 10 x10 m y una altura de la celda diaria de 1,5 m. Estas

serán las dimensiones apropiadas para la celda diaria considerando una densidad de los residuos de 700 kg/m<sup>3</sup>.

#### 15.1.4 Material de Cobertura

El material de cobertura representa el 20% del volumen total compactado y se utiliza para cubrir diariamente los residuos en el relleno sanitario. Por lo tanto, se cubrirán diariamente los residuos con una capa de material de tierra de 0,15 m de espesor. Al concluir la vida útil de cada celda se debe colocar una capa de 0,60 m de espesor y al menos 0,20 m de material que sea capaz de brindarle un adecuado crecimiento a la vegetación y lograr así una mejor incorporación paisajística.

**Cuadro 15.** Material de cobertura requerido para cada celda.

Celda	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Volumen de cobertura (m <sup>3</sup> )
1	43836,30	8767,26
2	38193,30	7638,66
3	69976,17	13995,23
4	108975,73	21795,14
5	27114,31	5422,86
6	150739,97	30147,99
7-8	42643,44	8528,68
Total	481479,22	96295,82

**Fuente:** Elaboración propia.

### 15.1.5 Estimación de la producción de lixiviados y sistema de evacuación

Para conocer la cantidad de lixiviados que se van a producir en el relleno sanitario se realizó un balance hídrico. Este método considera el aporte de las precipitaciones al aumento del caudal, el aporte generado por la degradación natural de los residuos y la humedad de estos. Además, considera el efecto contrario sobre el caudal de lixiviados que generan la escorrentía superficial y la evapotranspiración.

La acción de estos factores se va a analizar de manera separada. El objetivo es conocer el caudal generado por cada uno de ellos para posteriormente hacer el balance con la fórmula que se muestra a continuación.

$$Q_{\text{Total}} = Q_R + Q_P - Q_{\text{ES}} - Q_E$$

Donde:

$Q_R$  = Caudal generado por la humedad de los residuos sólidos.

$Q_P$  = Caudal generado por el efecto de las precipitaciones

$Q_{\text{ES}}$  = Caudal de escorrentía superficial.

$Q_E$  = Caudal de evapotranspiración.

Entonces, para conocer el caudal de lixiviados que se van a producir por la acción de las lluvias en la zona, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_p = P \cdot A \cdot k$$

Donde:

$Q_p$  = Caudal medio de lixiviado generado ( $\text{m}^3/\text{mes}$ )

$P$  = Precipitación máxima mensual ( $\text{mm}/\text{mes}$ )

$A$  = Área superficial del relleno ( $\text{m}^2$ )

$k$  = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura.

Los valores recomendados para  $k$ , en rellenos fuertemente compactados con peso específico igual o mayor a  $0,7 \text{ ton}/\text{m}^3$ , oscilan entre 15 y 25% ( $k=0,15$  a  $0,25$ ) de la precipitación



media anual correspondiente al área del relleno (Jaramillo, 2002). Para este cálculo se consideró un  $k = 0,20$ .

La precipitación máxima mensual en la zona es de 693,7 mm y corresponde al mes de octubre, por lo cual se utiliza este valor para realizar el cálculo del caudal (IMN, 2009). Sin embargo, utilizar la precipitación máxima mensual significa que debe llover los 30 días del mes constantemente y con la misma precipitación obtenida en el mes de octubre, por lo que se considera solamente el 20% del valor obtenido. En el siguiente cuadro se puede observar el caudal esperado de lixiviados de acuerdo con el área de cada celda que se cubrirá con residuos.

**Cuadro 16.** Caudal de lixiviados generado por las precipitaciones.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal Lixiviados (m <sup>3</sup> /mes)	Caudal Lixiviados x20% (m <sup>3</sup> /mes)	Caudal Acumulado (m <sup>3</sup> /mes)
1	974,14	135,15	27,03	27,03
2	848,74	117,75	23,55	50,58
3	1413,66	196,13	39,22	89,80
4	2201,53	305,44	61,08	150,88
5	456,47	63,33	12,66	163,54
6	2537,71	352,08	70,41	233,95
7-8	676,88	93,91	18,78	252,73

**Fuente:** Elaboración propia.

Por otro lado, para conocer el aporte de la degradación de los residuos en el relleno sanitario, se utilizó el método empleado por la Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, de Bolivia. Por lo tanto, se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones, establecidas de acuerdo con la experiencia en operación de rellenos sanitarios y revisión bibliográfica.

- Una densidad de los residuos recién compactados en el relleno sanitario de 0,5 ton/m<sup>3</sup>.
- Una densidad de los residuos estabilizados, mayor o igual a 0,7 ton/m<sup>3</sup>.
- Una humedad de los residuos recién ingresados al relleno sanitario de 45%.
- Una humedad inicial de compactación de 25,7%.

- Una humedad final de compactación de 20%.

En el área de relleno se produce una diferencia en el % de humedad, que corresponde al líquido liberado de los residuos como consecuencia de la compactación. De la humedad de estos residuos el 40% percola mientras que el 60% restante se recupera en el esponjamiento de los residuos y es utilizado en su degradación. Con este criterio, se espera que en 5 años de compactación se alcance una densidad mayor de  $0,7 \text{ ton/m}^3$ , incluso de  $0,9 \text{ ton/m}^3$ , y una humedad de 20%.

Cabe mencionar que se considera, que la mayor generación de lixiviados como consecuencia de la compactación y degradación de los residuos orgánicos será en los primeros 2 años de vida útil del relleno sanitario. Aplicando la metodología que se expone en el siguiente cuadro, se obtiene el volumen de lixiviados generados por la humedad de los residuos durante la vida útil del relleno sanitario.

**Cuadro 17.** Cálculo de la generación de lixiviados por la humedad de los residuos.

Año	Cantidad de residuos (ton/año)	Densidad (D) (ton/m <sup>3</sup> )	Volumen de residuos (V) (m <sup>3</sup> /año)	Humedad inicial (HI) (%)	Humedad final (HF) (%)	Diferencia de humedades (H) (HF-HI)	Volumen liberado por los residuos VL=(V*H)	Volumen de lixiviados VLP=VL*40%	Volumen acumulado (m <sup>3</sup> /año)
2013	17750,95	0,5	35501,90	0,45	0,35	0,10	3550,19	1420,07	1420,07
2014	17951,06	0,6	29918,43	0,35	0,25	0,10	2991,84	1196,73	2686,80
2015	18153,34	0,7	25933,34	0,25	0,22	0,03	778,00	311,20	2998,00
2016	18357,80	0,8	22947,25	0,22	0,21	0,01	229,47	91,78	3089,78
2017	18564,73	0,9	20627,47	0,21	0,20	0,01	206,27	82,50	3172,28
2018	18774,15	0,9	20860,16	0,21	0,20	0,01	208,60	83,44	3255,72
2019	18985,74	0,9	21095,26	0,21	0,20	0,01	210,95	84,38	3340,10
2020	19199,82	0,9	21333,13	0,21	0,20	0,01	213,33	85,33	3425,43
2021	19416,37	0,9	21573,74	0,21	0,20	0,01	215,73	86,29	3511,72
2022	19635,17	0,9	21816,85	0,21	0,20	0,01	218,16	87,26	3598,98
2023	19857,24	0,9	22063,60	0,21	0,20	0,01	220,63	88,25	3687,23
2024	20081,20	0,9	22312,44	0,21	0,20	0,01	223,12	89,24	3776,47
2025	20307,72	0,9	22564,13	0,21	0,20	0,01	225,64	90,25	3866,72
2026	20537,30	0,9	22819,22	0,21	0,20	0,01	228,19	91,27	3957,99
2027	20769,37	0,9	23077,07	0,21	0,20	0,01	230,77	92,30	4050,29
2028	21003,92	0,9	23337,68	0,21	0,20	0,01	233,37	93,34	4143,63
2029	21240,95	0,9	23601,05	0,21	0,20	0,01	236,01	94,40	4238,03
2030	21481,08	0,9	23867,86	0,21	0,20	0,01	238,67	95,46	4333,49
2031	21723,70	0,9	24137,44	0,21	0,20	0,01	241,37	96,54	4430,03

2032	21969,11	0,9	24410,12	0,21	0,20	0,01	244,10	97,64	4527,67
2033	22217,31	0,9	24685,90	0,21	0,20	0,01	246,85	98,74	4626,41
2034	22468,61	0,9	24965,12	0,21	0,20	0,01	249,65	99,86	4726,27
2035	22723,02	0,9	25247,80	0,21	0,20	0,01	252,47	100,98	4827,25
2036	22979,90	0,9	25533,22	0,21	0,20	0,01	255,33	102,13	4929,38
2037	23239,89	0,9	25822,10	0,21	0,20	0,01	258,22	103,28	5032,60
2038	23502,98	0,9	26114,42	0,21	0,20	0,01	261,14	104,45	5137,05
2039	23768,87	0,9	26409,85	0,21	0,20	0,01	264,09	105,63	5242,68

**Fuente:**Elaboración propia.

El caudal que corresponde a la parte de la precipitación que escurre en forma superficial y que no alcanza a infiltrar a la masa de residuos sólidos, se calcula haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$Q_p = C \cdot P \cdot A$$

Donde:

C= Coeficiente de escorrentía

Q<sub>p</sub> = Caudal generado por la acción de las lluvias.

El coeficiente de escorrentía utilizado es de 0,35 debido a la impermeabilidad del suelo, obtenido de acuerdo con el siguiente cuadro.

**Cuadro 18.** Coeficientes de escorrentía para distintas superficies.

Componente del Área	Coeficiente de Escorrentía
Superficies de concreto (Calles)	0,80 a 0,95
Superficies de asfalto (Calles)	0,70 a 0,95
Superficies metálicas (Techos)	0,90 a 0,95
Prados en suelo firme con pendientes entre el dos y el siete por ciento (Áreas Verdes)	0,25 a 0,35
Prados en suelo arenoso con pendientes entre el dos y el siete por ciento (Áreas Verdes)	0,15 a 0,20
Prados en suelo arenoso con pendiente menor del dos (Áreas Verdes)	0,05 a 0,10

**Fuente:** Alfaro et al, 1992.

El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos de caudal de escorrentía, dividido por celdas.

**Cuadro 19.** Resultados del cálculo del caudal de escurrimiento superficial.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal de escurrimiento (m <sup>3</sup> /mes)	Caudal Acumulado (m <sup>3</sup> /mes)
1	974,14	9,46	9,46
2	848,74	8,24	17,7
3	1413,66	13,72	31,42
4	2201,53	21,37	52,79
5	456,47	4,43	57,22
6	2537,71	24,64	81,86
7-8	676,88	6,57	88,43

**Fuente:** Elaboración propia.

Para obtener el caudal de evaporación de utiliza la siguiente fórmula.

$$Q_e = \frac{Q_p \cdot \%EV}{100}$$

Donde:

%EV= Porcentaje de evaporación efectiva.

Q<sub>p</sub>= Caudal generado por la acción de las lluvias.

Según datos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional para el Cantón de Buenos aires, estación más cercana donde se cuenta con registros de brillo solar, este es de 5,2 horas. Además, según el estudio de impacto ambiental, se reporta que la zona tiene un promedio de 6 horas de brillo solar. Entonces, considerando 6 horas de brillo solar se obtiene un 25% de evaporación efectiva.

**Cuadro 20.** Caudal de evaporación.

Celda	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal de evaporación (m <sup>3</sup> /mes)	Caudal Acumulado (m <sup>3</sup> /mes)
1	974,14	6,75	6,75
2	848,74	5,88	12,63
3	1413,66	9,80	22,43
4	2201,53	15,27	37,70
5	456,47	3,16	40,86
6	2537,71	17,60	58,46
7-8	676,88	4,69	63,15

**Fuente:** Elaboración propia.

Al realizar el balance, es decir, sumar el caudal obtenido por la acción de las lluvias y la humedad de los lixiviados en m<sup>3</sup>/mes, y restar el caudal de escorrentía superficial y de evaporación en m<sup>3</sup>/mes, se obtiene un caudal de lixiviados de 538,04 m<sup>3</sup>/mes.

A partir de este caudal, se calcula el diámetro de las tuberías de recolección y evacuación de lixiviados del relleno sanitario, haciendo uso de Excel para los cálculos mediante las siguientes fórmulas.

Cálculo de la velocidad real, tirante real y fuerza tractiva.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{17,9 \text{ m}^3/\text{día}}{0,0381 \text{ m}} = 469,817 \text{ m/día} = 0,0544 \text{ m/s}$$

Donde:

Caudal (q) = 17,9 m<sup>3</sup>/día = 0,20717593 l/s

Pendiente (S) = 0,03

Coefficiente de manning (n) = 0,012

Radio hidráulico (R) = 0,0381 m

T = 1,14 kg/cm<sup>2</sup>

\*La fuerza tractiva mínima es de 0,10 kg/m<sup>2</sup>, preferiblemente mayor a 0,15 kg/m<sup>2</sup> y aún mejor mayor a 0,20 kg/m<sup>2</sup>.

Datos calculados:

Diámetro obtenido(D)= 0, 1524 m

Velocidad(V)= 1,634 m/s

$Q_{lleno} = 29, 8119$  l/s

Ángulo = 1,075520881

Tirante crítico real (d) = 0,010755023 m

Velocidad real (v) = 0,52474979 m/s

Radio hidráulico (R) = 0,006932013 m

Fuerza tractiva real (t) = 0,207960375 kg/m<sup>2</sup>

La tubería de conducción de lixiviados debe tener un diámetro de 15 cm, según los cálculos realizados, sin embargo, se utilizará un diámetro de 20 cm como factor de seguridad.

#### **15.1.6 Estimación de la producción de gases y sistema de evacuación**

La estimación del volumen de biogás en el relleno se realizó haciendo uso del Modelo de Biogás Centroamericano. Este modelo fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus cifras en inglés) de Estados Unidos, con el objetivo de calcular el volumen de biogás producido en rellenos sanitarios de Centroamérica.

Cabe mencionar que el programa se elaboró en una hoja de Excel y está basado en una ecuación de degradación de primer orden. Al modelo se le ingresan datos específicos del relleno sanitario como altura promedio, precipitación anual en la zona, crecimiento estimado de disposición anual y año de apertura. Además, este modelo asigna valores requeridos para k, que es el índice de generación de metano y para L<sub>0</sub>, que es la generación potencial de metano, definidos de acuerdo con el país, la composición de los desechos y el clima. La siguiente figura muestra los datos que se le deben ingresar al programa.



PROYECCIONES DE GENERACION DE BIOGAS		rellones extras). Necesitará hacer cambios a los títulos de la gráfica de resultados manualmente. Si no existiera la gráfica.	
RELLENO SANITARIO DE CORREDORES Y GOLFITO			
Pais	Costa Rica	1 = Belice; 2 = Costa Rica; 3 = El Salvador; 4 = Guatemala; 5 = Honduras; 6 = Nicaragua; 7 = Panama	
¿Existen Datos de Composición de Residuos específicos al Lugar?	No	Selecciono 'No' si no existen datos; Seleccione 'Si' si existen dato. Para utilizar los %, alimente las celdas.	
Año de Apertura:	2013	Alimentar el año en que el relleno sanitario empezó a recibir residuos.	
Crecimiento estimado de disposicion anual:	0.0%	Alimente el aumento anual estimado de crecimiento. Alimentacion de indices de disposicion annual en la celda.	
Precipitación Promedio Anual:	4.958	mm/año	www.worldclimate.com.
Profundidad promedio del relleno:	6.0	m	
Diseño y operacion del lugar	2	1 = Botadero sin controles; 2 = Relleno sanitario; 3 = Relleno semi-aerobico; 4 = Desconocido	
Contenido de Metano en el Biogás:	50%	Dejar el valor del contenido de metano a 50%. El Modelo asume la concentración de metano a 50% y el resto es CO <sub>2</sub> .	
Factor de Coreccion de Metano (MCF):	1.0	Calculado con la Tabla de Factor de Coreccion de Metano abajo	
residuos organicos de decaimiento rapido (k):	0.23	1/año	Utiliza 0.23 para lugares >=1000 mm/año de precipitacion; 0.20 para lugares 750-999 mm/año de precipitacion
residuos organicos de decaimiento lento (k):	0.028	1/año	Basado en la composicion de residuos
Indice de generacion final (L <sub>0</sub> ):	96.0	m <sup>3</sup> /Mg	Lo Total del lugar fue derivado del Lo Mexico Lo basado en proporcion de % de peso seco de total de residuos organicos
Residuos organicos de decaimiento rapido L <sub>0</sub> :	70.3	m <sup>3</sup> /Mg	Derivado de Lo del sitio total basado en proporcion de % de peso seco de materia organica rapido / % de peso seco de materia organica total
Residuos organicos de decaimiento lento L <sub>0</sub> :	199.8	m <sup>3</sup> /Mg	Derivado de Lo del sitio total basado en proporcion de % de peso seco de materia organica lento / % de peso seco de materia organica total

**Figura 35.** Hoja de alimentación del Modelo de Biogás Centroamericano.

**Cuadro 21.**Resultados proporcionados por el Modelo de Biogás Centroamericano.

Año	Indice de Disposición	Residuos Acumulados	Generación de Biogás		
	(Mg/año)	(Mg)	(m <sup>3</sup> /hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)
2013	18.000	18.000	0	0	0,0
2014	18.000	36.000	34	20	0,6
2015	18.000	54.000	63	37	1,1
2016	18.000	72.000	87	51	1,6
2017	18.000	90.000	108	63	1,9
2018	18.000	108.000	125	74	2,2
2019	18.000	126.000	140	82	2,5
2020	18.000	144.000	153	90	2,7
2021	18.000	162.000	164	97	2,9
2022	18.000	180.000	175	103	3,1
2023	18.000	198.000	184	108	3,3
2024	18.000	216.000	192	113	3,4
2025	18.000	234.000	199	117	3,6
2026	18.000	252.000	206	121	3,7
2027	18.000	270.000	213	125	3,8
2028	18.000	288.000	219	129	3,9
2029	18.000	306.000	225	132	4,0
2030	18.000	324.000	230	135	4,1
2031	18.000	342.000	235	138	4,2
2032	18.000	360.000	240	141	4,3
2033	18.000	378.000	244	144	4,4
2034	18.000	396.000	249	147	4,4
2035	18.000	414.000	253	149	4,5
2036	18.000	432.000	257	151	4,6
2037	18.000	450.000	261	154	4,7
2038	18.000	468.000	265	156	4,7
2039	18.000	486.000	269	158	4,8

**Fuente:**Modelo de Biogás Centroamericano.

De acuerdo con los resultados que brinda el programa, se obtuvo una producción de biogás de 196370 m<sup>3</sup>/mes. Cabe mencionar que para el biogás producido, se considera una composición de 50% de metano y el 50% restante corresponde en su mayoría a dióxido de carbono (EPA, 2007).

Se construirán 33 pozos de extracción de gas, conforme se vaya llenando cada celda, distribuidos en la parte central de las mismas.

Las tuberías del pozo son de 30 cm de diámetro la tubería exterior, y 10 cm la tubería interior. Entre dichas tuberías, la chimenea está rellena de piedra tercera limpia que funciona como material filtrante. En la parte superior de las tuberías se encuentra el quemador de gases.

### 15.1.7 Estimación de las dimensiones del drenaje pluvial

Para conocer el caudal de agua pluvial esperado, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Donde:

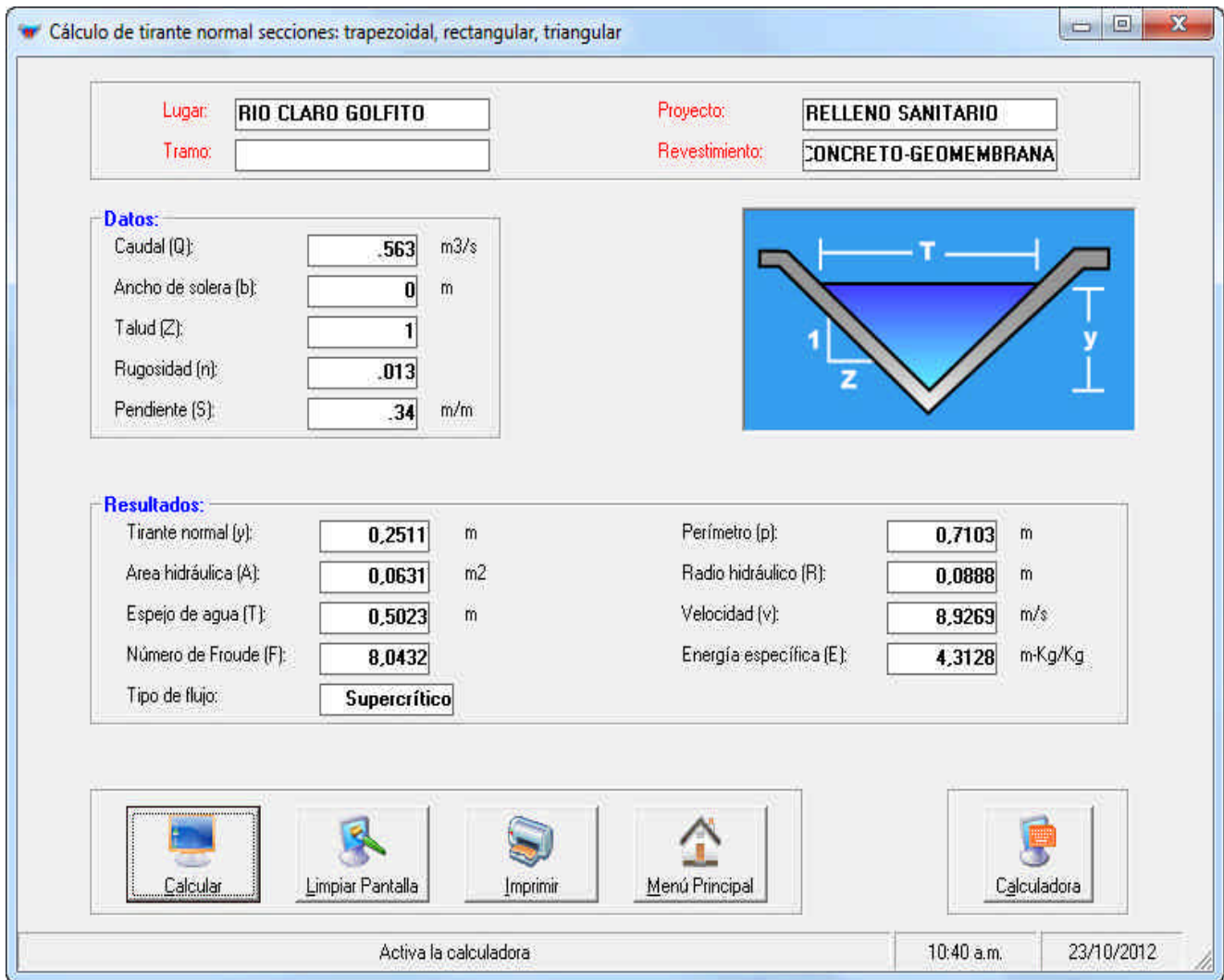
Q = Caudal que ingresa o máximo escurrimiento (m<sup>3</sup>/seg).

k = Coeficiente de escurrimiento, es adimensional.

i = Intensidad de la lluvia para una duración igual (mm/hora).

A = Área tributaria a drenar (m<sup>2</sup>).

Posteriormente, para calcular las dimensiones de los canales del drenaje se utilizó el programa HCANALES v3.0. Dicho programa se alimenta de ciertos datos específicos, entre ellos, el caudal calculado con la fórmula anterior. Posteriormente, ingresados estos datos el programa calcula las dimensiones del canal, tal como se muestra en la siguiente figura.



HCANALES v3.0

**Figura 36.** Dimensiones de los canales perimetrales

## 15.2 Manual de Operación y Mantenimiento

En este manual de operación y mantenimiento, se establecen las instrucciones a seguir para que el relleno sanitario opere bajo las mejores condiciones y a la vez, se evite cualquier accidente o interrupción a causa de un mantenimiento ineficiente. Además, se establecen las indicaciones necesarias para brindar las mejores condiciones laborales de los trabajadores, entre otros aspectos.

### 15.2.1 Jornada diaria de trabajo

El horario de funcionamiento del relleno sanitario será desde las 7 am hasta las 4 pm, de lunes a sábado. Por lo tanto, se trabajará 8 horas diarias.

### 15.2.2 Equipo necesario para la operación del relleno sanitario

El siguiente cuadro muestra el equipo requerido para una adecuada operación del relleno sanitario.

**Cuadro 22.** Equipo necesario para la operación del relleno sanitario.

Equipo	Descripción	Cantidad
Excavadora	Cuenta con una pala excavadora.	1
Tractor Compactador	Cuenta con una hoja topadora y rodillos compactadores.	1
Equipo de protección personal	Un paquete de EPP por persona y suficientes almacenados.	10
Vagonetas	Utilizadas para el transporte de la tierra removida.	2

**Fuente:** Elaboración propia.

### 15.2.3 Personal requerido para la operación del relleno sanitario

Para la operación del Relleno Sanitario se necesita mano de obra especializada y no especializada. Se espera que el personal a cargo del proyecto pertenezca a la zona, contribuyendo así a generar empleo a pobladores cercanos.

**Cuadro 23.** Personal necesario para la operación del relleno sanitario.

Personal	Cantidad
Ingeniero Ambiental y/o Ing. Civil	1
Regente Ambiental	1
Operador de equipo pesado	4
Guardas de seguridad y operador de báscula	3
Total	8

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **15.2.4 Control de acceso**

Los guardas de seguridad son los encargados de regular la entrada y salida al relleno sanitario. No deben permitir el ingreso de personas particulares, ajenas al personal que labora en el lugar, con excepción de las visitas autorizadas por el departamento de ingeniería a cargo de la operación del relleno sanitario.

#### **15.2.5 Operación de báscula**

La báscula de pesaje debe contar con un operador exclusivo para esta función, por lo que debe tener una pequeña caseta. El operador debe encargarse del pesaje de todos los camiones que ingresen al relleno sanitario con residuos a disponer en el mismo. Por ende, debe llevar el registro respectivo de los pesajes, con el objetivo de llevar control de la cantidad y origen de los residuos que ingresan diariamente al relleno sanitario.

#### **15.2.6 Disposición de desechos**

En este apartado se muestran los principales aspectos relacionados con la disposición diaria y adecuada de los residuos en el relleno sanitario.

##### **a. Tipo de residuos**

Es importante mencionar que los residuos que se recibirán en el relleno sanitario son considerados como residuos domiciliarios ordinarios. Sin embargo, debido a la presencia de hospitales y centros de salud en ambos cantones, se debe considerar la llegada de desechos

bioinfecciosos que deben ser dispuestos al lado contrario de la misma celda donde se inicia el vertido de residuos ordinarios.

Además, según el reglamento de rellenos sanitarios es obligatorio que estos residuos reciban tratamiento previo en los centros de salud, ya que deben llegar esterilizados y debidamente encapsulados, de manera que no representen peligro para los operadores del relleno sanitario. La Municipalidad debe velar por el estricto cumplimiento con estas medidas de seguridad por parte de los centros de salud.

Por otro lado, se deben revisar los camiones recolectores ajenos a la Municipalidad que ingresan al relleno sanitario, que transportan desechos de algunas empresas locales. Esto debido a la importancia de regular el tipo de desechos que se dispondrán en el relleno, tales como escombros industriales o desechos peligrosos sin previo tratamiento, que no deben disponerse en un relleno sanitario según el reglamento respectivo, sin embargo, son comúnmente generados en la zona.

#### **b. Separación de residuos**

Debido a la formación en educación ambiental que se le está brindando a la población y las capacitaciones sobre la clasificación de los residuos desde la fuente de origen, se espera que los desechos reciclables sean traídos al relleno sanitario en un camión diferente al que recoge los residuos normalmente, de manera separada. Así, los reciclables serían dejados en el centro de acopio donde va a realizarse la clasificación y recuperación respectiva.

Por otro lado, dentro de lo posible, se recuperará material de los camiones que traen los desechos ordinarios, siempre y cuando las condiciones lo permitan y se realice en el centro de acopio, por ningún motivo debe haber recolectores dentro de los frentes de trabajo. Una vez ingresado el material recuperable al centro de acopio, se debe seleccionar, almacenar y posteriormente vender a un gestor adecuado. Cuando se alcance cierto volumen de material recuperable, este debe ser vendido rápidamente para evitar la sobre acumulación en el centro de acopio.

El centro de acopio debe contar con una brigada contra incendios y un plan de emergencias. Además, debe tener al menos una ducha y servicio sanitario. Las personas q laboran ahí,

deben ducharse antes de salir del relleno sanitario, luego de concluir su horario laboral, al igual que deben lavarse las manos frecuentemente y de manera adecuada. En fin, las instalaciones del lugar deben cumplir con la legislación aplicable para centros de recuperación de materiales.

Por otro lado, el personal a cargo de la segregación de residuos debe utilizar adecuadamente su equipo de protección personal y estar vacunados contra las posibles enfermedades a las que se podrían enfrentar. Además, deben estar capacitados para el uso de equipo y para conocer los riesgos a la salud que representa exponerse diariamente a los residuos.

Los recolectores deben llevar registros de la cantidad y tipo de material reciclable recuperado y vendido. Por ende, se debe llevar un registro también de los gestores a los que se les entrega el material, la ubicación y descripción de los mismos, para asegurar que el reciclaje se está aprovechando adecuadamente.

### **c. Llenado de celdas**

El procedimiento de llenado de celdas iniciará con el depósito de residuos en la celda 1 ubicada al lado sureste del terreno dispuesto para la construcción del relleno sanitario. Se contará con un área de trabajo diario de 10 x 10m y los residuos en la celda diaria pueden alcanzar una altura de 1,5 m máximo, que corresponde al espesor de trabajo diario. Alcanzada esta altura, diariamente se debe colocar una capa de material de cobertura de 0,15 m. Además, se deben compactar los desechos en capas de 60 cm de espesor, según indica el reglamento de rellenos sanitarios.

Una vez alcanzada la altura máxima de la celda, se debe continuar el llenado en la celda 2, adjunta a la celda 1 y ubicada al oeste de la misma. Es importante mencionar que la celda 2 debe ser construida justo antes de que concluya la vida útil de la celda 1, procedimiento que se seguirá con las siguientes celdas a llenar. Por lo tanto, se inicia con el llenado de la celda 1, luego la celda 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 respectivamente.



#### **d. Material de cobertura**

Parte del material necesario para la cobertura diaria de los residuos se obtendrá de los movimientos de tierra que se deben realizar para la construcción de celdas y preparación del terreno. Sin embargo, los movimientos de tierra no serán suficientes, por lo que se tomará material de cobertura de un terreno vecino que pertenece a la Municipalidad de Golfito.

El siguiente cuadro muestra la cantidad de material que se debe remover para el recubrimiento diario de los residuos, considerando que este material representa el 20% del volumen total compactado.

**Cuadro 24.** Material de cobertura requerido para cada celda.

Celda	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Volumen de cobertura (m <sup>3</sup> )
1	48707,17	9741,43
2	42437,08	8487,41
3	77751,03	15550,20
4	121083,88	24216,77
5	30127,02	6025,40
6	167488,77	33497,75
7	47381,33	9476,26
Total	534976,28	106995,22

**Fuente:** Elaboración propia.

Se debe cumplir estrictamente con el cubrimiento diario de los residuos en las celdas con una capa de 0,15 m de tierra. Esto se realiza con el objetivo de disminuir la generación de olores y evitar la proliferación de insectos, roedores y aves que atentan contra la salud pública y pueden originar molestias en los pobladores cercanos.

#### **e. Operación del relleno sanitario**

Se debe considerar la importancia del sistema de evacuación de lixiviados a la hora de iniciar el proceso de llenado de celdas, ya que este sistema cuenta con una

impermeabilización previa que puede ser afectada por la primera capa de residuos que se deposite en el relleno sino se seleccionan previamente (Chavarría, 2011).

Por lo tanto, se debe colocar una capa conformada por residuos seleccionados, puede ser de aproximadamente de 0,5 m de espesor compactado. Además, es necesario que se depositen primeramente desechos de menor peso y que no representen peligro para el drenaje de lixiviados y la impermeabilización del terreno. Posteriormente, encima de la capa compactada se colocarán los residuos restantes hasta alcanzar la altura de celda diaria de 1,5 m.

En cuanto al nivel del terreno, es necesario que las celdas cuenten con una pendiente al menos de 1%. La pendiente de las celdas juega un papel importante, pues contribuye a la recolección y evacuación adecuada de los lixiviados por medio de los drenajes dispuestos para tal fin. Además, los taludes de cada celda tendrán una pendiente de 3:1 que contribuye a la estabilidad final del terreno.

Es importante tomar en cuenta el trabajo que realiza la maquinaria dentro del relleno sanitario. El esparcimiento y compactación de los residuos debe cumplir con los parámetros mencionados anteriormente, de manera que se debe vigilar por la formación de espesores adecuados de capa de residuos y se contribuya de esta manera a aumentar la vida útil del relleno sanitario.

#### **f. Cierre técnico de cada celda**

Una vez agotada la vida útil de la celda en que se están depositando los residuos, se debe realizar el respectivo cierre técnico. Este se realizará una vez que se haya alcanzado la altura suficiente que debe tener cada celda.

El cierre técnico consiste en colocar una capa de material de cobertura de 0,80 m, de los cuales los últimos 0,20 m deben ser un material que permita el crecimiento de vegetación como zacate o plantas de pequeña altura. Esta última capa de 0,80 m de material de cobertura debe ser arcilla, de muy baja permeabilidad y bien compactada, para que el ingreso de aguas de escorrentía a las celdas sea casi nulo.

Por otro lado, la capa final de 0,20 m se coloca con el objetivo de reducir la infiltración, evitar la erosión de la superficie final por medio de la siembra de zacate y plantas y además, brindarle al relleno sanitario una imagen paisajística y estéticamente agradable.

Por consiguiente, de no contar con material de cobertura que reúna estas características se debe colocar una geomembrana, normalmente usada en rellenos sanitarios, que puede ser similar a la utilizada para la impermeabilización previa de las celdas.

### **15.2.7 Mantenimiento y Servicio**

#### **a. Habilitación de espacios de trabajo**

Es importante habilitar los frentes de trabajo en las celdas diariamente, para evitar desorden durante el llenado y la compactación de los residuos. Además, se debe suministrar el espacio necesario para que los camiones y maquinaria puedan realizar su trabajo y cualquier maniobra que se presente. La descarga de los residuos se debe realizar alejada del frente de trabajo, evitando así que los vehículos recolectores interfieran en las actividades de la maquinaria pesada dentro de la celda.

Por ningún motivo, se debe permitir la estadía de recolectores o personal a cargo de la clasificación de residuos, dentro de los frentes de trabajo.

#### **b. Transporte interno**

El material de cobertura extraído debe ser transportado por medio de una o dos vagonetas, a un lugar donde no sea arrastrado con mucha intensidad por el agua de lluvia y debe traerse conforme se va necesitando dicho material. Estas vagonetas, ya sean de la municipalidad o alquiladas, deben estar en condiciones óptimas para realizar las labores en el relleno sanitario.

Los residuos serán depositados en la celda respectiva, por medio de los camiones recolectores. No obstante, una vez depositados los residuos debe intervenir la excavadora y el tractor compactador, no siempre de manera simultánea, pues ambos sirven para acomodar y compactar los residuos aunque uno sea más especializado que el otro para cierta función.

Además, se debe cumplir con el estricto chequeo y mantenimiento de la maquinaria y limitar estos equipos a realizar únicamente las actividades mencionadas en el diseño.

### **c. Mantenimiento de Instalaciones**

#### **i. Carreteras Internas**

Es de suma importancia que se le brinde el mantenimiento constante a las carreteras dentro del relleno sanitario, principalmente en época de invierno. Esto con el objetivo de evitar atrasos en la operación al dificultar el tránsito de los camiones y maquinaria e incluso evitar posibles accidentes.

Por el contrario, en época de verano, se recomienda el riego de las calles para evitar la generación de polvo que puede afectar tanto a los trabajadores como a los pobladores ubicados en la entrada principal al relleno sanitario.

#### **ii. Báscula**

La báscula es de suma importancia en un relleno sanitario para llevar el control del ingreso de residuos al relleno sanitario, por lo tanto se recomiendan las siguientes medidas:

- Calibrar constantemente la báscula.
- Brindarle servicio de mantenimiento como engrasado y revisión mecánica.
- Vigilar que no ingresen residuos, lodo u otro material que pueden afectar su funcionamiento, al igual que mantener limpios los alrededores.

#### **iii. Áreas administrativas e instalaciones complementarias**

Se deben revisar constantemente todas las instalaciones e infraestructura dentro del relleno sanitario, para evitar el deterioro o alguna situación de emergencia. Por consiguiente, se deben realizar actividades de limpieza en las oficinas administrativas, limpieza y pintado de paredes al menos una vez al año. Además, se deben revisar periódicamente las instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas para evitar cualquier inconveniente o falla que afecte la imagen o aceptación pública del lugar.

#### **iv. Estética del relleno sanitario**

El mantenimiento de las áreas verdes dentro del relleno sanitario es indispensable, para que sea físicamente aceptable por las visitas. Para esto, se debe realizar riego constante, principalmente en verano, se deben apodar las plantas y chapear el césped.

Luego del cierre técnico de cada celda, se debe cuidar el césped y/o plantas sembradas sobre la cobertura final, propiamente dentro del relleno sanitario. Se debe realizar riego de ser necesario, para mantener la superficie verde y el relleno sanitario pueda conservar un ambiente paisajístico y agradable.

Es importante mantener árboles y vegetación en los alrededores del relleno sanitario para que sirvan de barrera contra el viento, disminuyendo la velocidad de éste y contribuyendo así al control de malos olores y ruido. También, se debe estudiar la dirección del viento por la importancia que tiene en diseminación de contaminantes al aire y a lugares vecinos.

#### **v. Malla perimetral**

La malla perimetral es la barrera que impide el ingreso de personas ajenas al relleno sanitario o de animales que transitan en las cercanías del lugar. El mantenimiento de esta consiste básicamente en la revisión periódica y en caso de encontrar un agujero o daño se debe reparar inmediatamente, incluso si se trata de un hoyo en el suelo.

#### **vi. Canales de aguas de escorrentía**

Se deben revisar constantemente los canales perimetrales de evacuación de agua pluvial, con el objetivo de evitar obstrucciones por material de arrastre, principalmente en invierno, o algún tipo de deterioro. De encontrar alguna anomalía, se debe solucionar o reparar inmediatamente.

#### **vii. Drenaje de lixiviados**

En caso de detectar fugas de lixiviados durante las revisiones periódicas que se realizan en las celdas, se deben hacer drenajes que contengan tuberías aptas para la evacuación adecuada de estos lixiviados.

### **viii. Evacuación de gases**

Se deben realizar revisiones periódicas a los quemadores de gas en las chimeneas, ya que estos debido a la exposición al calor se deterioran constantemente y por lo tanto, se deben cambiar.

#### **15.2.8 Situaciones de emergencia y posibles dificultades**

Se deben considerar las posibles eventualidades durante la época lluviosa, ya que aumenta el caudal de aguas de escorrentía. Este aumento, ya sea por condiciones normales o anormales, puede ocasionar el ingreso de agua a las celdas, generando así un aumento en el caudal de lixiviados y además, podría dificultar la operación de la maquinaria en el relleno sanitario. Entonces, se debe desviar el agua pluvial adecuadamente, evitar la entrada de esta a las celdas y mantener los canales de evacuación en buen estado.

Se debe contar con un plan de emergencias en caso de ocurrir un incendio. Es evidente, que este es un peligro que está presente todos los días debido a la producción de metano y a la presencia de quemadores en la salida de gases. Por lo tanto, se debe contar con un hidrante o suministro de agua, capaz de abastecer una situación de emergencia de este tipo y además, una brigada contra incendios.

Por otro lado, es importante que se cuente con un estudio de riesgos de seguridad en el relleno sanitario, con el fin de aplicar medidas de prevención, corrección y mitigación en todas las actividades y evitar así el riesgo de accidentes laborales y a la vez, contar con un plan de emergencias.

Otra posible dificultad, se puede presentar por el deterioro o daño de la maquinaria. Por lo tanto, se debe ser estricto con el mantenimiento de la maquinaria, ya que una falla inesperada puede causar atrasos con la distribución o ineficiencia en la compactación de los residuos y por ende, en la vida útil del relleno sanitario.

En un relleno sanitario es de suma importancia el control de olores, principalmente por las molestias que pueden ocasionar a los vecinos del lugar, siendo este uno de los objetivos de cubrir diariamente los residuos. En consecuencia, es indispensable el cumplimiento estricto

con el tapado diario de los residuos, si de igual manera se generan olores o plagas se debe recurrir al uso de microorganismos eficientes u otro tipo de control de plagas y olores.

El material de cobertura proveniente de los movimientos de tierra, dentro de lo posible, debe disponerse en un lugar donde sea arrastrado lo menos posible por las aguas de escorrentía que provienen de las áreas vecinas o de las partes más altas del terreno.

### **15.2.9 Reportes Operacionales**

Según lo estipulado en el reglamento de rellenos sanitarios, se deben presentar reportes operacionales trimestralmente. Dichos reportes, deben contener los siguientes puntos.

- Promedio diario y mensual de ingreso de residuos al relleno sanitario.
- Promedio diario y mensual de ingreso de residuos, clasificando así los residuos por origen, peso y tipo.
- Presentar mensualmente los resultados del análisis de laboratorio realizado a las aguas residuales. Estos análisis deben incluir los siguientes parámetros:
  - ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20</sub>).
  - ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO).
  - ✓ Potencial de hidrógeno (pH).
  - ✓ Sólidos totales (ST).
  - ✓ Cromo total (Cr).
  - ✓ Plomo (Pb).
  - ✓ Mercurio (Hg).
  - ✓ Níquel (Ni).

Se deben llevar registros diarios detallados, ordenados y claros que permitan la consulta para la redacción de los reportes trimestrales. Por otro lado, se contratará a un laboratorio debidamente certificado y que garantice confidencialidad.

### 15.3 Datos Climatológicos

**Cuadro 25.** Datos meteorológicos de la estación del IMN en Río Claro de Golfito

<b>0</b>														
<b>INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL</b>														
<b>GESTION DE INFORMACION Y COMERCIALIZACION</b>														
<b>PROMEDIOS MENSUALES</b>														
<b>ESTACION</b>		<b>INA - RIO</b>		<b>CLARO</b>		No. 100024		Lat. 08°40' N		Long. 83° 03' O		Altitud 56 Metros.		
<b>Elementos</b>	<b>Periodos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiem.</b>	<b>Octubr.</b>	<b>Noviem.</b>	<b>Diciem.</b>	<b>Anual</b>
<b>LLUVIA</b>	1985-2009	137,4	104,2	172,4	279,7	512,4	470,5	527,5	595,1	621,9	693,7	536,0	259,6	<b>4910,4</b>
<b>DIAS LLUVIA</b>	1985-2009	11	8	11	17	24	24	23	25	26	26	26	17	<b>238</b>
<b>TEM.MAX</b>	1988-2009	32,2	33,1	33,5	32,8	31,7	31,3	31,2	31,2	31,2	30,7	30,5	31,4	<b>31,7</b>
<b>TEM.MIN.</b>	1988-2009	21,2	21,4	22,0	22,5	22,5	22,2	22,1	22,0	22,0	22,0	22,0	21,5	<b>22,0</b>
<b>TEM.MED</b>	1988-2009	26,7	27,3	27,8	27,7	27,1	26,8	26,7	26,6	26,6	26,4	26,3	26,5	<b>26,8</b>
Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por M <sup>2</sup> . Temperaturas en Grados Celsius Días con Lluvia =>0,1 Elaboró: AErak <span style="float: right;">Operada por el IMN.</span>														

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2009.



**Cuadro 26.** Datos meteorológicos de la estación del IMN en Golfito.

<b>GOLFITO</b>															
INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL DEPARTAMENTO DE INFORMACION PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS ( DE 0 A 24 HORAS)															
ESTACION		GOLFITO		No.100003			Lat.08°38' N			O		Long. 83° 10'		Altitud 6 m.	
Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Anual	
<b>LLUVIA</b>	1998-09	157,2	130,9	174,3	216,8	452,5	357,1	403,4	472,9	552,1	480,6	284,9	305,2	<b>3987,9</b>	
<b>DIAS LLUVIA</b>	1998-09	17	12	16	18	24	27	27	26	26	28	27	22	<b>270</b>	
<b>TEM.MAX.</b>	1998-09	29,5	29,8	30,2	29,8	29,2	29,1	29,1	29,2	29,2	29,2	28,4	29,3	<b>29,3</b>	
<b>TEM.MIN.</b>	1998-09	23,1	23,1	23,7	24,0	23,7	23,5	23,4	23,3	23,3	23,2	23,2	23,2	<b>23,4</b>	
<b>TEM.MED,</b>	1998-09	26,3	26,5	27,0	26,9	26,5	26,3	26,3	26,3	26,3	26,2	25,8	26,3	<b>26,4</b>	
<b>VIENTO</b>	1998-09	6,3	6,7	6,6	5,9	5,3	5,2	5,3	5,6	5,7	5,2	5,0	5,5	<b>5,7</b>	
<b>HUMEDAD</b>	1998-09	84	85	85	87	90	89	90	90	90	92	92	89	<b>89</b>	
<p>Días Con Lluvia =&gt;.0,1mm.                      Viento en km/h                      Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por m².                      Viento predominante del Norte                      Temperaturas en Grados Celsius                      Estación Automática operada por el IMN.</p>															

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2009.

**Cuadro 27.** Datos meteorológicos de la estación del IMN en PINDECO, Buenos Aires.

<b>INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL                      GESTION DE INFORMACION Y COMERCIALIZACION                      PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS</b>														
ESTACION		PINDECO Bnos.Aires			No. 98027		Lat. 09 ° 08' N		Long. 83 ° 20' O		Altitud 397 Metros			
Elementos	Periodos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiem.	Octubr.	Noviem.	Diciem.	Anual
<b>LLUVIA</b>	1985-2004	35,3	24,3	71,4	209,0	408,3	410,6	350,9	434,0	51,7	514,6	271,8	64,4	<b>2846,3</b>
<b>TEM.MAX</b>	1985-2004	31,7	32,9	33,3	32,3	30,7	30,2	29,9	30,2	30,0	29,6	29,5	30,5	<b>30,9</b>
<b>TEM.MIN.</b>	1985-2004	19,3	19,1	19,8	21,0	21,3	21,1	20,9	20,9	20,7	20,9	20,9	20,2	<b>20,5</b>
<b>TEM.MED</b>	1985-2004	25,5	26,0	26,6	26,7	26,0	25,7	25,4	25,6	25,4	25,3	25,2	25,4	<b>25,7</b>
<b>B.SOLAR</b>	1985-2004	7,8	8,3	7,7	6,0	4,2	3,6	3,5	3,8	3,7	3,7	4,2	5,8	<b>5,2</b>
<b>RADIACION</b>	1985-2004	17,7	20,0	19,1	18	16,7	16,0	15,7	16,5	16,9	15,5	15,8	16,2	<b>17,0</b>
<b>HUMEDAD</b>	1985-2004	77	74	75	79	83	84	83	85	86	86	86	82	<b>82</b>
<b>VIENTO</b>	1985-1997	5.0(SO)	5.7(SO)	5.7(SO)	4.8(SO)	4.5(O)	4.6(O)	4.2(SO)	4.4(O)	4.4(O)	4.2(O)	3.9(SO)	4.2(SO)	<b>4.7(SO)</b>
<b>EVAPORACION</b>	1972-1984*	4,1	5,1	4,4	4,5	3,5	3,2	3,5	3,6	3,3	3,4	3,3	3,3	<b>3,8</b>
Lluvia en Milímetros - 1Mm. = 1 Litro por M <sup>2</sup> .		Temperaturas en Grados Celsius					Brillo Solar en Horas y Décimas de Hora							
Radiación Solar Global en Megajulius por M <sup>2</sup>		Humedad Relativa en %					Viento en Kilómetros por Hora							
Elaboró: AErak		Evaporación en mm. * Datos de La Piñera					(rosa de los vientos,dirección predominante)							
							<b>Operada por el IMN.</b>							

**Fuente:** Instituto Meteorológico Nacional, 2004.