

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

**“Propuesta de Diseño del Vertedero Controlado en Cóbano, Puntarenas, Costa Rica”**

Sophía Teresita Cruz Godínez

CARTAGO, JULIO, 2019



**Propuesta de Diseño de un Vertedero Controlado para el Distrito de Cóbano,  
Puntarenas, Costa Rica.**

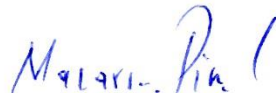
Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

**Miembros del tribunal**



**Ing. Jorge Calvo Gutiérrez**  
Director

**Ing. Alberto Vásquez Granados**  
Lector 1



**Ing. Macario Pino Gómez**  
Lector 2



**MSc. Diana Zambrano Piamba**  
Coordinador COTRAFIG



**MGA. Ricardo Coy Herrera**  
Director Escuela de Química



**MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga**  
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia quienes han sido mi principal apoyo y sostén, especialmente a mi madre que con su amor, tiempo y entrega nos ha dado una excelente vida a mis hermanos y a mí, por enseñarnos a perseguir nuestros sueños aplicando la excelencia en cada acción. También a las amistades que he sembrado todos estos años universitarios a los que les debo mis más profundos agradecimientos por su compañía en los ratos difíciles y en los momentos alegres que la vida estudiantil nos presentó. A la Universidad Austral de Chile prestigioso centro educativo superior donde realicé mi intercambio estudiantil, todos los aprendizajes en biología marina los llevo siempre presentes, y a todas las personas especiales que conocí durante mis seis meses de estancia. A las personas que con sus palabras de aliento me motivaron a seguir adelante y a creer en mí misma. Gracias a todos los que de alguna forma han sido parte de esta etapa pues me han ayudado a buscar mi mayor potencial y lo más importante ser feliz.

*«El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo. Su objetivo final es el dominio completo de la mente sobre el mundo material y el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza a favor de las necesidades humanas.»*

*-Nikola Tesla*

## **AGRADECIMIENTOS**

Extiendo mis agradecimientos en primer lugar a mi tutor el Ingeniero Jorge Calvo por su guía en este complejo proceso, al Ingeniero Alberto Vásquez y al Concejo Municipal de Cóbano por abrirnos las puertas para realizar este Trabajo Final de Graduación, al Ingeniero Steve Calvo por su apoyo técnico al inicio del proyecto. Agradecimientos especiales al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) por la ayuda brindada en el análisis de las muestras. A cada uno de los profesores que me han ayudado en mi formación profesional y en especial a la Carrera de Ingeniería Ambiental por las enseñanzas que inculcan en cada estudiante para convertirnos en agentes de cambio.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1.1	Objetivo general	18
2.1.2	Objetivos específicos	18
<b>3</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>18</b>
3.1	<i>SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS BOTADEROS A CIELO ABIERTO</i>	18
3.2	<i>ASPECTOS GENERALES</i>	20
3.2.1	Los residuos no ordinarios	22
3.2.1.1	Residuos peligrosos	23
3.2.1.2	Residuos médicos	23
3.2.1.3	Residuos electrónicos	24
3.2.2	Impactos por la presencia de los botaderos	25
3.3	<i>EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL</i>	27
3.4	<i>CIERRE TÉCNICO</i>	29
3.4.1	Barreras en el cierre técnico de un vertedero	30
3.4.2	Aspectos técnicos para la conversión del botadero a un sitio controlado	31
3.4.2.1	Composición de los residuos	31
3.4.2.2	Condiciones hidrológicas, geológicas y topográficas del sitio	32
3.4.2.3	Métodos de construcción de rellenos sanitarios	32
3.4.2.4	Diseño de la celda	33
3.4.2.5	Materiales geosintéticos	35
3.4.2.6	Maquinaria	35
3.4.2.7	Manejo de lixiviados	36
3.4.2.8	Gestión de gases del vertedero	38
3.4.2.9	Gestión de aguas pluviales	38
3.4.2.10	Monitoreo de la calidad del agua	39
3.4.2.11	Otros aspectos	40
3.4.2.12	Revegetación del sitio y gestión a largo plazo	41
3.4.2.13	Monitoreo después del cierre	41
3.4.3	Restauración del vertedero	42
3.4.4	Costos y financiamiento	43
<b>4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>46</b>
4.1	<i>LUGAR DE ESTUDIO</i>	46

4.1.3	Determinación del impacto por lixiviados en el río Bizcoyol	48
4.1.4	Diseño del vertedero controlado	50
4.1.4.1	Levantamiento topográfico	50
4.1.4.2	Proyección de la población futura	50
4.1.4.3	Dimensiones del vertedero	51
4.1.4.4	Estimación de la generación de lixiviados	52
4.1.4.5	Cálculo de los caudales de agua pluvial	55
4.1.4.6	Diseño de los elementos del vertedero: celdas, tuberías de lixiviados, drenaje pluvial, chimeneas de gases.	55
4.1.5	Elaboración del Manual de Mantenimiento y Operación	57
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>58</b>
5.1	<i>DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR LIXIVIADOS EN EL RÍO</i>	58
5.2	<i>DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS SÓLIDOS</i>	61
5.3	<i>SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS</i>	63
5.4	<i>SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GASES</i>	66
5.5	<i>RED DE DRENAJE PLUVIAL</i>	69
5.6	<i>COSTOS DEL PROYECTO</i>	72
5.7	<i>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</i>	78
5.7.1	Disminución de los residuos sólidos	78
5.7.2	Recepción de residuos sólidos	78
5.7.3	Maquinaria	79
5.7.4	Frente de trabajo	80
5.7.5	Descarga de residuos sólidos	81
5.7.6	Conformación de las celdas	81
5.7.7	Material de cobertura	82
5.7.8	Control y monitoreo de elementos del vertedero	84
5.7.8.1	<i>Control de los residuos sólidos</i>	84
5.7.8.2	<i>Olor</i>	84
5.7.8.3	<i>Polvo</i>	84
5.7.8.4	<i>Incendios</i>	84
5.7.8.5	<i>Ruido</i>	85
5.7.8.6	<i>Impacto Visual</i>	85
5.7.8.7	<i>Control de vectores de enfermedades</i>	86
5.7.9	Recurso Humano	86

5.7.10	Seguridad Laboral	86
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>89</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>91</b>
	<b>APÉNDICES</b>	<b>104</b>
	<i>Apéndice 1. VISITAS AL SITIO</i>	<i>104</i>
	<i>APÉNDICE 2. MUESTREO DEL RÍO</i>	<i>107</i>
	<i>APÉNDICE 3. CÁLCULOS DE VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO</i>	<i>108</i>
	<i>APÉNDICE 4. CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA GENERACIÓN DE LIXIVIADOS</i>	<i>109</i>
	<i>APÉNDICE 5. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA</i>	<i>113</i>
	<i>APÉNDICE 6. DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL</i>	<i>115</i>
	<i>APÉNDICE 7. DISEÑO DE TUBERÍAS DE LIXIVIADOS</i>	<i>117</i>
	<i>APÉNDICE 8. DISEÑO DEL VERTEDERO CONTROLADO</i>	<i>118</i>
	<b>ANEXOS</b>	<b>126</b>
	<i>ANEXO 1. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LAS ESTACIONES CERCANAS AL BOTADERO</i>	<i>126</i>
	<i>ANEXO 2. TABLA DE THORNTHWAITE</i>	<i>129</i>
	<i>ANEXO 3. TIPOS DE SUELO DE COSTA RICA</i>	<i>130</i>
	<i>ANEXO 4. ACTAS DE INSPECCIÓN</i>	<i>131</i>
	<i>ANEXO 5. MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL VERTEDERO</i>	<i>132</i>
	<i>ANEXO 6. INFORMES DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.</i>	<i>133</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Construcción de celdas en un relleno sanitario .....	34
Figura 2.1 Mapa del vertedero en el distrito de Cóbano, Puntarenas. ....	46
Figura 3.1. Vista lateral suroeste del depósito de residuos sólidos. ....	62
Figura 3.2 Impermeabilización del vertedero.....	63
Figura 3.3 Sistema de recolección de lixiviados. ....	65
Figura 3.4 Sección transversal de las tuberías de recolección de lixiviados. ....	66
Figura 3.5 Sistema de recolección de gases. ....	67
Figura 3.6 Perfil longitudinal del cuerpo de la chimenea.....	68
Figura 3.7 Quemador de gas.....	69
Figura 3.8 Corte transversal del canal de drenaje pluvial.....	70
Figura 3.9. Vista superior del sistema de drenaje pluvial.....	71
Figura A.1.1 Entrada del terreno. ....	104
Figura A.1.2. Residuos sólidos cubiertos por la vegetación.....	104
Figura A.1.3. Montículo de residuos sólidos.....	105
Figura A.1.4. Residuos de construcción en la entrada del botadero.....	105
Figura A.1.5 Presencia de residuos eléctricos en el botadero. ....	105
Figura. A.1.6 Presencia de residuos sólidos nuevos.....	106
Figura A.1.7 Dron utilizado para hacer el levantamiento topográfico. ....	106
Figura A.2.1. Fotos de los sitios de muestreo.....	107
Figura A.2.2. Ubicación de puntos de muestreo en Google Maps. ....	107
Figura A.5.1 Ingreso de datos y resultados obtenidos de intensidades máximas a partir del software HidroEsta para la estación de Paquera.....	113
Figura A.5.2. Resultados y gráfico de intensidad – duración – frecuencia de la Estación de Paquera. ....	114
Figura A.5.1 Ingreso de datos y resultados obtenidos de intensidades máximas a partir del software HidroEsta para la estación de Cabuya. ....	114
Figura A.5.2. Resultados y gráfico de intensidad – duración – frecuencia de la Estación de Cabuya.....	115
Figura A.6.1. Dimensiones del canal final. ....	116
Figura A.8.1 Morfología del vertedero controlado.....	118



Figura A.8.2. Perfil lateral del proyecto (vista oeste).....	118
Figura A.8.3 Perfil lateral del proyecto (vista sur).....	119
Figura A.8.4 Plano de sistema de recolección de gases. ....	120
Figura A.8.5. Plano de sistema de recolección de lixiviados. ....	121
Figura A.8.6. Perfil del primer canal. ....	122
Figura A.8.7. Perfil del canal 2.....	123
Figura A.8.8. Perfil canal 3.....	124
Figura A.8.9. Perfil canal 4.....	125
Figura B.2.1 Tabla de Thornthwaite para una capacidad de retención de humedad de 400 mm.....	129
Figura B.3.1 Mapa de subórdenes de suelo de Costa Rica.....	130
Figura B.4.1. Actas de inspección de los muestreos en el río Bizcoyol.....	131
Figura B.5.1. Maquinaria requerida en el vertedero.....	132
Figura B.5.1. Informe de resultados de análisis de primer muestreo. ....	133
Figura B.6.2. Informe de resultados de análisis de segundo muestreo.....	134
Figura B.6.3. Informe de resultados de análisis de tercer muestreo. ....	135
Figura B.6.4. Informe de resultados de análisis de cuarto muestreo. ....	136

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Diferencias entre distintos sitios de disposición final.....	21
Cuadro 1.2. Clasificación de los lixiviados de acuerdo a los cambios en la composición...	37
Cuadro 2.1 Métodos utilizados para determinar las concentraciones de los parámetros físicoquímicos en el agua residual.....	48
Cuadro 2.2. Dimensiones de la tubería circular. ....	56
Cuadro 2.3. Simbología de los parámetros de las fórmulas hidráulicas.....	56
Cuadro 3.1. Resultados de análisis físicoquímicos del río Bizcoyol para los muestreos 1 y 2. ....	58
Cuadro 3.2. Resultados de análisis físicoquímicos del río Bizcoyol de los muestreos 3 y 4. ....	60
Cuadro 3.3 Caudales de agua de lluvia generados en el vertedero.....	69
Cuadro 3.4 Características constructivas de los canales.....	71
Cuadro 3.5 Inversión en el movimiento de tierra .....	72
Cuadro 3.6 Inversión asociada a la construcción de la base de la geomembrana .....	72
Cuadro 3.7 Inversión en el sistema de evacuación de gases y lixiviados.....	72
Cuadro 3.8 Inversión en geosintéticos.....	73
Cuadro 3.9 Inversión en cunetas, cajas de registro y cabezales de desfogue .....	73
Cuadro 3.10 Inversión en maquinaria .....	73
Cuadro 3.11 Resumen de inversión total.....	74
Cuadro 3.12 Desglose de costos de operación del vertedero. ....	74
Cuadro 3.13 Datos de financiamiento .....	77
Cuadro 3.14 Flujos de inversiones .....	78
Cuadro 3.12 Cálculo de depreciación del equipo. ....	79
Cuadro 3.13 Equipo de protección personal en vertederos de residuos sólidos.....	87
Cuadro 3.14 Peligros comunes en el relleno sanitario con sus respectivos controles.....	88
Cuadro A.3.1. Matriz para estimar la vida útil del proyecto. ....	108
Cuadro A.4.1. Estimación de la evaporación potencial por el método de Tosso. ....	109
Cuadro A.4.2. Balance hídrico para estimar la generación de lixiviados.....	110
Cuadro A.6.1. Caudales generados en el relleno sanitario. ....	116

Cuadro A.6.2. Resultados obtenidos del software HCANALES para cada tramo del sistema de drenaje pluvial.....	117
Cuadro A.7.1. Características de las tuberías de lixiviados.....	117
Cuadro B.1.1 Datos de cantidad de lluvia mensual (mm).....	126
Cuadro B.1.2 Datos mensuales de los días de lluvia ( $\geq 0,1$ mm).....	126
Cuadro B.1.3. Datos mensuales de temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	126
Cuadro B.1.5 Datos de velocidad del viento mensual (m/s) .....	127
Cuadro B.1.6 Datos de dirección del viento mensual. ....	127
Cuadro B.2.1 Datos de cantidad de lluvia mensual (mm) .....	127
Cuadro B.2.2 Datos mensuales de los días de lluvia. ....	128
Cuadro B.2.3 Datos mensuales de temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	128
Cuadro B.2.4. Datos mensuales de humedad relativa (%) .....	128
Cuadro B.2.3 Datos mensuales de velocidad del viento (m/s) .....	128
Cuadro B.2.4 Datos mensuales de dirección del viento predominante .....	128

## **LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

CCSS	Caja Costarricense de Seguro Social
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
ISWA	Internacional Solid Waste Association
TAA	Tribunal Ambiental Administrativo

## **RESUMEN**

Los botaderos son lugares donde se depositan los desechos sólidos sin ningún tratamiento técnico ni control alguno, se dejan en forma desordenada al aire libre, sin cumplir requisitos sanitarios y ambientales mínimos para evitar ser un foco de contaminación para el medio ambiente y la salud pública (Chanchay, 2014). Esta investigación se lleva a cabo en el Botadero a cielo abierto del Distrito Cóbano, debido a que el Concejo Municipal de este distrito ha recibido notificaciones del Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) por denuncias interpuestas en su contra por vecinos y funcionarios públicos; todas estas denuncias plantean el funcionamiento irregular del vertedero localizado en el barrio La Tranquilidad y la contaminación del río Biscoyol. En el 2017, el Área Rectora de Salud Peninsular giró la orden sanitaria en la cual determinó la suspensión del ingreso de desechos al vertedero municipal a partir del 6 de junio del 2017 (Campos, 2017). Por esta razón, se debe llevar a cabo el cierre técnico del relleno sanitario, entonces se consideran dos posibilidades: hacer únicamente el cierre técnico o realizar la reconversión antes de este proceso para aprovechar su vida útil. Para ello, primero se debe determinar si el botadero está impactando el medio ambiente, específicamente la contaminación con lixiviados en el río Bizcoyol. Para llevar a cabo el diseño del vertedero controlado se deben recolectar datos topográficos, climáticos, poblacionales y de generación de residuos. De forma preliminar se plantea un depósito de residuos sólidos con todas las estructuras necesarias para controlar los flujos de contaminantes. El resultado final es una propuesta de diseño para la reconversión del botadero a un vertedero controlado.

**Palabras clave:** botadero municipal, residuos sólidos, cierre técnico, lixiviados.

## **ABSTRACT**

Lanfills are places where solid waste is deposited without any technical treatment or control, they are left in a disorderly manner in the open air without complying with minimum sanitary or environmental requirements to avoid being a source of contamination for the environment and public health (Chanchay, 2014). This investigation is carried out in the Municipal Dump of Cóbano, because the Municipal Council of this district has been receiving notifications from the Administrative Environmental Court (TAA in Spanish) because residents and government employees complaint about the irregular operation of the municipal landfill, located in the La Tranquilidad district, and the contamination of the Biscoyol river. In 2017, the local health authority issued the sanitary order in which it determined the suspension of the entry of waste to the municipal landfill as of June 6, 2017 (Campos, 2017). For this reason, it is necessary to carry out the technical closure of the sanitary landfill, considering two possibilities: to make only the technical closure or reconvert it before the closure in order to take advantage of it useful life. First it must be determined if the dump is impacting the environment, specifically the contamination of leachates in the Bizcoyol river. The impact of the landfill will be determined by collecting topographic, climatic, population and waste generation data where, in a preliminary stage, a solid waste deposit is proposed with all the necessary structures to control the flow of pollutants. Finally, the result is a proposal design for the reconversion of the dump to a controlled landfill.

**Key words:** dumpsite, solid waste, technical clousure, leachate.

## 1 INTRODUCCIÓN

La presencia de botaderos a cielo abierto es una realidad en el territorio nacional, esto es el resultado de un manejo inadecuado de los residuos sólidos por parte de los habitantes y de las instituciones públicas, según estimaciones del Ministerio de Salud, para el año 2011 se generaron aproximadamente 3955 toneladas diarias y 4000 toneladas diarias durante el 2014 dichos residuos se depositan de acuerdo a la regionalización del Ministerio de Salud, la cual señala que en total existen 28 vertederos y 6 rellenos sanitarios, 2 son vertederos reconvertidos en rellenos sanitarios, 3 son rellenos sanitarios en proceso de cierre técnico y 10 vertederos que también están en proceso de cierre técnico. En el Pacífico Central están ubicados 3 vertederos (Ministerio de Salud, 2016), y es en esta región del país donde se pretende llevar a cabo una investigación en el botadero a cielo abierto localizado en el distrito de Cóbano.

En primer lugar, es importante caracterizar la zona de estudio, Cóbano es un distrito del cantón de Puntarenas, localizado en el extremo sur de la Península de Nicoya con una superficie de 316.96 km<sup>2</sup>; limita al norte con los distritos de Lepanto y Paquera, al sur, este y oeste con el Océano Pacífico. La actividad económica más importante es el turismo, pues las playas y las zonas protegidas atraen gran cantidad de visitantes. Además, Cóbano cuenta con un desarrollo comercial importante con establecimientos de hospedaje, supermercados, restaurantes, ferreterías, venta de ropa y accesorios, entre otros (Delgado et al, 2018). De acuerdo con datos del INEC (2011) la población estimada para el año 2018 es de 9291 habitantes y se espera que para el año 2025 sea de 10 047. Además de los residentes permanentes hay que tomar en cuenta a los residentes temporales nacionales y extranjeros que viven transitoriamente en el distrito sobre todo en temporada alta que va de abril a diciembre, para el año 2014 el Instituto Costarricense de Turismo reportó una afluencia de 150 000 turistas que ingresaron al distrito de Cóbano en temporada alta (Delgado et al, 2018) Las actividades diarias de los residentes y turistas junto con las actividades comerciales generan gran cantidad de residuos sólidos, en su mayoría ordinarios de origen doméstico y comercial. Algunos residuos generados son no tradicionales o de manejo especial, como los desechos electrónicos, artefactos de línea blanca, llantas, colchones viejos, aceite quemado, escombros de construcción y chatarra. Son pocos los residuos médicos peligrosos que se desechan, que en su mayoría provienen de la Clínica de la CCSS, para su gestión se cuentan

con un buen protocolo para su disposición final; también existen clínicas veterinarias que generan por ejemplo envases de medicamentos, artículos de uso médico, entre otros. También se producen envases de pesticidas y agroquímicos, por parte de las actividades agrícolas; sin embargo, a pesar de todo esto no se cuenta con un estudio profundo de generación y composición de los residuos sólidos del distrito. (Delgado et al, 2018)

Los datos mensuales recolectados por el Departamento de Gestión ambiental de junio del 2017 a mayo 2018 mostraron que ingresaron 273,6 toneladas de basura promedio al botadero distrital ubicado en Barrio La Tranquilidad de Cóbano (Vásquez, 2019). Se estima que en Costa Rica una persona genera 35 kilogramos de residuos por mes, o sea que para la población de Cóbano de 9291 habitantes, se genera aproximadamente 325 185 kilogramos al mes, de estos residuos su composición corresponde a: 58% son residuos orgánicos, un 11% es plástico valorizable, un 21% es cartón y papel, un 2% lo componen metales, un 1% vidrio y el restante 7% son residuos no valorizables (Delgado et al, 2018). Esto demuestra que, si los residuos orgánicos se trataran y los valorizables se recuperaran para reciclar o reutilizar, solo un 7% de los residuos terminarían en el vertedero.

Desde febrero del 2011, el Consejo Municipal de Distrito de Cóbano ha venido recibiendo notificaciones del Tribunal Ambiental Administrativo (TAA) de denuncias interpuestas en su contra por parte de vecinos y funcionarios públicos, todas estas denuncias son por el funcionamiento irregular del vertedero municipal y la contaminación de la quebrada afluente al río Biscoyol producto del vertedero (Campos, 2017). Por otro lado, desde septiembre del 2010, el Consejo Municipal de Cóbano ha venido recibiendo órdenes sanitarias giradas por el Área Rectora de Salud Peninsular, ordenando la presentación del proyecto de cierre técnico del vertedero. Por último, el día 28 de marzo del 2017, el Área Rectora de Salud Peninsular giró la orden sanitaria en la cual ordenó la suspensión del ingreso de desechos al vertedero municipal a partir del 6 de junio del 2017 (Campos, 2017).

Por tanto, el Consejo Municipal pasó de tener un vertedero de operación inadecuada a no contar con un sitio para darle disposición final a los residuos, situación por la cual se firmó un contrato para realizar el transporte, transferencia y disposición de los residuos sólidos municipales al relleno sanitario localizado en Miramar de Puntarenas (Campos, 2017).

En el presente proyecto de grado se pretende llevar a cabo el diseño del vertedero para el confinamiento de los residuos sólidos que se producen en el distrito de Cóbano, esto con el



fin de transformar el botadero a un sitio de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1.1 Objetivo general**

Elaborar una propuesta de diseño para la transformación del botadero distrital de Cóbano a un vertedero controlado

### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar si hay contaminación por lixiviados en el río Bizcoyol.
- Diseñar un vertedero controlado para la disposición final de los residuos sólidos municipales.
- Confeccionar el manual de operación y mantenimiento del vertedero controlado.

## **3 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.1 SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS BOTADEROS A CIELO ABIERTO**

Según el Banco Mundial se estima que actualmente 1.3 billones de toneladas de residuos sólidos son generados por año en todo el mundo, y para el año 2025 esta cantidad aumentará a 2.2 billones de toneladas por año, este dato demuestra la necesidad de estrategias para tratar el incremento de la generación de residuos sólidos municipales alrededor del globo (Moya et al, 2017). De acuerdo con el *Waste Atlas Report* (2014) realizado por la Internacional Solid Waste Association, de los 50 botaderos más grandes del mundo 18 de estos se encuentra en África, 17 en Asia, 2 en Europa y 13 en Latinoamérica y el Caribe; la mayoría de los botaderos a cielo abierto están localizados en África, el Norte de Asia y América Latina, es decir en áreas donde viven más de dos terceras partes de la población mundial. Históricamente muchos sitios de disposición eran simples botaderos para disponer materiales indeseados, sin considerar el valor del material o no se planteaba el riesgo o daño para la salud pública o el medio ambiente. Muchos de estos vertederos se encontraban o encuentran en depresiones geográficas, canteras en desuso, valles naturales y ríos (Bodoga, 2016). En un estudio realizado a los 50 botaderos más grandes alrededor del mundo se encontraron características promedio como que se aceptaban mezclas de residuos sólidos municipales, además se estaban desechando junto con residuos peligrosos; tenían al menos 2.5 millones

de toneladas de residuos ya eliminados ocupando 24 hectáreas y habían operado por 17 años; el promedio de los botaderos tendrían al menos un millón de personas viviendo dentro de un radio de 10 km de su centro, con el asentamiento más cercano a solo un kilómetro; además, alrededor de 1300 recicladores informales podrían estar ganándose la vida con el botadero (ISWA 2014). Los botaderos a cielo abierto reciben diferentes flujos incluidos residuos sólidos municipales, lodos de aguas residuales, residuos peligrosos, residuos electrónicos y residuos médicos. En los próximos 10 a 15 años la mayoría de la basura se destinará en los botaderos dando servicio de disposición final a centenas de millones de personas (ISWA, 2015).

Uno de los grandes problemas a nivel mundial es la disposición ilegal que se refiere a la eliminación de desechos en áreas no autorizadas lo cual se considera un delito ambiental (DEQ, sf). El vertido ilegal internacional se ha presentado en múltiples situaciones, por ejemplo en el 2004 una organización de inspectores de residuos de seis países europeos sugirieron que hasta el 20% de los miles de contenedores de plástico de desecho y papel enviado anualmente desde Europa para su reciclaje hasta Asia era ilegal, por su parte los Países Bajos sugirieron que el 70% de los envíos de desechos europeos a los países en desarrollo son ilegales, así mismo los países del noreste de Europa suelen enviar desechos a países en África Occidental y Asia. A pesar de su legislación, la Unión Europea es una fuente importante de desechos electrónicos que se exportan ilegalmente y se descargan en los países en desarrollo, se estima que el 75% de los desechos electrónicos se generan en la UE. La Europol (La Oficina Europea de Policía) identificó un aumento en el volumen de envíos de residuos ilegales a través de las fronteras, esto es uno de los campos de acción del crimen organizado debido a que tienen un bajo riesgo con altas ganancias. El envío ilegal de desechos peligrosos se estima con un valor de entre 10 y 12 millones de dólares anuales, esto demuestra que genera ingresos muy altos para las personas involucradas en su comercio. Estas personas utilizan una variedad de sitios ilegales incluidos los pozos de grava y arena, instalaciones industriales y minas a cielo abierto abandonadas para el tráfico y eliminación de residuos (Hafman, 2009) (ISWA, 2015).

### 3.2 ASPECTOS GENERALES

Los residuos sólidos son desechos provenientes de actividades humanas que han sido descartados como inservibles; incluyen fracciones orgánicas e inorgánicas como desechos de cocina, desechos de jardinería, telas, botellas, papel, latas de pintura, baterías, etc. (Ramachandra et al, 2018). El manejo y disposición final de los mismos lo realizan los gobiernos locales o las municipalidades. La totalidad de estos residuos sólidos municipales provienen de varias fuentes, la fuente doméstica es el flujo de residuos proveniente de las casas, la corriente de desechos que se originan en el ámbito comercial, locales industriales, gubernamentales y públicos, incluidos los desechos de las operaciones del ayuntamiento como la recolección en las aceras pero que no contienen residuos comerciales, industriales, peligrosos o radioactivos. (EPA, 2009)

El manejo de estos residuos sólidos municipales está asociado con el control en la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, procesamiento y disposición de manera que sea acorde con los principios de salud pública, económicos, ingenieriles, de conservación, estéticos y otras consideraciones ambientales (Ramachandra et al, 2018). Los gobiernos locales son los responsables del establecimiento de un exhaustivo plan de manejo de los residuos sólidos, donde se incluye el diagnóstico de las condiciones de los desechos, deben proponer objetivos y soluciones, para la reducción y reciclaje así como una gestión sistemática en la municipalidad, incluyendo la identificación de los mayores generadores, controlando los costos involucrados y definiendo los indicadores de desempeño para el servicio público (Lima et al, 2018), esto debe llevarse a cabo pues se ha demostrado que es más viable financieramente cuando se comienza con una propuesta municipal antes de ir a la práctica (ISWA, 2016). Sin embargo, el manejo de residuos sólidos municipales se está volviendo cada vez más grave debido a algunas razones como la poca capacidad financiera, infraestructura deficiente y uso del suelo, coordinación débil entre las autoridades, políticas deficientes y falta de cumplimiento de las regulaciones (Temel et al, 2018).

En muchas ocasiones este manejo se hace de manera incorrecta pues los desechos se disponen en los llamados “botaderos no controlados” que son lugares donde se depositan los desechos sólidos sin ningún tratamiento técnico ni control alguno, se dejan en forma desordenada al aire libre, sin cumplir requisitos sanitarios y ambientales mínimos para evitar ser un foco de contaminación y afectación de la salud pública (Chanchay, 2014). También existen los

llamados botaderos controlados que se definen como lugares de disposición final de residuos sólidos pero que no cuentan con la infraestructura necesaria ni suficiente para ser considerado como un relleno sanitario. En el botadero controlado se dan las condiciones mínimas de operación para que los residuos no se encuentren a cielo abierto, estos residuos son compactados en capas para reducir su volumen y confinados periódicamente con material de cobertura (Chanchay, 2014). Y en el mejor de los casos los residuos se desechan en los rellenos sanitarios que son sitios de disposición diseñados según la producción real y la proyección de generación de residuos; cuentan con características que minimizan, mitigan y reducen los impactos ambientales, usualmente están ubicados apartados de las zonas urbanas debido a los olores que generan y son construidos para períodos entre 25 a 30 años (Chávez, Uribe & Ortega, 2017). Estos distintos tipos de sitios de disposición final presentan características que ejercen impactos (positivos o negativos) al ambiente, los criterios se presentan en el cuadro 1.1, ya que es importante reconocer las diferencias para identificar los impactos ambientales negativos que se podrían evitar al usar sitios de disposición con controles adecuados.

**Cuadro 1.1 Diferencias entre distintos sitios de disposición final (Fuente: ISWA, 2015).**

<b>Criterio</b>	<b>Botadero a cielo abierto</b>	<b>Botadero controlado</b>	<b>Relleno Sanitario</b>
Asentamiento de la instalación	No planificado y a menudo ubicado incorrectamente.	Condiciones hidrogeológicas consideradas.	El sitio elegido se basa en factores ambientales, comunitarios y de costos.
Capacidad	Capacidad del sitio desconocida	Capacidad planificada	Capacidad planificada
Planificación de celdas	No hay planificación de celdas. Los residuos son dispuestos indiscriminadamente. No se controla el área de funcionamiento.	No hay planificación de celdas, pero el área de funcionamiento es mínima. La disposición solo se da en áreas diseñadas.	Diseño de la celda antes del desarrollo de la misma. El funcionamiento es controlado en el área práctica más pequeña.
Preparación del sitio	La preparación del sitio es pequeña o no se da.	Limpieza del sitio de disposición Drenaje y control de aguas superficiales a lo largo del perímetro del sitio.	Preparación extensiva del sitio.
Manejo de lixiviados	Los lixiviados no se controlan	Control parcial de los lixiviados	Control total de los lixiviados
Manejo de emisiones	No hay control de las emisiones.	Control parcial o sin control de las emisiones.	Control total de las emisiones.

Aplicación de cobertura de suelo	Ocasional o no se cubren los desechos.	Recubrimiento de los desechos está implementado regularmente pero no necesariamente a diario.	La cubierta de suelo se aplica a diario, al intermedio y al final.
Compactación de residuos	No hay compactación de los residuos.	Compactación en algunos casos.	Compactación de los residuos.
Mantenimiento de la vía de acceso	No hay un apropiado mantenimiento de la calle de acceso.	Limitado mantenimiento de la calle de acceso.	Completo desarrollo de la vía de acceso.
Cercado	Sin vallas.	Con vallas.	Cercado seguro y portón.
Entrada de residuos	No hay control acerca de la cantidad y/o composición	Parcial o sin control de la cantidad, pero la aceptación de residuos para disponer es limitada	Control total en cuanto a cantidad y composición de los residuos entrantes Suministros de tipos especiales de residuos
Recolección de desechos	Recogida de desechos por recolectores informales.	Se controla la recolección y el comercio de desechos.	No hay recolección ni comercio de residuos en el sitio.
Clausura	No hay un apropiado cierre después del cese de las operaciones.	Las actividades de clausura se limitan al recubrimiento con suelo suelto o parcialmente compactado y revegetación.	Cierre completo y manejo post-cierre.
Costo	Costo inicial bajo, pero costo alto a largo plazo.	Costo inicial de bajo a moderado, costo alto a largo plazo.	Incremento de los costos iniciales, operacionales y de mantenimiento, costo moderado a largo plazo.
Impactos ambientales y en la salud pública	Alto potencial de incendios, impactos ambientales adversos y en la salud.	Menor riesgo de impactos ambientales adversos y en la salud comprado con los botaderos no controlados.	Mínimo riesgo de impactos ambientales y en la salud.

### 3.2.1 Los residuos no ordinarios

Además de los residuos sólidos ordinarios en los botaderos a cielo abierto se disponen otros desechos como los residuos peligrosos, residuos médicos, residuos electrónicos.

### **3.2.1.1 Residuos peligrosos**

Son residuos con propiedades que los hacen peligrosos o capaces de tener un efecto nocivo en la salud humana o el medio ambiente. De acuerdo con el Departamento de Ambiente y Energía de Australia, un residuo se considera peligroso si presenta alguna de estas características: explosivo, sólidos inflamables, venenoso, tóxico, eco tóxico o sustancia infecciosa. Generalmente los residuos sólidos peligrosos se refieren a sustancias potencialmente dañinas o compuestos químicos peligrosos, otros desechos potencialmente peligrosos como subproductos industriales, militares, agrícolas y municipales, incluyendo contaminantes biológicos. Además, los residuos provenientes de la manufactura química, producción primaria de metales, fabricación de metales y la refinería de petróleo son las industrias más usuales que generan desechos peligrosos. Los asbestos también considerados residuos peligrosos, son un grupo de minerales silicatos fibrosos que en el pasado fueron ampliamente utilizados para producir materiales de construcción y tuberías, entonces como resultado de las remodelaciones y demoliciones de construcciones se producen desechos de asbestos en la actualidad. Aunque los asbestos se eliminan disponiéndolos en vertederos controlados esto solo es una solución temporal y al estar a la intemperie por el viento, la lluvia y la acción mecánica produce la liberación de fibras que generan un posible riesgo para la salud (Spasiano & Pirozzi, 2017) (ISWA, 2015)

### **3.2.1.2 Residuos médicos**

Los residuos médicos incluyen los desechos generados por los hospitales, consultorios privados, centros de diagnósticos, instalaciones de investigación, laboratorios y consultorios dentales. Los desechos médicos se dividen en dos categorías: desechos generales que representan el 80% del total y el restante 20% son los desechos médicos peligrosos. Explícitamente los residuos médicos peligrosos incluyen los desechos infecciosos, que se caracterizan por contener patógenos (bacterias, virus, parásitos u hongos) en suficiente concentración o cantidad para causar enfermedades en huéspedes susceptibles. También hay otro grupo que se categoriza en: químicos, farmacéuticos, residuos geno-tóxicos y residuos radioactivos. Estos residuos están compuestos por sets intravenosos, catéteres, bolsas de orina, jeringas, guantes, algodones, agujas, cuchillas, vidrios rotos o descartados, vidrios

contaminados, viales de medicina y ampollas, entre otros. Estos desechos son uno de los más problemáticos para las autoridades responsables de los residuos sólidos municipales en países en desarrollo, pues cuando entran en el flujo de desechos sólidos municipales puede causar daños a los humanos a través de lesiones por instrumentos puntiagudos, enfermedades infecciosas por la proliferación de microorganismos y contaminación del agua. Generalmente para el tratamiento de este tipo de residuos sólidos se utiliza la incineración, posteriormente las cenizas resultantes se disponen en los vertederos, sin embargo, puede causar la contaminación de las aguas subterráneas pues los metales no se eliminan. (Mohamed et al, 2009) (Maamari, et al, 2015) (Rajan et al, 2017)

### **3.2.1.3 Residuos electrónicos**

Los desechos electrónicos y eléctricos se están convirtiendo en uno de los residuos con más crecimiento en todo el mundo, de hecho se estima que entre 30 a 50 millones de toneladas de artículos electrónicos son desechados anualmente. Los desechos electrónicos son una preocupación debido a su alarmante aumento de volumen y toxicidad. Contienen más de 1000 sustancias, muchas de las cuáles son tóxicas y crean una contaminación grave al momento de su eliminación. Hay alrededor de 55 tipos de metales contenidos en los desechos electrónicos desde metales comunes hasta raros y también metales preciosos; por ejemplo, pueden contener metales preciosos como oro, plata y cobre, también contienen metales peligrosos como el plomo. En países en desarrollo quienes se encargan de reciclar estos materiales son los sectores informales y los métodos para el reciclaje suelen ser rudimentarios con una legislación ambiental floja (Muhammad et al, 2017) (Ikhlayel, 2017). Como dichos desechos contienen componentes valiosos estos pueden ser un incentivo para los recicladores en países pobres, pero al mismo tiempo un riesgo para la salud humana. Los artículos pesados desechados como lavadoras y refrigeradoras, en su mayoría están compuestos principalmente de aceros, mientras que los artículos livianos como computadoras y celulares tienen altas concentraciones de retardante de llamas y metales pesados. Además, los refrigeradores obsoletos, los congeladores y unidades de aire acondicionado contienen clorofluorocarbonos agotadores de ozono (CFCs), estos gases pueden escapar de los artículos eléctricos dispuestos en los vertederos (ISWA, 2015).



### 3.2.2 Impactos por la presencia de los botaderos

La disposición inadecuada de los residuos sólidos en botaderos o vertederos controlados causa impactos ambientales significativos en los ecosistemas naturales y la salud pública; entonces un impacto ambiental puede ser definido como cualquier alteración a las propiedades físicas, químicas y biológicas provocadas directa o indirectamente, por actividades humanas que pueden afectar la salud pública, la seguridad y la calidad ambiental de los recursos naturales (Silva, Gonçalves & Araujo, 2018). Además, los daños ambientales provocan impactos sociales y económicos que serán descritos más adelante.

Las influencias ambientales más importantes asociadas con los sitios de disposición de residuos sólidos es el vertido de lixiviados, pues la contaminación de agua subterránea y agua superficial se da por la infiltración de lixiviados producidos a partir del proceso de descomposición de materia orgánica, comprometiendo su uso domiciliario, además se erosiona el suelo por la compactación de residuos y atrae vectores transmisores de enfermedades. Diversos estudios han indicado que los mayores contaminantes presentes en aguas subterráneas cercanas a los vertederos, incluyen clorados, sodio, amonio, dureza total, sólidos disueltos totales, materia orgánica en forma de Demanda Química de Oxígeno (DQO), metales pesados y fosfatos. (Maiti, et al, 2016), (Silva et al, 2018) (Han et al, 2016)

El manejo de los residuos sólidos municipales a través de los vertederos a cielo abierto y los rellenos sanitarios son también fuentes importantes de gases de efecto invernadero especialmente metano que representan el 40 % de la producción total, óxido nitroso y dióxido de carbono; otros contaminantes como hidrocarburos aromáticos, emisiones de olores, dioxinas y furanos, sustancias agotadoras del ozono, contaminantes orgánicos volátiles, polvo y producción de ruido. Las operaciones de compactación crean condiciones anaeróbicas que resultan en la formación de gas metano, y debido a la presencia de éste hay riesgo de explosiones e incendios (Calvo, et al, 2007) (Ngwabie et al, 2018) (Kalil et al, 2018). Otra fuente importante de contaminación es la “quema abierta” la cuál es una práctica en los botaderos a cielo abierto, que consiste en quemar los materiales al aire libre sin ningún recinto ni chimenea para conducir el humo generado, se hace con el fin de reducir el volumen de los desechos, sin embargo, los gases contienen una variedad de contaminantes como dioxinas y furanos, compuestos orgánicos volátiles, material particulado, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, óxidos de sulfuro, nitrógeno y metales como antimonio, arsénico,

bario, berilio, cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio, fósforo y titanio (EPD, 2017) (ISWA, 2015).

La contaminación del suelo se da debido a muchos contaminantes, pero especialmente metales pesados que son atrapados en los suelos debajo de los botaderos, dando como resultado el riesgo o una mayor contaminación ambiental a largo plazo y restringiendo el posible uso posterior del sitio (ISWA, 2014). Contaminantes como cadmio, cobre, níquel y zinc pueden alterar la química del suelo y tener un impacto en los organismos y plantas que dependen del suelo para nutrirse, se ha evidenciado serios daños causados debido a los botaderos a cielo abierto afectando por último el ciclo de vida de las plantas (ISWA, 2015). La fauna puede verse afectada ya sea por consumo directo de los residuos sólidos o por el consumo de plantas y/o animales contaminados o por los efectos de los lixiviados en el agua subterránea y superficial (ISWA, 2014).

Los desechos orgánicos se descomponen y liberan malos olores, los olores afectan a las personas que viven alrededor de los vertederos, lo que demuestra que tienen un efecto grave en las personas del entorno, además los vertederos que se encuentran en áreas residenciales son sitios donde los animales se alimentan (perros y otras mascotas) llevando consigo enfermedades a los alrededores (Olangunju et al, 2018).

Los vertederos continúan dando preocupaciones acerca de los posibles efectos en la salud por vivir y trabajar cerca de estos sitios, tanto nuevos como antiguos, la exposición a contaminantes y emisiones pueden ser por contacto directo, inhalación o ingestión de alimentos y agua contaminados; además diversos estudios han indicado que las poblaciones residentes más próximas presentan niveles más elevados de metales pesados y compuestos orgánicos en sangre que pueden hacerlos vulnerables a diversos tipos de cáncer y en los niños recién nacidos pueden presentar malformaciones congénitas, bajo peso al nacer y prematuridad (Danthurebandara et al, 2013) (Silva, Gonçalves & Araujo, 2018). Esto se puede ejemplificar con el uso a escala e histórico de plomo, que ha hecho de los vertederos y botaderos a cielo abierto uno de las principales fuentes de plomo para la exposición humana vía agua potable, alimentos, polvo y partículas aerotransportadas. El plomo como toxico metálico afecta los sistemas neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular, renal e inmune; una exposición crónica daña la función cognitiva, reduce el coeficiente intelectual, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, deficiencias de calcio pues

sustituye el mismo en los huesos y además daños reproductivos (Tongesayi, Kugara & Tongesayi, 2017).

Los impactos socioeconómicos más frecuentes se relacionan con las actividades informales que se realizan en torno a la recolección, clasificación, tratamiento y eliminación de desechos, así como los flujos ilegales y el tráfico de desechos peligrosos representan un gran desafío. Estas actividades informales de gestión de residuos pueden proporcionar ingresos y apoyar los medios de subsistencia de las familias y las comunidades locales, pero el precio en términos de impacto directo en la salud de los involucrados es probable que sea muy alto; graves cuestiones de desigualdad en la salud y la justicia ambiental surgen ya que las personas involucradas en la gestión informal de residuos son socialmente desfavorecidas en otros aspectos (WHO, 2015).

Los botaderos o cualquier sitio de disposición pueden tener un impacto negativo sobre los valores de la vivienda en función de la distancia real al sitio, posibles peligros como moscas, olor, humo, ruido y amenazas para el suministro de agua son razones por las cuáles el público no quiere residir cerca de los vertederos, además la ocupación del enorme espacio para los vertederos contribuyen a la escasez de terreno para el desarrollo de la sociedad humana y los ecosistemas (Danthurebandara et al., 2013).

Debido a la falta de gestión, los accidentes ocurren frecuentemente en los botaderos, la mayoría de las veces involucran a los recolectores informales y el personal del sitio. Los mayores riesgos están relacionados con cortes y heridas, pero otros tipos de accidentes implican incendios, explosiones, deslizamiento dentro del volumen de residuos (ISWA, 2014).

### 3.3 EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El paso preliminar a llevar a cabo antes del cierre técnico es determinar la situación actual del botadero. Se deben realizar visitas de campo para obtener la siguiente información básica: zona de estudio, volumen de los residuos sólidos acumulados, tipo de los residuos sólidos, áreas pobladas, vida útil, uso potencial del botadero, geología, riesgo sísmico, climatología, unidades geomorfológicas, gradientes, hidrología superficial, riesgo de inundación, hidrogeología, precipitación, presencia de vectores, fauna y vegetación asociada, áreas

protegidas, infraestructura vial, usos de la tierra industrial, urbana y del patrimonio arquitectónico, energía y comunicaciones (Calvo et ál, 2004) (OPS, 2004).

Además a lo anterior se debe hacer un análisis o al menos un registro de los actores sociales que son un grupo de personas, organizaciones, empresas o individuos que tienen influencia o participación relevante en determinados aspectos de la gestión de los residuos sólidos, pues la razón principal para el cierre de un vertedero se debe a los impactos sociales negativos sobre la población circundante, los riesgos e impactos para la salud recaen sobre quienes trabajan en los vertederos, es decir, los operadores y los recolectores informales y además los residentes que viven alrededor de los sitios. Es por esto que las consideraciones sociales sobre el cierre debe implantarse en cada etapa levantando la siguiente información: encuestas sobre los recolectores informales y sus actividades, encuestas sobre los hogares de los alrededores, organizar reuniones informativas sobre el cierre del vertedero, preparación de información sobre cuestiones de salud ambiental que afectan a las personas involucradas, preparación de plan de evacuación, preparación de letreros y cercas para prohibir la entrada al lugar, llevar a cabo audiencias públicas para reunir las opiniones de estos actores sociales (Yachiyo Enginnering CO, 2004). Estos actores y sus relaciones deben ser tomadas en cuenta para entender la dinámica social y política envuelta, incluyendo los incentivos e intereses, sus alianzas, competición o conflictos que pueden existir entre diversos actores (ISWA, 2016).

Las partes interesadas típicas en una intervención de un botadero, incluyen: la municipalidad, agencias estatales y federales gubernamentales, operadores locales y proveedores de servicios, actores del sector privado (productores, clientes, asociaciones, competidores por materiales), comunidades locales (incluyendo los dueños de las propiedades) y sus líderes u organizaciones comunales; usuarios finales del sistema, intermediarios, organizaciones no gubernamentales y sociedades civiles. (CYMA, 2008) (ISWA, 2016). Cada una de estas partes interesadas juegan un papel importante en el proceso, por una parte, los gobiernos locales tienen que implementar el cierre del botadero, coordinar con las entidades locales para implementar su cierre, promulgar regulaciones necesarias para implementar la clausura e implementar otras actividades para facilitar el proceso. Las comunidades deben participar en la planificación del cierre y en el proceso de monitoreo después del cierre. El gobierno nacional a través de las autoridades gestoras de residuos debe formular las políticas, estándares, criterios y guías necesarias relativas a la clausura; debe

coordinar con las entidades locales y nacionales la implementación del proyecto, además de monitorear el proceso. Las empresas serán las encargadas de dar apoyo en la clausura y apertura de nuevos sitios de disposición a través de la introducción de programas de reciclaje a los nuevos sitios; introducir tecnologías apropiadas, servicio y equipamiento en todas las etapas (diseño, construcción, operación y cierre de los vertederos) (UNEP, 2005). Al iniciar el proceso de planificación del proyecto en cuestión es importante involucrar a los principales actores sociales del cantón o distrito, no solo la participación del personal municipal, que están relacionados con la problemática o que serán afectados por cualquier cambio con el sistema actual, mientras mayor participación tengan los actores sociales en las diferentes etapas del proceso de planificación, mejores serán los resultados; pues se toma en cuenta las necesidades de los diferentes sectores o actores locales interesados, contribuye a unir esfuerzos para mejorar las condiciones de vida de las comunidades y al introducir cambios los actores los sienten como suyos (CYMA, 2008).

#### 3.4 CIERRE TÉCNICO

El cierre técnico es el proceso mediante el cual un vertedero o sitio de disposición final, ya no recibe desechos y se está preparando para el mantenimiento posterior al cierre de acuerdo a un plan aprobado y un programa de construcción. Este proceso se hace de acuerdo con los estatutos, reglamentos y leyes locales vigentes en ese momento (Wochnick, 2014).

Existen tres métodos para el cierre de un botadero: cierre cubriendo los residuos en el sitio, cierre con remoción de los residuos del sitio, cierre con modernización del botadero en un sitio controlado o en un relleno sanitario (ISWA, 2014). El método de cierre en el sitio consiste en dejar los residuos en el lugar y cubrirlos con una capa de suelo local y aplicar revegetación. El método con remoción consiste en quitar los desechos de botadero y trasladarlos a otro sitio de disposición, generalmente un relleno sanitario apropiado (ISWA, 2016). El cierre con modernización del botadero en un sitio controlado consiste en el proceso de transformación del sitio a un sistema de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado el cuál puede ser un botadero controlado o un relleno sanitario. Durante la conversión a un relleno sanitario se deberán tener presentes el confinamiento de los residuos, el control de la fauna nociva, la reubicación de los recicladores y el plan operativo del sistema de disposición final (OPS, 2004).

Las actividades de cierre incluyen la construcción de la cubierta final, la extensión de zanjas de aguas superficiales y caminos de acceso, la colocación y reubicación de la señalización (British Columbia Ministry of Environment, 2016). El proceso técnico para el cierre de un botadero se conforma por las siguientes etapas: diseño preliminar y evaluación ambiental, construcción, pruebas y puesta en marcha, operación, cierre del sitio (o cambio de uso), post clausura, fin de la intervención o proceso de cambio del sistema (ISWA, 2016)

De acuerdo con los “Lineamientos ambientales para el cierre de vertederos de residuos sólidos” establecidos por la EPA (2016). El plan de clausura debe contener lo siguiente:

- Los pasos específicos que se tomarán en la clausura y la estabilización del relleno sanitario (o sitio de disposición) y el tiempo para hacerlo.
- La especificación del diseño detallado, los materiales que serán utilizados y el plan de aseguramiento de la calidad de la construcción para la cubierta final.
- Especificación del manejo post-cierre y las medidas de monitoreo de los lixiviados, precipitación, gases de vertedero, olores, polvo, integración de los residuos y la capa final.
- Identificar alguna propuesta para el uso futuro del sitio.
- Ser consistente con todas las condiciones aplicables
- Asegurarse que los vecinos estén informados de los contactos para discutir cualquier problema; los registros de las quejas deben mantenerse de la misma manera que se hacía durante la operación.
- Asegurarse que no se estén recibiendo residuos para su disposición en el sitio después del cese de la fase operacional. Los desechos destinados a ser utilizados durante la remediación deben documentarse y reportarse.

#### **3.4.1 Barreras en el cierre técnico de un vertedero**

Hay muchos problemas relacionados con el cierre de botaderos a cielo abierto. Un problema que siempre ocurre es la dificultad para superar viejos hábitos e introducir nuevas tecnologías. Se debe proporcionar una nueva instalación de eliminación de residuos que puedan aceptar los desechos, además de informar, capacitar y educar a los generadores y a los usuarios del sitio. Otro problema se relaciona con el costo involucrado de la clausura, invariablemente no se ha destinado dinero para esto; los costos a largo plazo (costos de los

impactos en el ambiente, la seguridad y salud pública) de no cerrar un botadero puede exceder los costos de cierre (ISWA 2014). Otra de las barreras financieras es que la capacidad presupuestaria gubernamental se ve afectada negativamente debido a la colección limitada de impuestos en el sector empresarial. La existencia de brechas regulatorias y problemas con respecto a la implementación de políticas de cierre/mejora de vertederos en los países en desarrollo crea obstáculos importantes con respecto al desarrollo y la reforma del sector; además la calidad de la regulación en países en desarrollo crea una implementación inefectiva de las iniciativas y un limitado interés de la participación del sector privado en proyectos de gestión de residuos. El limitado acceso de las autoridades gestoras de residuos a instrumentos y herramientas financieras, es otra barrera para la efectiva implementación de reformas de cierre y mejoras de vertederos (ISWA 2016).

### **3.4.2 Aspectos técnicos para la conversión del botadero a un sitio controlado**

El diseño de un vertedero es influenciado por las propiedades físicas y químicas de los residuos y la necesidad de controlar la producción de lixiviados; además hay que tomar en cuenta las condiciones geológicas e hidrogeológicas del sitio, además de factores sociales y económicos (Bell, Culshaw & Skinner, 2012). También es importante los métodos de construcción, el diseño de la celda, el control de contaminantes y otros elementos que se explicarán a continuación.

#### ***3.4.2.1 Composición de los residuos***

La basura doméstica puede contener una alta proporción de humedad (alrededor del 40%) por la materia orgánica; la mezcla de residuos industriales y comerciales también pueden contener altas proporciones de materia orgánica. Las densidades de los residuos sin compactar varían de 0.12 a 0.30 t/m<sup>3</sup>, después de la compactación las densidades aparentes van desde un mínimo de 0.4 t/m<sup>3</sup> a un máximo de 1.2 t/m<sup>3</sup>. La densidad aparente puede cambiar por: la gran variedad de constituyentes en los residuos, el grado de compactación, el estado de descomposición, la cantidad de cobertura diaria, la profundidad total de los residuos (Sarsby & Robert, 2013).

### ***3.4.2.2 Condiciones hidrológicas, geológicas y topográficas del sitio***

Las condiciones hidrogeológicas de un territorio integran las características climáticas, hidrológicas, geológicas, las estructuras del subsuelo, hidrodinámicas y geoquímicas (EVREN, 2013). Hacer un estudio de los mismos es importante por distintas razones, por ejemplo, parámetros como el clima, la topografía el almacenamiento superficial, la escorrentía, la infiltración, la evapotranspiración, el drenaje lateral, la filtración a través de la geo membrana, se emplean en el método de balance hidrológico para estimar la filtración de la cantidad exacta de lixiviados (Majundar et al, 2001). También es importante conocer acerca de la dirección del flujo de agua subterráneas, que es necesario para desarrollar un sistema de monitoreo de la misma. La información acerca de las condiciones geológicas e hidrológicas del sitio se pueden obtener por los mapas geológicos (ISWA, 2013).

La topografía del sitio influye en los costos del vertedero. La topografía podría usarse en conjunción con el diseño apropiado del vertedero para gestionar los flujos de lixiviados sin bombeo, simplemente por gravedad; esto requiere diferencias de altitud entre la capa de drenaje, las cuencas de recolección de lixiviados, la instalación de tratamiento de lixiviados y el sitio final de disposición del lixiviado (ISWA 2013). Los levantamientos topográficos se hacen constantemente dentro de los vertederos, debido a los cambios constantes en el estado de las celdas, normalmente se trabaja a partir de un plano general de todo el vertedero que incluye las instalaciones y que se va actualizando cuando se crean nuevas celdas y se van construyendo otras. Si el vertedero es de grandes dimensiones dicho plano se obtiene a partir de un vuelo fotogramétrico, mientras que las actualizaciones de las celdas se realiza a partir de topografía clásica o GPS (sistema de posicionamiento global) (Bermejo & Soto, 2009).

### ***3.4.2.3 Métodos de construcción de rellenos sanitarios***

Existen diferentes tipos de construcción de rellenos sanitarios de acuerdo a la disposición y colocación de los residuos sólidos. El relleno tipo área se emplea para construir las celdas sobre la superficie del terreno o para llenar depresiones. El método de trinchera o zanja consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado de la trinchera, donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera. El método combinado de



rampa consiste en combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continua con el método de área; o se comienza el método de área, excavado el material de la cubierta de la base de rampa, se forma una trinchera la cual también servirá para ser rellena; este método se utiliza en terrenos de declive moderado o en aquellos que tienen una capa delgada de material susceptible de ser usado como recubrimiento. (Trujillo, 2010) (Sandoval, 2009)

#### ***3.4.2.4 Diseño de la celda***

Los vertederos bien diseñados poseen una estructura celular, así como barreras y cubiertas, donde los residuos son contenidos en una serie de celdas formadas en el suelo, las celdas son cubiertas al final de cada día con una capa de suelo y compactadas adecuadamente (Bell, 2007). La cobertura diaria que debe ser aplicada a los desechos debe ser de 150 mm de suelo diaria en un vertedero de residuos sólidos municipales para controlar vectores, fuego, olores y recolección informal. La cobertura intermedia es una cobertura más sustancial que la cobertura diaria y se usa para cerrar una celda que no recibirá elevaciones adicionales de desechos durante un tiempo o que se cerrará por un tiempo. En algunos casos se usa como cobertura residuos relativamente permeables como arenas de fundición, llantas trituradas, suelos contaminados, residuos de incineración, compost y pelusa; también materiales de manufactura como espumas de polímero. (EPA, 2016) (Singh & Sastry, 2011)

Una vez que los residuos son colocados en las celdas, se procede a compactarlos, este proceso es importante ya que reduce el asentamiento y la conductividad hidráulica, al mismo tiempo que aumenta la resistencia al corte y la capacidad de carga; cuanto menor es la cantidad de aire atrapado en los vertederos, menor es el potencial de combustión espontánea ((Bell, 2007). Comprender el comportamiento de compresión de los desechos es importante para la operación y rehabilitación de los vertederos puesto que la comprensibilidad se relaciona con el contenido de humedad, el propio peso y el porcentaje de componente biodegradable (Hadinata et al, 2017). En lo que se refiere a la estabilidad del terreno, el potencial de falla de la pendiente en un vertedero está relacionado con el control de la compactación durante la disposición, misma que será mejor cuanto más pesada sea la compactadora. En la figura 1.1, se observa las diferentes etapas de las celdas de un relleno sanitario desde su

construcción, las fases de relleno con residuos y finalmente se procede a recubrir con una capa de suelo y revegetar la superficie. (Bell, 2007)

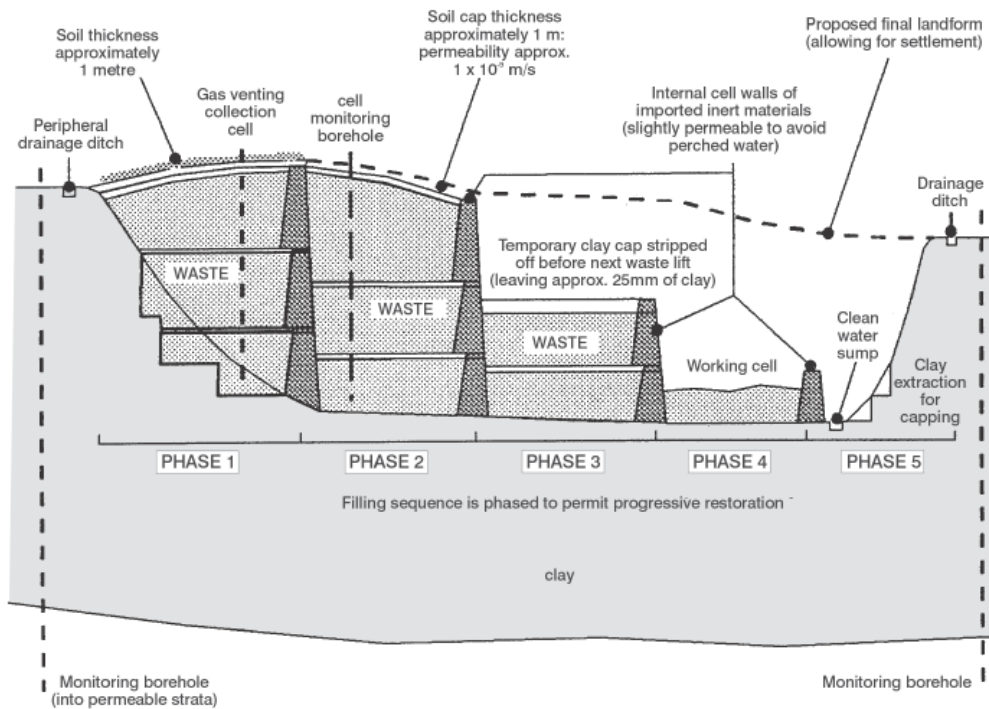


Figura 1.1. Construcción de celdas en un relleno sanitario (Fuente: Bell, 2007).

Los vertederos son construidos usando barreras y coberturas para prevenir la exposición de los contaminantes en el ambiente, las celdas son forradas en el fondo y en los laterales con barreras naturales y sintéticas para prevenir que líquidos y sólidos escapen a los suelos subyacentes. Un ejemplo de barrera natural es la arcilla compactada; barreras sintéticas como polietileno de alta densidad (HDPE), arcilla geo sintética (GCL) y polivinilo clorado (PVC). (Army Corps of Engineers, 2003). La principal función de la cobertura superior es controlar la infiltración de la precipitación y así minimizar la formación de lixiviados (Bell, 2007), además de prevenir la exposición de humanos y animales silvestres a los residuos sólidos, minimizar la liberación incontrolada de metano a la atmósfera, limitar la erosión y la liberación de sedimentos a las aguas superficiales circundantes, controlar la liberación de olores, minimizar la infiltración de oxígeno y riesgo de incendio (British Columbia Ministry of Environment, 2016). El sistema de cobertura consiste en los siguientes componentes desde

el fondo hasta la superficie: barrera de baja permeabilidad para prevenir la infiltración del agua, arena o geo red para proveer una capa de drenaje, cubierta protectora de suelo, capa superficial del suelo y cubierta vegetal (Army Corps of Engineers, 2003).

#### **3.4.2.5 *Materiales geosintéticos***

Los materiales geo sintéticos han sido ampliamente utilizados en el diseño y construcción de rellenos, en los revestimientos tanto en las bases como en las coberturas; estos materiales son fabricados a partir de polipropileno, poliéster y alcohol poli vinílico, su durabilidad va a depender de del polímero usado. Dentro de este grupo se incluyen: geomallas, que pueden ser utilizados para reforzar las pendientes debajo de los desechos y reforzar el suelo cubierto por encima de las geomenbranas. Las georeds se utilizan para el drenaje en plano, las geomenbranas son láminas relativamente impermeables de formulaciones poliméricas que pueden ser utilizadas como barreras de líquidos: los geocompuestos consisten en dos o más materiales geosintéticos, que son usados para la separación, filtración o drenaje; forro de arcilla geosintética (GLCs) que son materiales compuestos por bentonitas y geo sintéticos que se pueden usar como barrera hidráulica o de infiltración, las geotuberías que son utilizadas en aplicaciones para facilitar la colección y rápido drenaje de lixiviados a un sumidero y al sistema de remoción, los geotextiles se emplean para propósitos de filtración o como amortiguador para proteger a la geomenbrana de perforaciones. (Shi & Caiju, 2008) (Jeon, 2012).

#### **3.4.2.6 *Maquinaria***

La selección del equipo y maquinaria debe basarse en el uso primario y en su capacidad del mismo para adaptarse a las condiciones del sitio como características del suelo, topografía, características de los residuos sólidos, cantidad de equipo, tasa de entrega y el presupuesto (Sandoval, 2009).

Para compactar y distribuir los residuos sólidos se utiliza el tractor sobre cadenas con hoja tapadora (bulldozer) o el compactador pata de cabra con hoja tapadora; para las tareas de excavación del suelo, transporte de material o realizar la cobertura diaria se utilizan los cargadores frontales, cargadores sobre cadenas, excavadoras sobre cadenas, excavadoras con palas frontales; para la etapa de compactación se utiliza las compactadoras con ruedas

neumáticas, compactadoras de tambor autopropulsadas. Las motoniveladoras se usan en la construcción y el mantenimiento de los caminos, terraplenes, canales de drenaje, perfilar y nivelar el material de cobertura y los raspadores que se usan para excavar, transportar y distribuir grandes volúmenes de suelo en superficies planas o moderadamente onduladas (Sandoval, 2009).

El problema asociado con el uso de maquinaria, es que el uso constante de camiones pesados y equipos para transportar el material de drenaje al vertedero y esparcir el material dentro de las celdas puede dañar la capa de protección inferior. El nivel de daño depende del manejo de los vehículos y la maquinaria, si los vehículos se giran o la maquinaria se mueve en el suelo del vertedero a menudo provoca roturas y daños en el revestimiento; por esto es importante asegurarse de usar los vehículos apropiados para el transporte del material y el equipo para esparcir el material en el fondo de las celdas para prevenir daños (Kapila & Bodoga, 2016).

#### ***3.4.2.7 Manejo de lixiviados***

En los vertederos se generan efluentes líquidos llamados lixiviados, que son mezclas de numerosos químicos que se originan por el paso del agua a través de los desechos y la saturación con materia orgánica e inorgánica (Kalil et al, 2018). Las características del lixiviado producido dependen de varios factores, incluido el grado de estabilización de los desechos vertidos, sistema de recolección de residuos, el tipo y composición de los residuos descartados, la solubilidad de los residuos sólidos contenidos, factores hidrológicos e in situ, grado de compactación, diseño de los vertederos y sus operaciones (Noerfitriyani et al, 2018). Los lixiviados contienen materia orgánica disuelta, compuestos inorgánicos (amonio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, sulfatos, compuestos clorados y metales pesados como cadmio, cromo, cobre, plomo, zinc y níquel) y sustancias xenobióticas orgánicas que pueden penetrar en el suelo para contaminar las fuentes naturales de agua (Sunday & Eigbokhan, 2016). De acuerdo con el cuadro 1.2, la calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía gradualmente en el tiempo, los lixiviados de las áreas de los relleno sanitarios que han sido recientemente rellenos producen un lixiviado altamente contaminante denominado lixiviado joven. La concentración de contaminantes disminuye continuamente con el tiempo, sin embargo, en algunos casos como los metales que presentan reacciones de óxido-reducción

puede ocurrir que la concentración aumente; la relación DBO/DQO para un lixiviado joven es alta, indicando una buena degradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica (Zambrado, 2018).

**Cuadro 1.2. Clasificación de los lixiviados de acuerdo a los cambios en la composición (Fuente: Peng, 2013).**

<b>Tipo de lixiviado</b>	<b>Joven</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Estabilizado</b>
Tiempo (años)	< 5	5-10	> 10
Ph	< 6.5	6.5-7.5	> 7.5
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo
Kjeldahl nitrógeno (g/L)	0.1 - 0.2	-	-
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	<400	-	> 400
TOC/COD	<0.3	0.3-0.5	> 0.5
Metales pesados (mg/L)	Bajo a medio	Medio	Bajo
BOD5/COD	0.5-1.0	0.1-0.5	<0.1
COD	>10 000	4000-10 000	<4000

El vertedero debe tener una barrera de lixiviados para contenerlos y evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. (EPA, 2016) Posteriormente deben recolectarse a través de un sistema que consiste en una zanja de poca pendiente generalmente excavada en el suelo. Para construirlo se coloca una membrana geotextil porosa a lo largo de la zanja y se colocan rocas de gran diámetro en la parte superior, una vez que las rocas están colocadas correctamente la membrana se pliega envolviendo las rocas. Luego se extiende una capa de arena gruesa sobre la membrana para una mayor protección contra la obstrucción del geotextil y finalmente se aplica lodo en la parte superior (Luduvic & Fernandes, 2007).

Una vez que los lixiviados han sido recolectados deben almacenarse en presas o tanques, tratarse y eliminarse para no causar daño ambiental como la contaminación del agua y generación de olores (EPA, 2016). Actualmente se usan muchos métodos diferentes para tratar el lixiviado de los vertederos, la mayoría de estos métodos están adaptados al tratamiento de aguas residuales y se pueden dividir en dos categorías: tratamientos biológicos y tratamientos físico-químicos. Algunos de estos son: tratamiento biológico aeróbico como lagunas aireadas y lodos activados, biológico anaeróbico como lagunas anaeróbicas y reactores; tratamiento fisicoquímico como eliminación de aire, ajuste del pH, precipitación química, oxidación y reducción; coagulación con cal, alumbre, cloruro férrico y tratamiento

de la tierra, técnicas avanzadas como adsorción con carbono e intercambio de iones (Raghab et al, 2013).

También se puede recircular los lixiviados a la masa de desechos, para que todos los compuestos tóxicos que son dañinos para el medio ambiente se eliminen por completo, este método solo es posible si el vertedero es operado como un biorreactor. El biorreactor aumenta la humedad contenida en los residuos, entonces los residuos son descompuestos y estabilizados rápidamente; ya que través de la recirculación de los lixiviados el contenido de agua, los nutrientes, enzimas y las bacterias son distribuidas equitativamente en el vertedero (Yaman & Küçükağa, 2017).

#### ***3.4.2.8 Gestión de gases del vertedero***

Las prácticas de gestión de gases del vertedero se ponen en práctica para minimizar las emisiones a la atmósfera y a través del estrato superficial, minimizar los gases de efecto invernadero, las emisiones de olores molestos, el riesgo de explosiones y/o utilizar las emisiones para la conversión energética (EPA, 2016).

El sistema de recolección de gas generalmente consiste en tuberías perforadas, colocadas verticalmente, externamente rodeadas por rocas para mantener los agujeros libres de obstrucciones y separados horizontalmente a no más de 50 metros uno del otro. Generalmente se colocan encima del sistema de recolección de lixiviados facilitando la circulación del gas (Luduvic & Fernandes, 2007).

La utilización del gas del vertedero implica la recolección y procesamiento de los gases derivados de la descomposición de los desechos sólidos con el fin de utilizarlo para producir electricidad, combustible, calor y diversos compuestos químicos útiles (Njoku, et al, 2018).

#### ***3.4.2.9 Gestión de aguas pluviales***

La gestión de aguas pluviales es la clave para minimizar la erosión y la formación de lixiviados por la infiltración a través del sistema de cobertura (ISWA, 2016). Los sistemas pluviales de drenaje están destinados a desviar el agua de lluvia; su red debe diseñarse de acuerdo con la topografía del sitio, evitando el sistema de recolección de lixiviados del relleno sanitario y la erosión del suelo en el punto de descarga, los colectores de drenajes

permanentes generalmente están hechos de tuberías de concreto abiertos, mientras que los sistemas de drenaje temporal pueden consistir en tuberías de metal corrugado o canales de piedras. Estos sistemas deben ser compatibles con el tamaño del área de captación, permeabilidad del suelo superficial, tasa de precipitación y otras características (Luduvic & Fernandes, 2007).

#### ***3.4.2.10 Monitoreo de la calidad del agua***

Se debe llevar a cabo un programa de monitoreo de la calidad del agua, en el cual se caracterice la calidad y cantidad de agua residual generada en el sitio, así como detectar cualquier contaminación en el sitio ya sea agua superficial o subterránea y seguir procedimientos de investigación y correctivos cuando el monitoreo indique que la contaminación ha ocurrido (EPA, 2016).

Un programa de monitoreo de agua superficial debe establecerse para detectar contaminación en cuerpos de agua fuera del sitio por lixiviados o por agua de lluvia cargada de sedimentos proveniente del vertedero (EPA, 2016). Para flujos de agua, debe haber al menos dos puntos de monitoreo, uno aguas arriba y uno aguas abajo, y ambos cercanos al sitio. Para aguas superficiales estancadas sensibles a pequeños cambios en la calidad del agua (como los humedales), al menos dos puntos de monitoreo corriente arriba y dos corrientes abajo, al menos un punto de monitoreo adicional dentro del área de captación de gradiente abajo si los receptores sensibles están potencialmente en riesgo (Wilson et al, 2001). Los parámetros que se deben medir son: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales suspendidos, nitrógeno, materia orgánica total, coliformes termo-tolerantes, sólidos disueltos totales y potasio (EPA, 2016). Para monitorear el agua subterránea el número y la configuración de los pozos de monitoreo son específicos del sitio donde el suelo de baja permeabilidad está presente, al menos tres pozos de monitoreo son necesarios para establecer el flujo de la dirección del agua subterránea. Como mínimo un pozo de gradiente ascendente para cada unidad de acuífero es necesario para establecer la calidad del agua. Al menos uno de los sitios debe estar dentro de la pluma de contaminante, si se ha establecido su presencia. Si se usa solo un pozo de monitoreo este debe estar en el sitio más bajo, adyacente a la punta del vertedero (Wilson et al, 2001). Los parámetros indicadores para el monitoreo del agua

subterránea son: pH, temperatura, nivel de agua, cationes y aniones, alcalinidad, materia orgánica total, metales y contaminantes orgánicos (EPA, 2016).

#### ***3.4.2.11 Otros aspectos***

Además de lo anterior también se debe controlar los olores, el ruido, el polvo, vectores y el riesgo de incendios.

Para minimizar las emisiones de olores ofensivos se debe aplicar la cobertura diaria e intermedia a los residuos, los desechos biodegradables se deben de enterrar inmediatamente, en el sistema hidráulico de lixiviados se deben usar herrajes herméticos en tubos ascendentes y tuberías, reducir las filtraciones de lixiviados provenientes de los vertederos, detener la reinyección de lixiviados dentro de los desechos si esto interfiere con el sistema de gestión de los gases y conduce a problemas de olores (EPA, 2016).

Se deben aplicar medidas para mitigar el ruido al mínimo, todos los equipos y maquinaria pesada debe mantenerse en buenas condiciones en todo momento para evitar ruidos y vibraciones innecesarias. Los trabajadores deben de estar provistos de equipos de protección personal para minimizar la exposición, también se debe aplicar control de ingeniería para la reducción en las fuentes o desvío de la trayectoria de las ondas sonoras (Omar et al, 2012).

Para minimizar los impactos en la calidad del aire debido a la emisión de polvo se debe de minimizar el área de suelo expuesta, estabilizar las áreas expuestas y la existencia de material polvoriento, replantar las áreas expuestas lo más pronto posible, rociar agua para eliminar el polvo, instalar barreras contra el viento para desviarlo de áreas erosionables y reducir al mínimo el material polvoriento que llega a las corrientes de viento (EPA, 2016).

Las moscas, mosquitos, ratas, gatos y aves (típicos vectores de enfermedad) son atraídos por desechos de alimentos y agua estancada en los vertederos. Para combatir los vectores es recomendable no utilizar o usar el mínimo de rodenticidas o insecticidas porque su empleo contamina el ambiente y a largo plazo hace que los vectores desarrollen resistencia a los agentes químicos; la mejor manera de controlarlos es mantener los residuos cubiertos, de hecho, la presencia de insectos y roedores al igual que aves carroñeras es un indicador de la falta de material de cobertura. Para el control de las aves se pueden usar otras técnicas más complejas como redes, trampas o dispositivos acústicos para asustar aves (QDES, 2013) (OPS, 2004).



Los incendios en los vertederos son difíciles de extinguir, así que el primer objetivo debe ser prevenirlos. Se debe de remover las fuentes de ignición, se debe informar al público que los líquidos inflamables no son permitidos en el sitio, todos los combustibles o solventes inflamables para usos operacionales deben ser almacenados en lugar seguro y ventilado, no quemar residuos, no encender fogatas en las áreas cercanas, si hay materiales de cobertura que está formado por componentes combustibles estos deben ser gestionados adecuadamente. Si el fuego comienza, el equipo extintor de fuego debe estar disponible en cualquier momento para poder responder rápidamente, debe haber disponible un suministro de agua con un sistema de entrega, reservas de agua de lluvia y agua subterránea pueden ser útiles para combatir los incendios. (QDES, 2013) (EPA, 2016)

#### ***3.4.2.12 Revegetación del sitio y gestión a largo plazo***

La capa de revegetación tiene que ser mínimo de 1000 milímetros de grosor y que sean de suelos limpios y la vegetación debe tener un sistema de raíces que no vaya a penetrar dentro de las capas inferiores, la parte superior debe ser una capa de suelo superficial que incluya abono para ayudar a las plantas a establecerse y crecer (EPA, 2016).

#### ***3.4.2.13 Monitoreo después del cierre***

Los vertederos deben ser gestionados y controlados a fin de evitar riesgos sobre los humanos y el medio ambiente. Para determinar la duración del cuidado posterior del vertedero se puede usar como medida la relación líquido- sólido, cantidad de agua en litros que ha pasado por a través de un kilogramo de residuos sólidos secos. Por ejemplo en climas tropicales, donde la altura promedio de un vertedero es de 20 metros, una densidad de desechos de 800 kg/m<sup>3</sup> y una tasa de generación de lixiviados de 1000 mm/año, alcanza un valor de 5 litros/ kg de desechos (que es considerado necesario para reducir el potencial de emisión a un nivel aceptable y por lo tanto terminar el cuidado posterior del vertedero) después de aproximadamente 50 años, en comparación para climas templados la misma relación (L/S) se alcanzaría en 250 años. (ISWA, 2013). También se puede considerar la vida útil de vertedero posterior al cierre de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos, se considera de una vida útil de 50 años para vertederos con menos de 100 000 toneladas de RSU en el lugar, 100 años para sitios con menos de un millón de toneladas de RSU y 200 años en casos con más

de un millón de toneladas; en ningún caso el período pos-cierre será inferior a 30 años (BCME, 2016).

Después del cierre técnico se deben realizar los siguientes controles: levantamiento topográfico del terreno, control visual una vez al año de asentamientos y derrumbes, se debe controlar entre 2 a 4 veces por año durante los primeros 5 años las fugas de gas del relleno fuera del área, estado de la reforestación sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor; se debe realizar mantenimiento de las vías principales de forma que se pueda acceder a las celdas para verificar que no existan agrietamientos y continuar con el mantenimiento de la infraestructura en funcionamiento (MMAyA, 2010).

### **3.4.3 Restauración del vertedero**

La rehabilitación progresiva de un vertedero implica el cierre y la rehabilitación de un área una vez que se ha completado el llenado. Estos trabajos son efectivamente un cierre por etapas del relleno sanitario que ocurren mientras que las otras celdas activas del vertedero se están llenando; los trabajos de rehabilitación de celdas de un vertedero pueden incluir: tapado y revegetación, infraestructura de instalación y mantenimiento, así como el desmantelamiento de la infraestructura que ya no es necesaria (QDES, 2013).

El plan de rehabilitación debe de estar acorde con el uso posterior al sitio y proporcionar un plan para los contornos de la superficie final y el diseño de la cobertura del vertedero, este plan debe incluir (QDES, 2013):

- Requisitos operacionales para garantizar que la cobertura este bien diseñada para adaptarse al uso posterior previsto.
- Especificaciones y materiales para ser utilizados en la capa final.
- Preservación e instalación del control del rendimiento ambiental o funciones de monitoreo de lixiviados y gases, drenaje de las aguas superficiales.
- Manera en que se logrará recuperar los costos para los trabajos de rehabilitación durante la vida económica del vertedero
- Una forma de cumplir con los requisitos de aseguramiento financiero.
- Un esquema de línea tiempo con los factores desencadenantes para la rehabilitación.

La regeneración de estas zonas comprende la gestión, rehabilitación, y retorno al uso beneficioso del lugar de manera que se garantice la satisfacción continua de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras en condiciones ambientalmente sensibles, económicamente viables, sociales e institucionalmente sólidas y aceptables dentro del contexto particular de la región; la remediación requiere atención en los efectos ecológicos y visuales; si el área está abandonada, infravalorada o incomprendida, el diseñador es el responsable de determinar que debe retenerse, transformarse y reemplazarse (Khalizah et al, 2016). Estos sitios son típicamente largos tractos de terreno que están cerrados al público y tienen poco valor ecológico; inclusive algunos vertederos antiguos y abandonados pueden tener desechos expuestos que no hayan sido cubiertos de acuerdo a los estándares normativos de hoy en día. Los vertederos pueden ser transformados en lugares abiertos seguros y funcionales que contengan prados, senderos, parques con vistas, patios infantiles o campos de golf. (VanGuilder, 2012) (Evans & Glutz, 2014; estos espacios verdes proveen servicios ecológicos, como la mejora de la calidad del agua, la reducción de gases de efecto invernadero, mejora la participación y la libertad del usuario en la conservación de la naturaleza (Madurapperruma & Kurupparachchi, 2016). -

La restauración del sitio contaminado se logra por medio de varias etapas. La primera acción de remediación es el proceso de nivelación del suelo, esta capa de suelo proporciona una separación entre los residuos y los organismos vivos. La identificación de bioindicadores como microorganismos, plantas o animales, servirán para monitorear la salud del ecosistema. Se puede llevar a cabo biorremediación con microorganismos, plantas o enzimas para descomponer sustancias químicas o contaminantes. Por medio de la revegetación, se puede aplicar al mismo tiempo la fitoremediación, numerosos estudios han demostrado que árboles y otras plantas tienen la capacidad para absorber, convertir o contener una variedad de contaminantes incluidos los metales pesados y compuestos orgánicos volátiles (Khalizah et al, 2016). Una vez que el ecosistema rehabilitado ha alcanzado calidad y salud óptimas se procede a habilitarlo para su uso.

#### **3.4.4 Costos y financiamiento**

Una vez que se tiene el plan de acción para el cierre del botadero se procede a conocer la cantidad de dinero que se va a requerir para llevar a cabo las actividades programadas

(CYMA, 2008). Los costos de clausura se componen de gastos de capital y gastos operacionales. Los gastos de capital se componen de: material final de cobertura, sistemas de control de drenaje, materiales para vallas, sistemas de manejo de lixiviados y gases, monitoreo de pozos, señalización, reubicación de poblaciones informales, plantaciones; y los costos operacionales se componen de: alquiler de equipo pesado (si la municipalidad cuenta con el equipo, solo debe tomarse en cuenta los costos de mantenimiento), requisitos de mano de obra (que incluyen peones, expertos o consultores), servicio eléctrico (esto puede ser necesario para el funcionamiento de las bombas y la iluminación en el área) (UNEP, 2005). También deben considerarse los gastos en el período post clausura donde se debe de dar mantenimiento a los sistema de cobertura, de recolección de lixiviados, de monitoreo de agua subterránea y al sistema de monitoreo de gases (EPA, 2014).

Además, se requiere la elaboración de un flujo de caja o de efectivo y la identificación de las posibles fuentes de recursos tanto nacional e internacional. Las municipalidades cuentan con recursos procedentes de las tarifas del servicio público, las cuáles pueden ser recalificadas dos veces al año (CYMA 2008). Otras alternativas para el financiamiento es la creación de economías de pequeña escala con proyectos de explotación de productos potenciales (biogás y compost) y la explotación de materiales reciclables. También se puede buscar financiamiento a través de subvenciones y préstamos para esto existen dos tipos de instrumentos, los préstamos especializados para el cierre de vertederos obtenidos de bancos privados y las subvenciones provistos por organizaciones y bancos de desarrollo internacional. (ISWA, 2016). Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo otorga préstamos de inversión para financiar bienes, obras públicas y servicios para promover el desarrollo social y económico; pues entre los objetivos de esta entidad financiera está reducir la pobreza, abordar las necesidades de los países pequeños, direccionar la sostenibilidad ambiental, entre otras metas (BID, 2018). Otra posible solución para el financiamiento, es el crédito de carbón, que consiste en un instrumento financiero que representa una tonelada de dióxido de carbono o un equivalente de gas de efecto invernadero que se reduce de la atmósfera; los proyectos que prevengan o remuevan gases de efecto invernadero son elegibles para obtener estos créditos, en este certificado comercial los países industrializados pagan para compensar sus emisiones de carbono; un ejemplo donde se implementó este instrumento fue en el año 2007 que la Corporación Municipal de Mumbai decidió embarcar

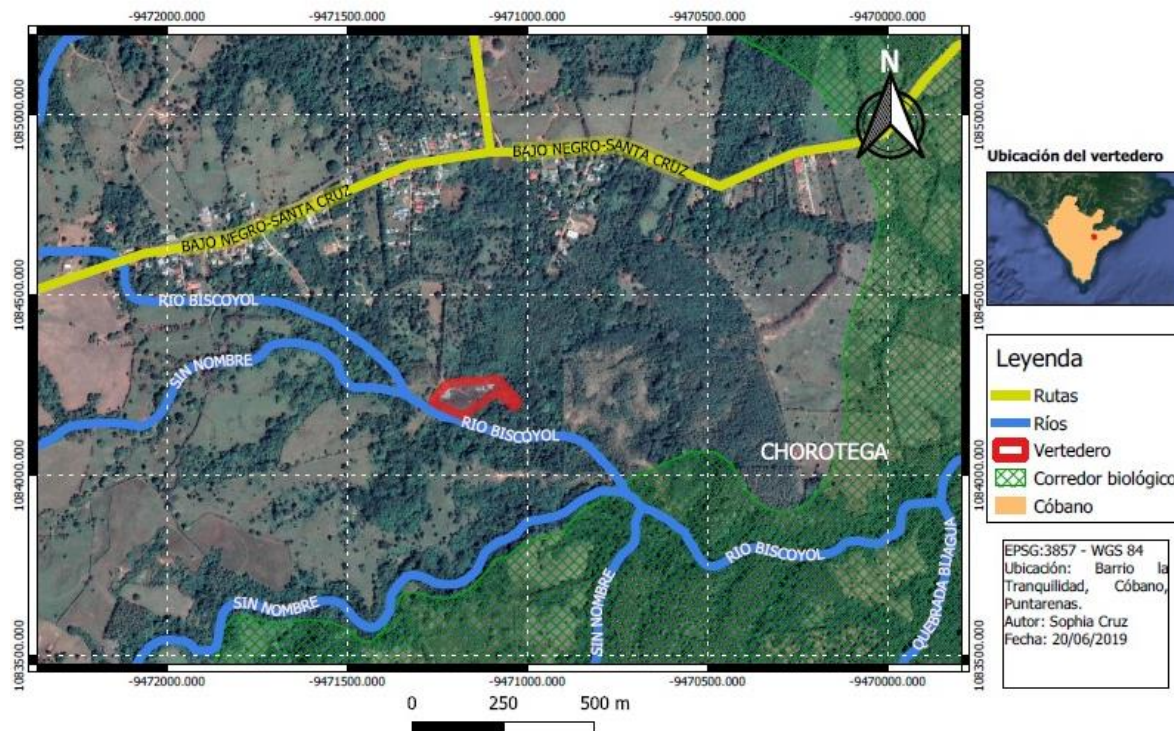
la Clausura del Vertedero de Gorai y el Proyecto de Captura de Gas con el fin de convertirlo en un área sostenible, el proyecto tuvo un costo total de 9,31 millones de dólares y se financió el 56% a través de los créditos de carbono. (ASB, 2016)

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se hace una descripción de la zona de estudio y posteriormente se describen los procedimientos que se llevaron a cabo para obtener las estimaciones de vida útil del vertedero, el caudal de lixiviados, el caudal de agua pluvial, las dimensiones de los distintos elementos de diseño y el manual de operación y mantenimiento.

### 4.1 LUGAR DE ESTUDIO

El vertedero municipal del distrito de Cóbano se encuentra en Barrio La Tranquilidad, tal como se observa en la figura 2.1, colinda con el río Bizcoyol y se encuentra aproximadamente a 500 m del corredor biológico Chorotega (conocido como Corredor Biológico Peninsular) y a 600 metros de la ruta nacional 160 (Bajo Negro - Santa Cruz). El área total de la finca, donde se ubica el vertedero, es de 48 083 m<sup>2</sup>, la finca se comunica con la calle principal por un camino de acceso de 700 metros (Plano Catastral: P-678648-2001).



**Figura 2.1** Mapa del vertedero en el distrito de Cóbano, Puntarenas, QGIS. Nota: Los elementos fueron etiquetados de acuerdo a la información incluida en las capas del Atlas de Costa Rica 2014.

#### **4.1.1 Caracterización del suelo**

El distrito de Cóbano presenta un tipo de suelo dentro del orden Alfisoles, este orden junto con los Ultisoles pertenece a los suelos más viejos y meteorizados del país, los Alfisoles presentan subhorizontes más básicos y particularmente en Costa Rica se presentan en ambientes más secos. Las áreas principales de alfisoles se ubican en la península de Nicoya, estos suelos rojos ocupan por lo general las partes altas de las cuencas y las posiciones más altas de las pendientes, o sea aquellas zonas que no han estado sujetas a proceso alguno de rejuvenecimiento y por el contrario han estado sometidas a constante lixiviación. La coloración de estos suelos se debe principalmente al grado de hidratación del hierro (Fe) el cual en su forma oxidada confiere tonalidades pardo rojizas o rojizas en las partes cóncavas del relieve y en su forma hidratada da cabida a los colores pardo amarillentos y amarillentos en las depresiones convexas de estos paisajes (Henríquez et al, 2014). Más específicamente el suelo de la zona de estudio pertenece al suborden Ustalfs (En el Anexo 3 se presenta el mapa de Costa Rica con los tipos de suelo por regiones), estos suelos son usualmente húmedos pues se encuentran bajo la influencia de un clima tropical húmedo con temperaturas medias superiores a 25 °C y diferencias térmicas entre la media del verano y la del invierno inferiores de 5°C (OSDE, sf).

#### **4.1.2 Características climatológicas**

La zona de estudio se ubica en la región climática del Pacífico Norte en la cual el período seco va de diciembre a marzo, en este período precipita un 4% del total de lluvia anual y los vientos alisios son predominantes, abril es un mes de transición y en mayo se establecen las lluvias alrededor de la tercera parte del mes, el primer período lluvioso se da entre mayo y agosto cuando precipita el 50% del total, en junio ocurre el primer máximo de lluvia al intensificarse los vientos suroestes, que provocan tormentas locales y fuertes aguaceros. Entre julio y agosto los vientos alisios vuelven a intensificarse y se presenta el veranillo del Pacífico o canícula. Un segundo período lluvioso se extiende desde septiembre a noviembre, durante septiembre y octubre se produce el mayor aporte de lluvia, asociado con una mayor influencia de eventos ciclónicos, el 46% de la lluvia anual precipita en este segundo período lluvioso, noviembre es un mes de transición hacia el período seco (IMN, 2019). Para hacer

el análisis completo de las características climatológicas de la zona, en el anexo 1 se presenta una recopilación histórica de los datos climatológicos del distrito de Cóbano para el período 2013 a 2018.

#### 4.1.3 Determinación del impacto por lixiviados en el río Bizcoyol

Para determinar el impacto ambiental por lixiviados se tomaron muestras del cuerpo hídrico que corre contiguo al vertedero, en tres puntos distintos para analizar si hay cambios significativos en las características fisicoquímicas de la calidad del agua, estos puntos fueron: aguas arriba, en el proyecto y aguas abajo, con una distancia entre el punto de monitoreo ubicado aguas arriba al botadero de 30 metros y de igual forma para el punto ubicado aguas abajo. Los parámetros que se midieron fueron: DBO, DQO, sólidos totales, cromo total, plomo, mercurio y níquel, los cuáles se consideran como los parámetros mínimos necesarios en una inspección en el Artículo 20 del Reglamentos sobre Rellenos Sanitarios de Costa Rica (No 27378-S9). Se realizaron cuatro muestreos, dos al final de la época seca (2 y 10 de mayo) y dos al inicio de la época lluviosa (30 de mayo y 6 de junio), en total se tomaron doce muestras las cuáles fueron analizadas por el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQUIATEC); en el apéndice 2 se presentan las fotos de los sitios de muestreo y las ubicaciones en google maps. Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23rd edición del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2017. Cada uno de los parámetros y métodos se explican en el cuadro 2.1:

**Cuadro 2.1 Métodos utilizados para determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el agua residual.**

Parámetro	Definición	Método	Descripción
Demanda química de oxígeno	Se define como la cantidad de oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas, la cantidad de oxidante se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno.	Método colorimétrico de reflujo cerrado (5220-D)	La mezcla se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso de dicromato de potasio, después de la digestión el dicromato no reducido se mide en un espectrofotómetro para



			conocer la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable.
Demanda bioquímica de oxígeno	Se utiliza para determinar los requisitos relativos de oxígeno de las aguas contaminadas. La prueba mide el oxígeno molecular utilizado durante la incubación para: degradar bioquímicamente el material orgánico, oxidar material inorgánico, medir la cantidad de oxígeno utilizar formas reducidas de nitrógeno.	Test de DBO de 5 días (5210-B)	El método consiste en incubar la muestra a una temperatura específica durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y después la incubación, la DBO se calcula a partir de la diferencia entre el OD inicial y final.
Sólidos totales	Los sólidos se refieren a la materias suspendida o disuelta en el agua. Los sólidos totales incluyen sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales.	Sólidos totales secado a 103 – 105 °C (2540-B)	Una muestra bien mezclada se evapora en un plato (recién pesado) y se seca a peso constante en un horno a una temperatura de 103 a 105 °C, el aumento de peso respecto al del plato vacío representa los sólidos totales.
Cromo total, plomo y níquel	Los efectos de los metales en los cuerpos de agua varían desde beneficiosos hasta problemáticos y peligrosamente tóxicos. Aunque algunos metales son esenciales para los seres vivos a ciertas concentraciones también pueden volverse	Metales en agua por espectrofotometría de absorción atómica electro térmico (3113-B)	La muestra se prepara utilizando un procedimiento apropiado de digestión de metales, y se analiza mediante un espectrómetro de absorción atómica de horno de grafito (GFAA) para cuantificar la concentración de metales en la muestra.
Mercurio		Generación de hidruros en flujo	Este método es aplicable a la determinación por conversión

tóxicos en aguas a ciertos niveles.	continuo- Espectrometría de absorción atómica (3114-C)	de los hidruros de los metales mediante reactivo de boro hidruro de sodio y transporte a un atomizador de absorción atómica.
-------------------------------------	---	--

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd (2017).

Las concentraciones obtenidas se compararon con el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (N° 33903-MINAE-S), para determinar si sobrepasaban los límites permisibles.

#### **4.1.4 Diseño del vertedero controlado**

##### ***4.1.4.1 Levantamiento topográfico***

En primer lugar, se realizó el levantamiento topográfico del terreno por medio de un dron de la marca DJI, modelo Phantom 4 Pro, en el apéndice 1 se presenta una foto del mismo; la recolección de estos datos se realizó el día lunes 17 de diciembre del 2018 en el vertedero en Barrio la Tranquilidad, con el apoyo del Ingeniero Steve Calvo. el dron equipado con una cámara fotográfica recorrió el terreno unos cuantos minutos, mediante las imágenes captadas estas fueron procesadas y se obtuvo una nube de puntos que representan el relieve del terreno. Estos puntos se procesaron por medio del programa computacional CivilCAD del cual se generaron las curvas de nivel.

##### ***4.1.4.2 Proyección de la población futura***

Para realizar la proyección de la población para el período del 2020 al 2029 se empleó la fórmula de Crecimiento Poblacional Compuesto de la ecuación 1 (Jaramillo, 2009):

$$P_t = P_0(1 + r)^t \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

P<sub>t</sub>: Población en el año t

P<sub>0</sub>: Población en el año cero

r: tasa de crecimiento de la población total

t: período

Para estimar la tasa de crecimiento poblacional se tomó como base los registros del 2008 al 2018 del Instituto Nacional de Estadística y Censos.

#### 4.1.4.3 Dimensiones del vertedero

Para calcular las dimensiones del vertedero se sigue la siguiente secuencia ecuaciones de la 2 a la 10 (Sandoval, 2009):

Cantidad diaria de residuos sólidos:

$$RS_d = P \times PPC \text{ (Ecuación 2)}$$

$R_d$  = cantidad de residuos sólidos diarios (kg/día)

$P$  = población total anual

$PPC$  = producción per cápita de residuos sólidos

Cantidad anual de residuos sólidos:

$$RS_a = RS_d \times 365 \text{ días (Ecuación 3)}$$

Volumen de residuos sólidos diarios compactados:

$$V_d = \frac{RS_d}{\rho_a} \text{ (Ecuación 4)}$$

$\rho_a$  = densidad de los residuos sólidos medianamente compactados, se considera una densidad de 450 kg/m<sup>3</sup> (Tchobanoglous, 1995).

Material de cobertura diaria:

$$MC_d = V_d \times 0.2 \text{ (Ecuación 5)}$$

Material de cobertura anual:

$$MC_a = MC_d \times 365 \text{ días (Ecuación 6)}$$

Volumen de residuos sólidos estabilizados anual:

$$V_e = \frac{RS_d}{\rho_b} \times 365 \text{ días (Ecuación 7)}$$

$\rho_b$ = densidad de los residuos sólidos bien compactados, se consideró una densidad  $600\text{kg/m}^3$  (Tchobanoglous, 1995).

Volumen anual necesario en el relleno sanitario:

$$V_r = V_e + MC_a \text{ (Ecuación 8)}$$

El Volumen del relleno sanitario se obtiene sumando todos los volúmenes de cada año:

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_r \text{ (Ecuación 9)}$$

Área por rellenar:

$$A_R = \frac{V_t}{H} \text{ (Ecuación 10)}$$

H: altura del relleno estimada

#### **4.1.4.4 Estimación de la generación de lixiviados**

Para calcular la generación de lixiviados se procedió a utilizar el método de balance de agua desarrollado por Thorntwaite (EPA, 1975), el cual consiste en sumar las entradas de agua y restarle las salidas de agua que ocurren en un relleno sanitario y así se estima la percolación de lixiviados en el suelo a partir de la ecuación 11 hasta la 18.

$$Perc = R + P - ECR - \Delta ST - ETR \text{ (Ecuación 11)}$$

Donde:

R: humedad en los residuos que ingresan al relleno sanitario.

Perc: cantidad de líquido percolado (mm)

P: precipitación (mm)

ECR: escorrentía superficial (mm)

$\Delta ST$ : cambio en la humedad del suelo de mes a mes

ETR: evapotranspiración real (mm)

Cálculo de la humedad en los residuos sólidos.

Para calcular la humedad que aporta los residuos en el proceso de descomposición se sigue la siguiente fórmula:

$$R = \frac{h*V}{A} \text{ (Ecuación 12)}$$

Donde:

h: porcentaje de humedad en los residuos sólidos

V: volumen de los residuos sólidos.

A: área de infiltración.

Cálculo de escorrentía superficial.

Para determinar la cantidad de agua que escurre por el suelo, se usó la siguiente ecuación (EPA, 1975):

$$ECR = C * P \text{ (Ecuación 13)}$$

Donde:

C: coeficiente adimensional de Runnoff.

P: precipitación total (mm)

Infiltración

El agua de lluvia que se infiltra a través del suelo se obtiene de la diferencia entre la precipitación y la escorrentía (EPA, 1975):

$$I = P - ECR \text{ (Ecuación 14)}$$

Humedad del suelo (ST)

Cuando la infiltración es menor a la evapotranspiración potencial la humedad del suelo retenida se obtiene a partir de las tablas de Thornthwaite (Anexo 2) de acuerdo a la diferencia acumulada entre infiltración y evapotranspiración potencial, la tabla apropiada se seleccionó a partir de la capacidad máxima de retención de agua según el tipo de suelo. Cuando la infiltración es mayor a la evapotranspiración potencial la humedad del suelo es igual a la capacidad máxima de retención del suelo. El cambio de humedad del suelo ( $\Delta ST$ ) se obtiene a partir de la diferencia del mes actual al anterior.

Evapotranspiración potencial

La evaporación potencial se obtuvo a partir de la fórmula propuesta por Tosso (1975), que toma en cuenta los antecedentes climáticos de la zona, corresponde a la ecuación 15:

$$ETP = 0,328 * RE * CV * CEL * CTM * CHR * CTD * CP \text{ (Ecuación 15)}$$

RE: radiación extraterrestre en unidades de evaporación, mm/mes.

CV:  $0.41 + 0.92 * \frac{V}{10} - 0.33 * \left(\frac{V}{10}\right)^2$ ,  $v$  es velocidad del viento en km/h.

CEL:  $0.94 + 0.06 * \left(\frac{EL}{1000}\right)$ , EL es elevación en msnm.

CTM:  $0.12 + 0.92 * \frac{TM}{15} - 0.04 * \left(\frac{TM}{15}\right)^2$ , TM es temperatura media mensual en °C.

CHR:  $1.13 - 0.13 * \left(\frac{HR}{0.7}\right)^2$ , HR es el promedio mensual de la humedad relativa.

CTD:  $0.72 + 0.28 * \frac{\Delta T}{15}$ ,  $\Delta T$  es la temperatura máxima menos la mínima en °C.

CP:  $1.05 - 0.05 * \frac{P}{100}$ , P es precipitación mensual en mm.

Evapotranspiración real

Cuando la infiltración es mayor a la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real es igual a la potencial (EPA, 1975):

$$ETR = ETP \text{ (Ecuación 16)}$$

Sí la infiltración es menor a la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración real corresponde a (EPA, 1975):

$$ETR = ETP + (I - ETP) - \Delta ST \text{ (Ecuación 17)}$$

Caudal de lixiviados

El caudal de lixiviados se calcula como:

$$Q_l = Perc * \frac{A}{1000} \text{ (Ecuación 18)}$$

$Q_l$ : Caudal de lixiviados generados ( $m^3$ /mes)

Perc: líquido percolado en el suelo ( $L/m^2$ \*mes)

A: área de infiltración ( $m^2$ )

#### **4.1.4.5 Cálculo de los caudales de agua pluvial**

Los caudales pluviales se calcularon con la ecuación 19 (Morales, 2006):

$$Q = \frac{I * A * C}{3.6} \text{ (Ecuación 19)}$$

Donde:

Q: caudal pluvial (m<sup>3</sup>/s)

I: intensidad máxima de la zona (mm/h)

A: área de escurrimiento (km<sup>2</sup>)

C: coeficiente de escorrentía

En primer lugar, se empleó el software Hidroesta para generar las curvas de intensidad, duración, período de retorno; obteniendo de aquí la intensidad máxima. El área de escurrimiento se obtuvo a partir del diagrama del proyecto realizado en AutoCAD. El coeficiente de escorrentía se obtuvo a partir de la fórmula de Nadal presentada en la ecuación 20 (Asensio, Moreno & Gisbert, 2011):

$$C = 0.25 * K_1 * K_2 * K_3 \text{ (Ecuación 20)}$$

Donde:

K<sub>1</sub>: factor de extensión de la cuenca

K<sub>2</sub>: factor de lluvia mensual

K<sub>3</sub>: factor de pendiente y permeabilidad del suelo

#### **4.1.4.6 Diseño de los elementos del vertedero: celdas, tuberías de lixiviados, drenaje pluvial, chimeneas de gases.**

Para el diseño estructural y espacial de vertedero y sus elementos se empleó el software AutoCAD 2017. Además, para diseñar el canal pluvial también se empleó el software HCanales v3.0. Para el diseño del sistema de recolección de gas se toma en cuenta los criterios señalados en la literatura. Para este trabajo no se calcula los caudales de gas pues no se pretende llevar a cabo el aprovechamiento de biogás en el proyecto.

El cálculo de las características de las tuberías de lixiviados se calculó a partir de las ecuaciones 21 a 25 (Villón, 2007):

Caudal de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot (R_h)^{\frac{2}{3}} \cdot (S)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Radio hidráulico:

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Número de Froude:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot \frac{A}{T}}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

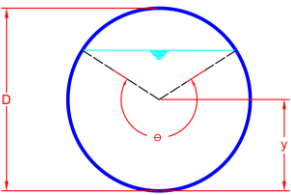
Fuerza tractiva:

$$F_t = \gamma \cdot R_h \cdot S \quad (\text{Ecuación 24})$$

Energía:

$$E = y + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ecuación 25})$$

**Cuadro 2.2. Dimensiones de la tubería circular.**

Tipo de sección	Área T (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)	Ángulo θ (rad)
	$\frac{D^2 \cdot (\theta - \text{sen } \theta)}{8}$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$\frac{D \cdot \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)}{4}$	$D \cdot \left(\text{sen } \frac{\theta}{2}\right)$	$2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot y}{D}\right)$
	(Ecuación 26)	(Ecuación 27)	(Ecuación 28)	o $2 \cdot \sqrt{y \cdot (D - y)}$	(Ecuación 30)
				(Ecuación 29)	

**Cuadro 2.3. Simbología de los parámetros de las fórmulas hidráulicas.**

Simbología	Parámetro
n:	Coficiente de rugosidad de Manning
A:	Área (m <sup>2</sup> )
Rh:	Radio hidráulico (m)
S:	Pendiente de Tubería (m/m)



P:	Perímetro mojado (m)
V:	Velocidad de diseño (m/s)
g:	Aceleración de la gravedad (m/s <sup>2</sup> )

#### **4.1.4.7. Cálculo de costos**

Además de los objetivos definidos en este trabajo se adiciona una sección de los costos en la construcción y operación del vertedero los cuáles se basaron en precios dados por la empresa gestionaora de residuos sólidos EBI, además de los salarios mínimos por ley para el recurso humano.

#### **4.1.5 Elaboración del Manual de Mantenimiento y Operación**

El manual se realizó a través de la revisión bibliográfica de distintas fuentes como manuales, informes, libros, páginas web. Se recopiló la información más importante respectos a las labores, indicaciones y procedimientos a llevar a cabo durante la operación y mantenimiento del vertedero, este informe se encuentra en la sección 5.6.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR LIXIVIADOS EN EL RÍO

A partir de los resultados proporcionados por el CEQUIATEC (Anexo 6) se logró determinar la calidad de la cuenca, de acuerdo a presencia o ausencia de contaminación por lixiviados provenientes del botadero. Los resultados del análisis de agua realizado al final del verano, respectivamente los días 2 de mayo y 9 de mayo, se presentan en el cuadro 3.1:

**Cuadro 3.1. Resultados de análisis fisicoquímicos del río Bizcoyol para los muestreos 1 y 2.**

Parámetros	Límites establecidos (mg/L)		Muestreo 1			Muestreo 2		
	Calidad Clase 1	Calidad clase 2	Aguas Arriba	En el botadero	Aguas abajo	Aguas Arriba	En el botadero	Aguas abajo
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	< 20	20 a < 25	(24 ± 2) <sup>d</sup>	(21 ± 2)	(22 ± 2)	< 10	< 10	(16 ± 1)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	≤ 3	3.1 – 6.0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sólidos Totales <sup>c</sup> (mg/L)	<10 <sup>a</sup> <250 <sup>b</sup>	10 a 25 250 a <500	232 ± 3	214 ± 3	(221 ± 3)	(246 ± 3)	(248 ± 3)	(274 ± 3)
Cromo total (mg/L)	< 0.05	0.5 a < 1	(0.008 ± 0.001)	(0.025 ± 0.001)	<0.005	< 0.005	< 0.005	<0.005
Plomo (mg/L)	< 0.03	0.03 a <0.05	< 0.01	< 0.01	<0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Mercurio (mg/L)	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Níquel (mg/L)	< 0.05	0.05	< 0.005	(0.008 ± 0.003)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005

Notas: a. Límite establecido para sólidos suspendidos totales. b. Límite establecido para sólidos disueltos. c. Se toma como límite 270 mg/L de sólidos totales. d. La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Para el análisis de la calidad del agua del río Bizcoyol se comparó los parámetros físicos y químicos con los límites de la clase 1, esta clase se considera el agua superficial de mayor calidad en el Reglamento de evaluación y clasificación de calidad de cuerpos de agua superficiales. Para el primer muestreo tanto aguas arriba, colindancia con el vertedero y aguas

abajo, los parámetros de DBO, sólidos totales, cromo total, plomo, mercurio y níquel se clasifican en la clase 1. Sin embargo, el DQO se encuentra arriba de 20 mg/L de concentración en este caso se clasifica en el rango de la clase 2, es importante tomar en cuenta que aguas arriba hay un sembradío y a lo largo del cauce existen actividades ganaderas que son las posibles causantes de esta contaminación puntual que se dio únicamente en el primer muestreo. Analizando el cambio en los parámetros físicos y químicos a lo largo de la trayectoria del río se observa cambios en el DQO, los sólidos totales y el níquel, sin embargo, los últimos dos se encuentran en la calidad de clase 1 que se interpreta como una cuenca sin contaminación. Tanto los sólidos totales como el DQO presentan los valores más altos aguas arribas, los sólidos totales representan la materia orgánica e inorgánica tanto disuelta como suspendida y el DQO es la medida de materia orgánica e inorgánica en términos de la cantidad de oxígeno disuelto requerido para la oxidación química completa de estos contaminantes (Calvo, 2018). Entonces, la concentración de DQO esto es un indicio de una fuente de contaminación incipiente a moderada aguas arriba del vertedero.

Para el segundo muestreo los parámetros de DQO, DBO, cromo total, plomo, mercurio y níquel están por debajo del límite de la calidad clase 1, exceptuando los sólidos totales únicamente en el punto de aguas abajo, con una concentración de  $(274 \pm 3)$  mg/L por lo tanto se encuentra dentro de la clase 2. En este caso el DQO presenta cambios entre los distintos puntos aumentando a  $(16 \pm 1)$  mg/L aguas abajo sin embargo se sigue encontrando dentro de la clase 1. Los sólidos van aumentando progresivamente hasta llegar a  $(274 \pm 3)$  mg/L aguas abajo llegando a la clase 2 lo cual es indicio de contaminación incipiente aguas abajo del vertedero, esto puede deberse a un origen natural pues está relacionado con el arrastre de suelo debido a la precipitación este hecho se respalda con las observaciones tomadas durante el muestreo (Anexo 4) pues simultáneamente estaba lloviendo aguas arriba del botadero.

Los resultados del tercer y cuarto muestreo realizados respectivamente los días 30 de mayo y 6 de junio, se presentan en el cuadro 3.2, tal como se observa en ambos períodos de muestreos los parámetros de DQO, DBO y metales se encuentran debajo del límite permisible para la clase 1, lo que demuestra que no hay evidencias de contaminación por lixiviados. Sin embargo, se dio un repunte en los sólidos totales en la tercera semana de muestreo, el día que se tomó la muestra llovía en el sitio y se registraron aguaceros en los 3 días anteriores, tal como se mencionó anteriormente la precipitación provoca el arrastre de sólidos del suelo en

la cuenca lo cuál es la causa natural de la contaminación. Para el último período de muestreo las concentraciones de sólidos totales disminuyen respecto al período anterior, para las tres estaciones los sólidos totales se encuentran por debajo de la clase 1, de igual forma las condiciones climáticas influyen en los resultados pues no se presentaron lluvias fuertes en las 48 horas anteriores.

**Cuadro 3.2. Resultados de análisis fisicoquímicos del río Bizcoyol de los muestreos 3 y 4.**

Parámetros	Límites establecidos (mg/L)		Muestreo 3			Muestreo 4		
	Calidad Clase 1	Calidad clase 2	Aguas Arriba	En el botadero	Aguas abajo	Aguas Arriba	En el botadero	Aguas abajo
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	< 20	20 a < 25	< 10	< 10	(12 ± 1)	<10	<10	(10 ± 1)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	<= 3	3.1 – 6.0	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Sólidos Totales <sup>c</sup> (mg/L)	<10 <sup>a</sup> <250 <sup>b</sup>	10 a 25 250 a <500	(263 ± 3)	(288 ± 3)	(261 ± 3)	(191 ± 3)	(192 ± 3)	(181 ± 3)
Cromo total (mg/L)	< 0.05	0.5 a < 1	(0.011 ± 0.002)	< 0.005	(0.008 ± 0.002)	<0,005	(0.009 ± 0.002)	(0.010 ± 0,002)
Plomo (mg/L)	< 0.03	0.03 a <0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	< 0.01
Mercurio (mg/L)	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001	<0.001	<0.001	<0.001	< 0.001
Níquel (mg/L)	< 0.05	0.05	(0.006 ± 0.004)	< 0.005	< 0.005	<0.005	<0.005	< 0.005

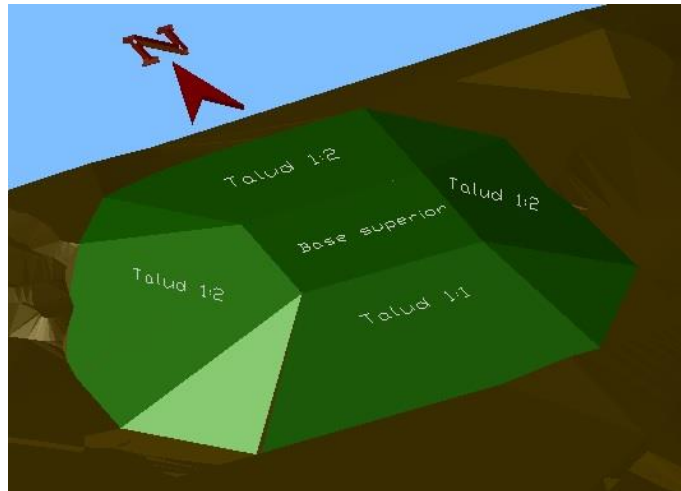
La baja contaminación que se presentan en el cuerpo de agua puede deberse a otros factores que pueden generar remediación, por ejemplo, los suelos orgánicos y las arcillas tienen una gran capacidad de intercambio de cationes, lo que hace que se retengan los metales contenidos en el lixiviado, retardando su tránsito hacia el subsuelo (Vázquez, 2001). También la influencia de la fitorremediación natural producto de las plantas que se encuentran en la zona pues algunas especies vegetales tienen la capacidad de remover, transferir, estabilizar, concentrar y destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos lodos y sedimentos (Jerez, 2013). Es importante tomar en cuenta que en el pasado se han presentado incendios,

lo cual permite deducir que este proceso descompuso la materia orgánica en gases de combustión, siendo otro factor que disminuye la generación de lixiviados.

## 5.2 DISEÑO DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS SÓLIDOS

En el diseño de las celdas de confinamiento de residuos se utilizó el método de área, que consiste en construir una plataforma con los residuos sólidos a partir del nivel del suelo, dando como resultado la expansión vertical del relleno sanitario, este sistema provee distintas ventajas: proporciona un uso óptimo del área actual del vertedero, bajos costos de construcción pues no hay necesidad de excavación de tierra, menos protesta pública pues no es necesario buscar un sitio nuevo para construir el sitio de disposición final. (Mariappan, 2017)

En la figura 3.1 se muestra el diseño correspondiente, el área total que ocupa el depósito es de 5290 m<sup>2</sup>, con un volumen de 34 209 m<sup>3</sup>. La conformación de las celdas se construirá de forma piramidal, formando taludes con pendiente 1:2 al norte, de 1:1 al sur y taludes al este y oeste con pendientes de 1:2; hasta alcanzar una cabecera de 600 m<sup>2</sup> a 15 m de altura, en los apéndices 8 se presenta la morfología de vertedero y los perfiles del proyecto (figuras A.8.1, A.8.2 y A.8.3 respectivamente) que ilustran las características anteriormente descritas. En el Anexo 3 se presenta la matriz para determinar la vida útil del vertedero, de acuerdo al volumen del depósito obtenido que incluye el volumen de los residuos sólidos compactados y el material de cobertura la capacidad de volumen de residuos sólidos del vertedero es 32 432 m<sup>3</sup>, por lo tanto, para una producción per-cápita de residuos de 1.01 kg, un 86% de cobertura de recolección, un crecimiento poblacional del 2% anual y en la situación actual donde no se está desechando el 100 % de los residuos sólidos la vida útil del vertedero es de 4.3 años aproximadamente. Si se aprovechará el 63% de los residuos orgánicos para el compostaje y el mismo como material de cobertura la vida útil aumentaría a 11,4 años.



**Figura 3.1. Vista lateral suroeste del depósito de residuos sólidos.**

Una vez que inicie la construcción del proyecto se debe de colocar un sistema de impermeabilización ver figura 3.2, en la cual se compone de varias capas, la función de cada una se explica a continuación:

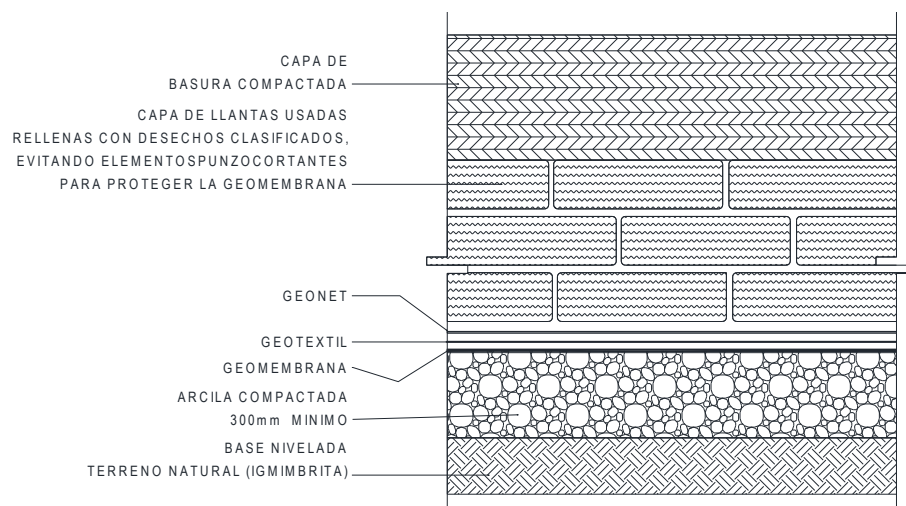
-Capa de arcilla compactada: sobre el terreno natural nivelado se coloca una capa de arcilla compactada de 300 mm de ancho como mínimo.

-Geotextil: Este elemento cumple con varias funciones en la impermeabilización del suelo del vertedero, el geotextil absorbe esfuerzos de tensión mejorando la capacidad portante del terreno permitiendo la distribución de las cargas sobre el suelo, protege a la membrana de punzamiento y desgarramiento, disipa la presión hidrostática sobre la geomembrana impermeable, permite el paso del agua a través de los poros impidiendo que las partículas finas atraviesen el geotextil y conduce el agua al sistema de drenaje (Cidelsa, 2017)

-Geomembrana: la geomembrana de polietileno se caracteriza por tener gran resistencia a intemperismo, UV y agentes químicos, por lo que resulta una alternativa eficiente y de bajo costo para impermeabilizar obras, además, se puede aplicar para cubrir rellenos sanitarios, pilas de lixiviación y canales. Igual que el geotextil puede soportar el contacto con los compuestos del lixiviado pues tiene una excelente resistencia química tanto para ácidos como alcalinos. (Cidelsa, 2017).

Geonet: Extrusión continua de costillas poliméricas con ángulos agudos entre sí, formando una red. Su función está enfocada completamente en facilitar el transporte de líquidos y gases (Roads & Bridges, 2019)

Capa de llantas: se rellenan de desechos clasificados para evitar que pasen elementos punzocortantes a las capas inferiores.



**Figura 3.2 Impermeabilización del vertedero.**

### 5.3 SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS

Para el diseño del sistema de recolección de lixiviados primero se calculó el volumen de los lixiviados esperados a generarse, este procedimiento se realizó por medio del Método de Balance de Agua desarrollado por la EPA (1975), en el cuál los factores climatológicos, el tipo de residuos sólidos y características superficiales del sitio son los que influyen en la generación de lixiviados en el relleno sanitario; en el apéndice 4 se presenta el cuadro con los cálculos de evapotranspiración potencial por el método de Tosso, el cuadro con la matriz del balance de agua en el vertedero y las muestras de cálculo correspondientes. Entonces se tienen factores de entrada de líquido como precipitación y el porcentaje de humedad de los residuos sólidos, factores de salida que incluyen evapotranspiración, drenaje superficial y retención de humedad del suelo (Jaramillo, 2013). En algunos balances el líquido aportado por la descomposición de los residuos orgánicos es tan pequeño que se desprecia, en este estudio representó un aporte del 5% del volumen total anual. Los resultados mensuales de lixiviados obtenidos se muestran en el cuadro 3.2:

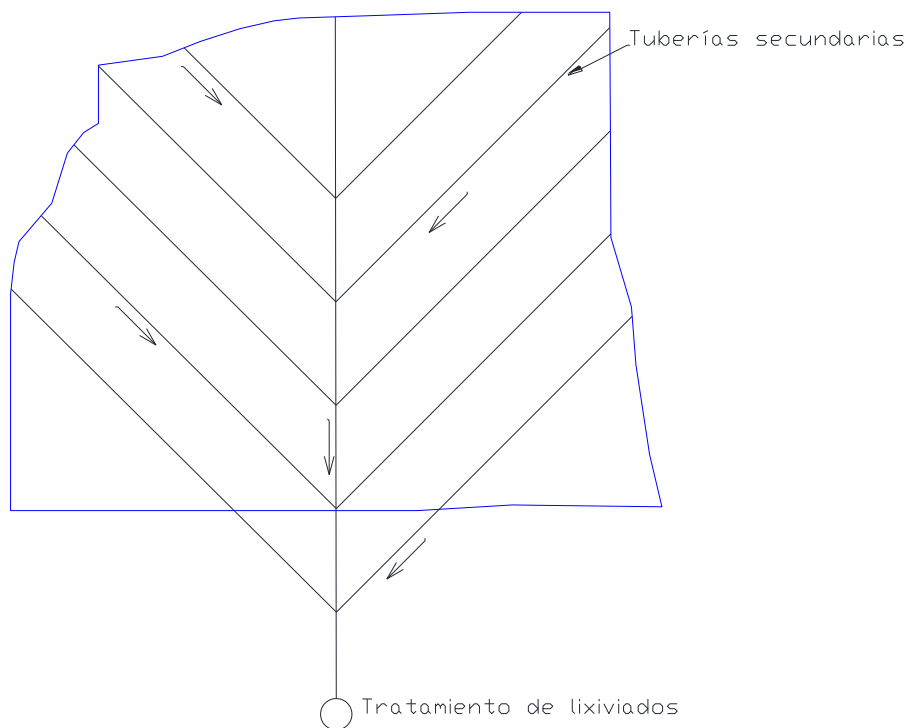
**Cuadro 3.2 Volumen de lixiviados predichos mensualmente.**

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Lixiviados (m <sup>3</sup> )	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	711.11
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lixiviados (m <sup>3</sup> )	404.05	704.95	893.21	1766.49	340.78	74.63

Cómo se observa en los resultados del cuadro 3.2, en los meses de enero a mayo y en diciembre no hay generación de lixiviados. Estos meses corresponden a la época seca donde la precipitación es poca, también es el resultado de otros procesos climatológicos pues para estos meses la evapotranspiración real es mayor a la infiltración entonces no hay agua disponible para que se de el proceso de percolación. En caso contrario cuando la evapotranspiración potencial es menor a la infiltración como en el mes de mayo (apendice 4 Cuadro A.4.1), el agua restante queda retenida como humedad en el suelo y no hay líquido disponible para que se percole através de la capa de residuos sólidos. Por el contrario los meses donde se generan más lixiviados son septiembre y octubre pues son períodos con las precipitaciones más altas. El volumen anual de lixiviados esperados es de 4970 m<sup>3</sup> aproximadamente, por lo tanto, el caudal promedio del mismo es de 0.16 L/s y el caudal máximo esperado es de 0.68 L/s.

Para el diseño del sistema de tuberías que conducen los lixiviados, que se presenta en la figura 3.3., se eligió la configuración de espina de pescado, las tuberías se distribuyen en todo el terreno con una tubería principal de 93 m de largo con ramificaciones que salen a cada 14 m de la misma, con un ángulo de amplitud de 45°, en total se conforma de 10 ramificaciones (5 a cada lado).

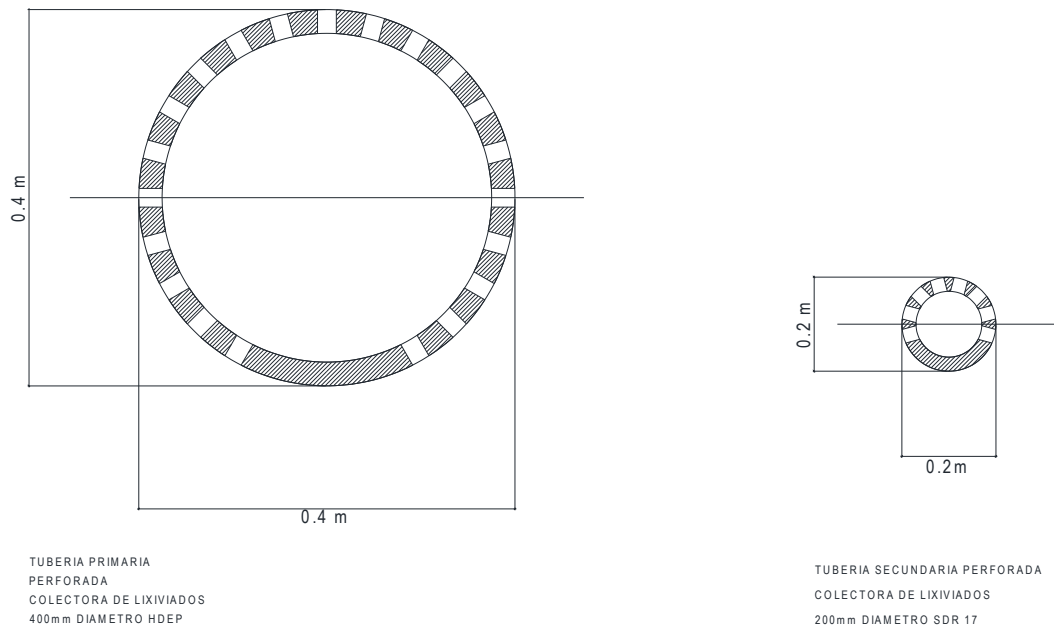




**Figura 3.3 Sistema de recolección de lixiviados.**

En la figura 3.4 se muestra la sección transversal de las tuberías, debido a que el caudal de lixiviados generado es poco se eligió un diámetro de 20 cm para las tuberías secundarias, se pudo elegir un diámetro de 10 cm sin embargo tomando en cuenta la formación de obstrucciones que se puede dar a futuro se escogió un diámetro más grande y para la tubería principal se eligió una tubería de 40 cm de diámetro, las demás características de diseño de las tuberías se presentan en el apéndice 7 (Cuadro A.7.1). Las tuberías están perforadas con hoyos cada 15 cm para permitir la entrada de lixiviados y su conducción a un solo punto. El material elegido para este sistema es el polietileno de alta densidad (HDPE), estas tuberías combinan un exterior corrugado anular para mayor resistencia estructural y una pared interior lisa para máxima capacidad de flujo hidráulico, para conducción de fluido sin presión; entre sus aplicaciones se encuentra el drenaje de lixiviados debido a que el tipo perfilado le otorga una gran rigidez anular, que trabaja como un sistema de tuberías flexibles y que soporta las cargas verticales transfiriendo la mayor parte del peso a los suelos circundantes, de esta manera resiste el peso de las capas de residuos sólidos que se pueden desechar en el vertedero sin romperse, además las características del material le otorgan una gran resistencia química

a muchos de los constituyentes de los lixiviados pudiendo soportar ph desde 1.5 y 14 (Sharma & Reddy, 2004) (Cidelsa, 2017). En el apéndice 8 (figura A.8.5) se presenta el plano del sistema de recolección de lixiviados con todos los elementos mencionados.



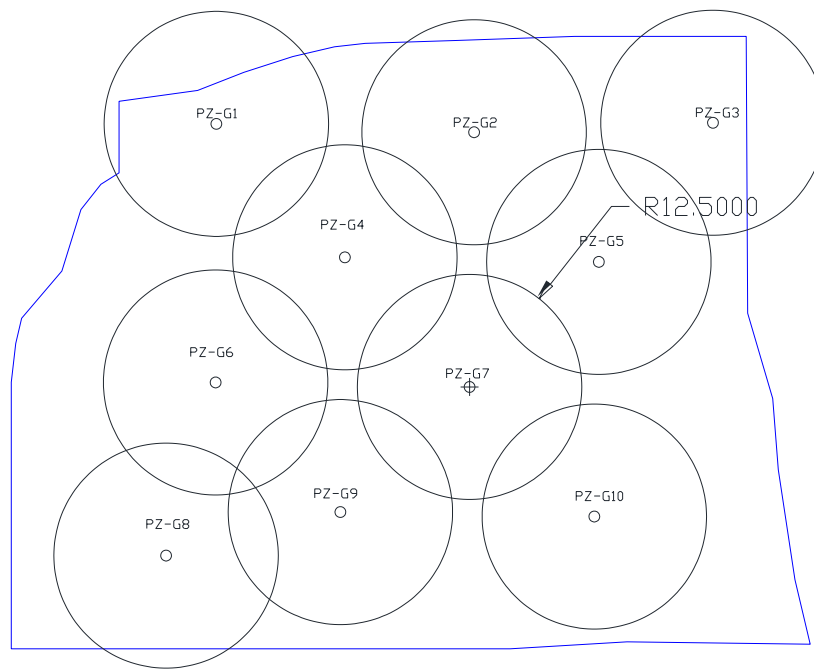
**Figura 3.4 Sección transversal de las tuberías de recolección de lixiviados.**

Para el tratamiento de los lixiviados se puede recurrir a sistemas naturales como lagunas y humedales artificiales. Los bajos costos en operación y mantenimiento lo hacen una excelente alternativa para municipios con recursos limitados. Debido a que estos sistemas requieren grandes áreas de terreno se pueden colocar en las zonas de amortiguamiento que se localizan en los alrededores del relleno o vertedero (Giraldo, 2001). El sistema de tratamiento debe colocarse en el punto más bajo del vertedero, justo en la zona de amortiguamiento que colinda con el río y de esta forma facilitar la descarga del efluente, como no es del alcance de este proyecto no se profundiza más en este tema.

#### 5.4 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GASES

Para el diseño de este sistema se utilizó el drenaje pasivo el cuál aprovecha la difusión natural de los gases para evacuarlos al exterior. El drenaje activo consiste en la succión del gas por medio de un soplador, se logra mayor eficiencia con este método sin embargo los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos (Carmona 2015). El sistema de pozos consta de una

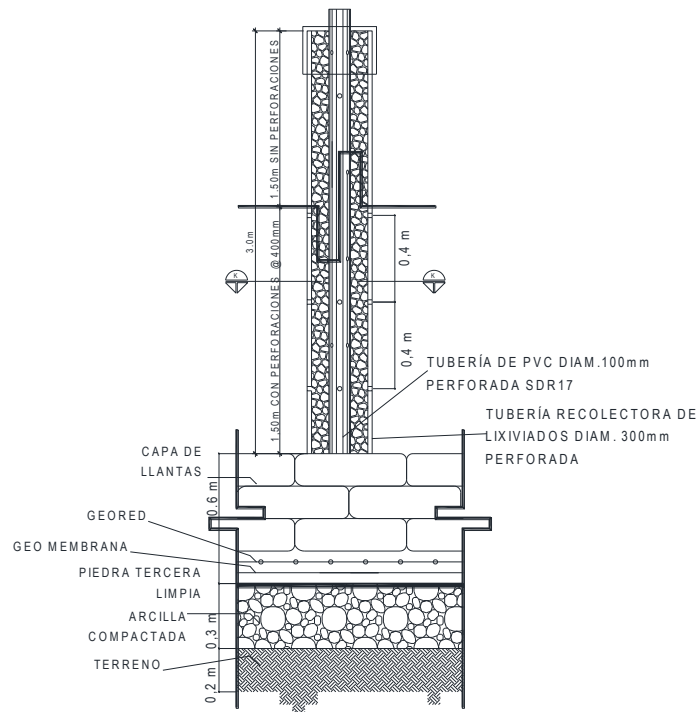
serie de extracciones de gases verticales (tubos de recolección perforados) que penetran cerca de la profundidad de los residuos sólidos saturados (Guyer, 2018), el sistema de recolección de gases en la figura 3.5, se diseñó de tal manera que las chimeneas tengan un radio de influencia de 12.5 metros, con una distancia entre chimeneas no mayor a los 30 metros. En total el sistema de recolección de gases cuenta con 10 chimeneas distribuidas en todo el terreno. Las zonas de influencia se traslapan para asegurar la máxima extracción de gas posible (López, 2016).



**Figura 3.5 Sistema de recolección de gases.**

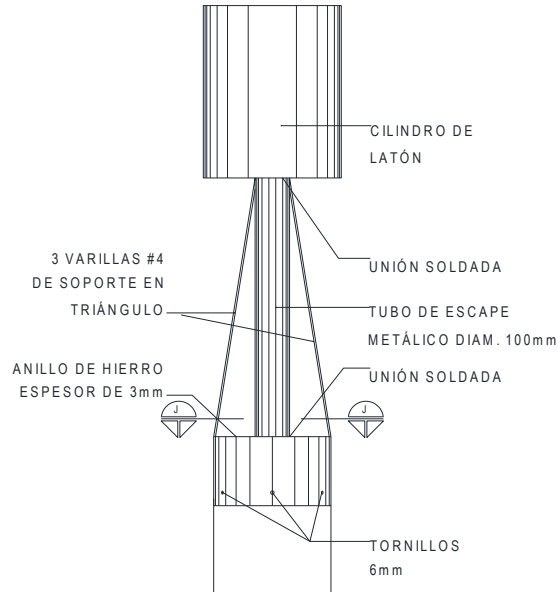
En la figura 3.6 se muestra el perfil de la chimenea, la cual tiene una altura inicial de 3 metros, la longitud de la tubería irá aumentando conforme se agreguen más capas de residuos sólidos hasta completar los 15 metros de la plataforma, la tubería perforada por la cual salen los gases tiene un diámetro de 100 mm este es el diámetro mínimo para evitar taponamiento por el condensado de gases o el ingreso de lixiviado (López, 2016). La mitad superior del tubo no tiene perforaciones, mientras que la mitad inferior tiene perforaciones cada 40 centímetros. La misma la rodea una capa de grava y otra tubería perforada de un diámetro de 300 mm que recolecta los lixiviados que vienen mezclados con los gases. La chimenea está construida sobre una base que se constituye por las siguientes partes: primero 20 centímetros de terreno, 30 centímetros de arcilla compactada, una capa de piedra limpia, la geomembrana y la geored

y una capa de llantas de 60 centímetros. La profundidad de la perforación debe ser aproximadamente el 80% de la profundidad del vertedero (López, 2016).



**Figura 3.6 Perfil longitudinal del cuerpo de la chimenea**

Para tratar el gas del vertedero se utiliza la combustión, por medio de una antorcha se destruye térmicamente los compuestos que se encuentran en los gases, generalmente se logra la destrucción del 98% de compuestos orgánicos, el metano se convierte en dióxido de carbono para reducir el impacto de los gases en efecto invernadero (Guyer, 2018). En este caso el quemador a utilizar se expone en la figura 3.7, el cual consiste en un cilindro de latón que en la parte superior está unido al tubo de escape metálico de un diámetro de 100 mm, el cilindro superior está sobre un soporte de tres varillas unidas a un anillo de hierro en la parte inferior del quemador. En la figura A.8.4 del apéndice 4 se presenta el plano con todos los elementos del sistema de recolección de gases antes descrito.



**Figura 3.7 Quemador de gas**

## 5.5 RED DE DRENAJE PLUVIAL

Para realizar el diseño del drenaje pluvial, primero se procedió a calcular el caudal máximo de precipitación, que se obtuvo a partir de la información recolectada del Instituto Meteorológico Nacional (Anexo 1). Haciendo uso del software Hidroesta se obtuvo la intensidad máxima de 160 mm/h con una duración de 30 minutos, se consideró un coeficiente de escurrimiento de 0.5 y un área tributaria total de 6989 m<sup>2</sup>, en el apéndice 5 se presenta los resultados generados por el software. A partir de estos datos se obtuvo los caudales de las 4 áreas de escurrimiento, los resultados se muestran en el cuadro 3.3:

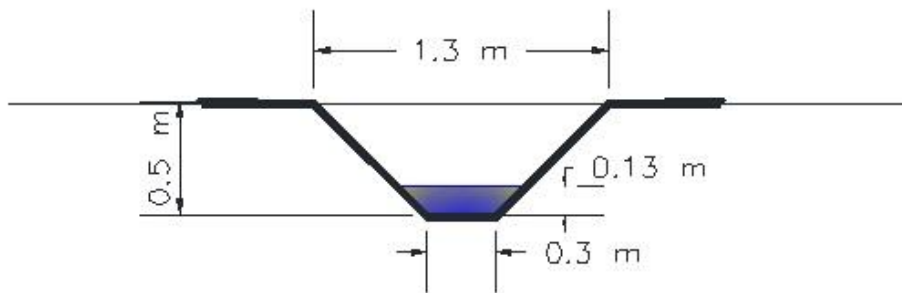
**Cuadro 3.3 Caudales de agua de lluvia generados en el vertedero.**

Áreas	Caudales (m <sup>3</sup> /s)
1	0.0546
2	0.0328
3	0.0278
4	0.0402
Total	0.1554

A partir del caudal total se diseñaron todos los canales que rodean la plataforma, con el fin de que todos los tramos tengan las mismas dimensiones, en el apéndice 6 se presenta una

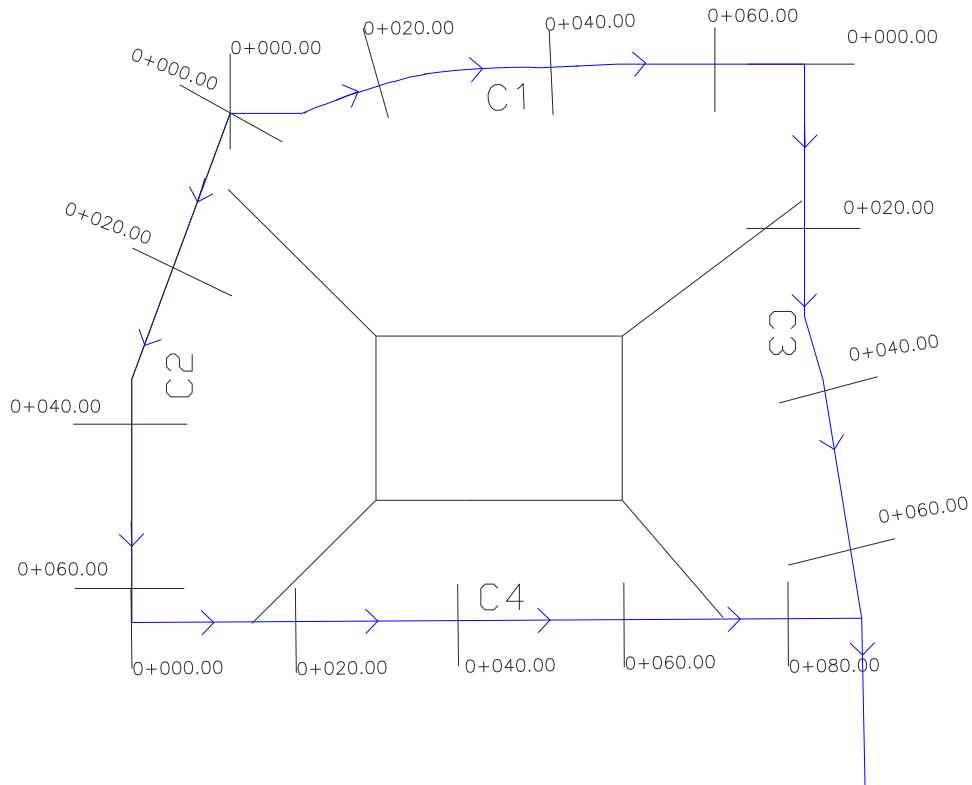
muestra de cálculo del caudal pluvial y un cuadro con las características para cada canal generado por el programa Hcanales. Con un caudal total de  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$  se diseñó el canal con el software Hcanales y posteriormente se dibujó en AutoCAD, considerando un ancho de solera de 30 centímetros, un talud de 1/1, una rugosidad de 0.012 y una pendiente de 3%.

En la figura 3.8, muestra las dimensiones para la construcción de los canales, los cuales fueron diseñados de forma trapezoidal con una altura de 50 centímetros, un ancho superior de 1.3 metros y el tirante normal del agua de 13 centímetros. Los canales serán excavados en el suelo y revestidos con la geomembrana para facilitar el transporte de la lluvia.



**Figura 3.8 Corte transversal del canal de drenaje pluvial.**

En la figura 3.9 se muestra la distribución espacial del drenaje pluvial, el cual consta de cuatro canales que desvían el agua de lluvia a un solo punto para ser vertida en la cuenca. Los flujos de agua se mueven de acuerdo a la influencia de las pendientes, entonces los canales 1 y 4 van en dirección de oeste a este, mientras que los flujos de los canales 2 y 3 se mueven de norte a sur.



**Figura 3.9. Vista superior del sistema de drenaje pluvial**

En el cuadro 3.4 se detalla las características principales de cada canal las cuáles son longitud, volumen de corte y volumen de terraplén. El volumen de corte corresponde al volumen de tierra a extraer para formar las cunetas y el volumen de terraplén el volumen de tierra a agregar para levantar el nivel del terreno los cuáles son en total 158.19 m<sup>3</sup> y 8.1 m<sup>3</sup> respectivamente para la construcción del sistema de drenaje pluvial. De la figura A.8.6 a la A.8.9 se presentan los perfiles de los cuatro canales con sus características representadas.

**Cuadro 3.4 Características constructivas de los canales.**

Canal	Simbología	Longitud (m)	Volumen de corte (m <sup>3</sup> )	Volumen de terraplén (m <sup>3</sup> )
1	C1	70.9	27.07	-3.18
2	C2	64.1	24.67	-4.41
3	C3	68.2	28.95	-0.38
4	C4	89.0	77.5	-0.13

## 5.6 COSTOS DEL PROYECTO

En los siguientes cuadros se presentan las inversiones y costos operacionales necesarios para la construcción y funcionamiento de la celda de 0.52 hectáreas. Los datos fueron proporcionados por el Ingeniero Óscar Guzmán de la empresa EBI y los salarios del personal se calcularon de acuerdo a lo determinado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica.

En el cuadro 3.5 se presenta la inversión para el movimiento de tierra necesaria en la preparación del terreno.

**Cuadro 3.5 Inversión en el movimiento de tierra**

Item	Unidad	costo (¢/ m3)	Cantidad	Total (¢)
Movimiento de tierra	m3	500	2645	1,322,500.00

Fuente: (Guzmán, 2019)

El cuadro 3.6 muestra los costos asociados con la preparación e impermeabilización donde se colocará la geomembrana.

**Cuadro 3.6 Inversión asociada a la construcción de la base de la geomembrana**

Material	Unidad	P.U. (¢ / m <sup>3</sup> )	Cantidad	Total ( ¢)
Arcilla *	m3	0	1587	0
Equipo	Horas	( ¢ / hora)		
Niveladora	15	12000		180,000.00
Compactador de rodillo	15	12000		180,000.00
Mano de Obra				220,000.00
Total				580,000.00

Fuente: (Guzmán, 2019)

En el cuadro 3.7 se muestra la inversión en infraestructura que facilitará la evacuación de gases y lixiviados.

**Cuadro 3.7 Inversión en el sistema de evacuación de gases y lixiviados**

Material	Unidad	P.U. (¢/ m <sup>3</sup> )	Cantidad	Total ( ¢)
Piedra bola	m3	11000	60	660,000.00
Varilla	Global			120,000.00
Ducto Metálico	Global			1,200,000.00
Tubo HDP y PVC	Global			840,000.00
Mano de Obra				240,000.00
Total				3,060,000.00

Fuente: (Guzmán, 2019)



En el cuadro 3.8 se resume la inversión en geosintéticos para para impermeabilizar la celda.

**Cuadro 3.8 Inversión en geosintéticos.**

<b>Inversión</b>	<b>Costo Unitario (¢/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total (¢)</b>
Geosintéticos	Global	5.300.000
<b>Total</b>		<b>5.300.000</b>

Fuente: (Guzmán, 2019)

En el cuadro 3.9 se presenta la inversión asociada a la construcción del cabezal de desfogue, cajas de registro y pozo que forman parte del sistema de drenaje pluvial

**Cuadro 3.9 Inversión en cunetas, cajas de registro y cabezales de desfogue**

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U. (¢)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (¢)</b>
Varilla	Global			2,800,000.00
Formaleta	Global			500,000.00
Tubos de concreto de 60 cm Ø	u	20,000.00	30	600,000.00
<b>Actividad</b>				
Cunetas	m	16,000.00	293	4,688,000.00
Cajas de registro	u	200,000.00	4	800,000.00
Cabezal	u	1500000	1	1,500,000.00
Pozo de registro	u	300000	1	300,000.00
<b>Total</b>				<b>11,188,000.00</b>

Fuente: (Guzmán, 2019)

Para garantizar la buena operación y mantenimiento de las labores dentro del proyecto se contará con equipo especial para las labores propias de los procesos de disposición de desechos, la inversión necesaria se presenta en el cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10 Inversión en maquinaria**

<b>Inversión</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (¢)</b>
Excavadora CAT 320	1	80,000,000.00
Cargador (BACK HOE)	1	13,000,000.00
Tractor CAT D6 RXL	1	60,000,000.00
Tractor CAT D6 LGIP	1	68,000,000.00
Compactadora CAT 826	1	70,000,000.00
Camión articulado	1	50,000,000.00
<b>Total de Maquinaria</b>		<b>341,000,000.00</b>

Fuente: (Guzmán, 2019)

El cuadro 3.11 resume las inversiones que deben realizarse para desarrollar y operar el proyecto. Los costos de las obras civiles incluyen: inversión de la construcción de la geomembrana, inversión el sistema de evacuación de gases y lixiviados, inversión en geosintéticos e inversión en el sistema de drenaje pluvial.

**Cuadro 3.11 Resumen de inversión total**

<b>Inversión</b>	<b>Total (colones)</b>
Maquinaria	341,000,000.00
Infraestructura (obras civiles)	20,128,000.00
Movimiento de tierra	1,322.500.00
<b>Total</b>	<b>362,450,500.00</b>

A continuación, se presenta en el cuadro 3.12 los costos de operación anuales relacionados con el personal para el funcionamiento del vertedero, los costos de combustible y de recolección de los residuos sólidos.

**Cuadro 3.12 Desglose de costos de operación del vertedero.**

<b>Descripción</b>	<b>Costo (¢/año)</b>
Peón 1	4,077,408.00
Peón 2	4,077,408.00
Recibidor	4,077,408.00
Operario de maquinaria pesada	4,515,192.00
Total (salarios + cargas sociales)*	16,747,416.00
Combustible	36,000,000.00
Recolección	62,180,229.00
<b>Total</b>	<b>114,927,645.00</b>

\*Fuente: MTSS (2018)

Para el análisis financiero se realizó un flujo de inversiones, con el supuesto que la vida útil del vertedero es de 11,4 años pues se aprovechará los residuos sólidos orgánicos para generar compost y posteriormente emplearlo como material de cobertura. En el cuadro 3.13 se presenta los datos de financiamiento para un monto del préstamo de 362,450,500.00 colones, a un plazo de 11 años y una tasa de interés fija anual de 7%.

**Cuadro 3.13 Datos de financiamiento.**

<b>Período</b>	<b>Interés (¢/año)</b>	<b>Cuota(¢/año)</b>	<b>Amortización (¢/año)</b>	<b>Saldo (¢/año)</b>
<b>1</b>	25,371,535.00	48,335,276.84	22,963,741.84	339,486,758.16
<b>2</b>	23,764,073.07	48,335,276.84	24,571,203.76	314,915,554.40
<b>3</b>	22,044,088.81	48,335,276.84	26,291,188.03	288,624,366.37
<b>4</b>	20,203,705.65	48,335,276.84	28,131,571.19	260,492,795.18
<b>5</b>	18,234,495.66	48,335,276.84	30,100,781.17	230,392,014.01
<b>6</b>	16,127,440.98	48,335,276.84	32,207,835.86	198,184,178.15
<b>7</b>	13,872,892.47	48,335,276.84	34,462,384.37	163,721,793.78
<b>8</b>	11,460,525.56	48,335,276.84	36,874,751.27	126,847,042.51
<b>9</b>	8,879,292.98	48,335,276.84	39,455,983.86	87,391,058.65
<b>10</b>	6,117,374.11	48,335,276.84	42,217,902.73	45,173,155.92
<b>11</b>	3,162,120.91	48,335,276.84	45,173,155.92	0.00

Nota: la tasa de interés se tomó de la reforma del reglamento 4460 “Reglamento para la Gestión y Administración del Crédito IFAM”.

En el cuadro 3.14 se presentan los flujos de inversiones del proyecto para 11 períodos, tomando en cuenta que se hace el cobro por toneladas de residuos sólidos y que se hace la recolección del 100% de estos, pues los residuos orgánicos también serán llevados al vertedero para su tratamiento. Además, se incluye un aumento anual del 1% del costo de la tonelada de residuos sólidos.

**Cuadro 3.14 Flujos de inversiones**

<b>Año</b>	<b>Inversión anual (colones)</b>	<b>Toneladas- RSM/año</b>	<b>Costo tonelada (colones)</b>	<b>Ingresos tarifas (colones)</b>	<b>Costos de operación (colones)</b>	<b>Utilidades (colones)</b>	<b>Amortización (colones)</b>	<b>Flujos netos efectivo (colones)</b>	<b>Flujo netos actualizados (colones)</b>
<b>1</b>	32,950,045.45	3,466.10	48,300.00	167,412,630.00	114,927,645.00	52,484,985.00	22,963,741.84	29,521,243.16	27,589,946.88
<b>2</b>	32,950,045.45	3,539.00	48,783.00	172,643,037.00	114,927,645.00	57,715,392.00	24,571,203.76	33,144,188.24	28,949,417.62
<b>3</b>	32,950,045.45	3,613.40	49,270.83	178,035,217.12	114,927,645.00	63,107,572.12	26,291,188.03	36,816,384.09	30,053,136.17
<b>4</b>	32,950,045.45	3,689.40	49,763.54	183,597,598.20	114,927,645.00	68,669,953.20	28,131,571.19	40,538,382.01	30,926,537.54
<b>5</b>	32,950,045.45	3,767.00	50,261.17	189,333,841.26	114,927,645.00	74,406,196.26	30,100,781.17	44,305,415.09	31,589,148.64
<b>6</b>	32,950,045.45	3,846.30	50,763.79	195,252,747.86	114,927,645.00	80,325,102.86	32,207,835.86	48,117,267.00	32,062,566.70
<b>7</b>	32,950,045.45	3,927.20	51,271.42	201,353,133.48	114,927,645.00	86,425,488.48	34,462,384.37	51,963,104.12	32,360,009.68
<b>8</b>	32,950,045.45	4,009.80	51,784.14	207,644,034.57	114,927,645.00	92,716,389.57	36,874,751.27	55,841,638.30	32,500,341.91
<b>9</b>	32,950,045.45	4,094.10	52,301.98	214,129,531.74	114,927,645.00	99,201,886.74	39,455,983.86	59,745,902.88	32,497,812.56
<b>10</b>	32,950,045.45	4,180.20	52,825.00	220,819,059.44	114,927,645.00	105,891,414.44	42,217,902.73	63,673,511.71	32,368,384.61
<b>11</b>	32,950,045.45	4,268.20	53,353.25	268,642,335.92	114,927,645.00	153,714,690.92	45,173,155.92	108,541,535.00	51,567,301.39

De acuerdo con los análisis de los flujos de efectivo anteriores se necesita un cobro de al menos 48,300.00 colones por tonelada (con el aumento del 1% anual), para lograr un VAN positivo de 14,103.68 colones, de tal forma que el proyecto de inversión sea rentable. Ósea que se logró cubrir los costos de operación, cubrir la amortización del préstamo y la inversión inicial.

En el cuadro 3.15 se presenta el cálculo de la depreciación de la maquinaria, al finalizar el proyecto la maquinaria se puede vender al valor en libros. Dentro de los cálculos el valor de recuperación (40,920,000.00 colones) se incluyó como un ingreso en el año 11.

**Cuadro 3.15 Cálculo de depreciación del equipo.**

Valor de adquisición (colones)	341,000,000.00
Vida útil (años)	10.00
Valor de rescate	20%
Depreciación anual (colones)	27,280,000.00
Valor en libros en año 11 (colones)	40,920,000.00

El costo de gestión actual por tonelada de residuos sólidos es de 50,213.56 colones, para el proyecto propuesto el costo sería de 48 300 colones por tonelada (con un aumento de 1% anual)

## 5.7 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este manual consiste en un compendio de indicaciones e información relevante para llevar a cabo un adecuado manejo y ejecución de la transformación del sitio a un sistema de disposición final técnico, sanitario y ambientalmente adecuado.

### 5.7.1 Disminución de los residuos sólidos

Se debe de reducir el volumen de residuos generados y aumentar el porcentaje material recuperado para su reutilización, reciclaje o generación de energía. Hay que aprovechar cada oportunidad práctica para evitar la producción de desechos y eliminar el material recuperable de la corriente de desechos antes que llegue al relleno sanitario. Lo correcto es proporcionar una infraestructura en el vertedero como una estación de transferencia (sí el sitio de disposición recibe más de 40 toneladas diarias) o contenedores, en casos con menos de 15 toneladas diarias, para facilitar la recuperación del material reciclable, sí el reciclaje se hace fuera del sitio de disposición esta recomendación se omite. Los residuos verdes y los residuos orgánicos se pueden procesar para el compostaje (EPA Victoria, 2015).

### 5.7.2 Recepción de residuos sólidos

La definición de los tipos de residuos permitidos en el relleno sanitario se efectúa en la fase de diseño del proyecto, durante la operación del proyecto es importante verificar si los residuos que están siendo recibidos son compatibles con aquellos preestablecidos. Por tanto, se debe establecer un protocolo de recepción efectuando al menos una inspección visual y el pesaje de los residuos sólidos si llegara a ser necesario. (ISWA, 2013) (Savastano et al, 2010). La clasificación efectiva de los desechos garantizará el uso eficiente del vertedero, las celdas son empleadas principalmente para residuos domésticos es decir desechos que provienen de los hogares (también se pueden incluir desechos comerciales). No se deben agregar a las fosas los siguientes residuos: metales, productos químicos, pinturas y envases de pintura, llantas, baterías, cadáveres de animales, residuos médicos, residuos electrónicos, aceite de desecho, botellas de gas y extintores (Cafe, 2016).

### 5.7.3 Maquinaria

Se debe utilizar el equipo adecuado para garantizar que se cumplan los requisitos operacionales del relleno sanitario y que las tareas de construcción se realicen de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos. El empuje y la colocación de desechos requieren que el equipo tenga una cuchilla o un cucharón ancho, que mantenga un alto nivel de tracción en una variedad de condiciones de trabajo y clima, la maquinaria más común, para estas tareas son bulldozer, cargadores de cadenas y compactadores. El paso intermedio, consiste en repetir la rotación de la rueda para lograr la máxima compactación de los residuos, también implica el uso de una cuchilla para recortar áreas altas y rellenar áreas bajas en la superficie de los residuos compactados, los bulldozers y compactadores se adaptan mejor a esta tarea. La cobertura de los residuos incluye excavación, transporte, colocación y compactación, el equipo utilizado incluye topadoras, azadas, cargadoras, rasqueta hidráulica y camiones (DEQ, 2018)

Para las labores del relleno sanitario de construcción y operación se debe adquirir el equipo adecuado, en síntesis, el equipo necesario (que se ilustra en el anexo 5) es el siguiente (Caterpillar, 2008):

- Compactador de residuos sólidos: El objetivo principal de esta máquina es la compactación, pero también se puede utilizar para esparcir y cubrir grandes volúmenes de residuos. No debe utilizarse para excavar el material de cobertura, sin embargo, se puede utilizar para mover el material de cobertura a una corta distancia al frente de trabajo antes de extenderlo.
- Cargador de cadena: El objetivo principal es empujar y esparcir el material, el cargador de cadenas también tiene la capacidad de transportar, almacenar, cargar, clasificar, excavar, nivelar y compactar.
- Bulldozer: se utiliza para empujar y esparcir el material durante la preparación del sitio, construir accesos y acarrear caminos, raspar la cubierta del suelo, esparcir y compactar los residuos y cubrir con el material.
- Excavadora hidráulica: Se utiliza para la excavación del material de la cubierta, asistencia en el mantenimiento y reparación de la línea de gas. También se utilizan para la excavación de zanjas, separación de la basura o para tender tuberías de

drenaje. Además, la máquina puede aplicarse en el manejo y eliminación de desechos tóxicos. Gracias a que está equipada con un brazo largo especial, la excavadora hidráulica puede hacer excavaciones profundas.

- Camión Articulado: ideal para transportar grandes volúmenes de material de cobertura para distancias cortas o largas. Es un transportador versátil para todo tipo de clima, se maniobra fácilmente en lugares estrechos y en malas condiciones. La articulación de 45 grados de la carretilla la hace extremadamente efectiva en áreas de frente de trabajo estrechos.
- Cargador sobre ruedas: es una valiosa herramienta para el manejo de desechos, pero no se recomienda para compactar. Los propósitos de la máquina son la extracción de material de cobertura y el trabajo de soporte. Un cargador sobre ruedas es perfecto para cargar material de cubierta en camiones, manipulando reciclaje, transportando residuos y realizando tareas de limpieza general.

#### **5.7.4 Frente de trabajo**

Las descargas de los residuos entrantes deben realizarse en áreas de trabajo pequeñas, el frente de trabajo debe tener el espacio adecuado para el movimiento y descarga de camiones, así como la operación eficiente. Una mala gestión del frente de trabajo tiene el potencial de provocar desperdicios, un mayor potencial de accidentes, uso eficiente del espacio aéreo, problemas estéticos, aumento de los residuos a largo plazo y problemas de vectores. Mantener el tamaño del área de trabajo lo más pequeño posible es importante debido a las siguientes razones: el tamaño del frente de trabajo determina la cantidad de material de cobertura diario requerido (podría ser costoso, si este es muy grande) y también influye fuertemente en la tasa de generación de lixiviados, ya que en el frente de trabajo la mayor parte del agua de lluvia entrante se convierte en lixiviado; además los frentes de trabajo pequeños impiden el escarbado de residuos por parte de humanos y animales. Se recomienda usar el área más pequeña posible, el área óptima de la superficie de trabajo depende de la cantidad de camiones a utilizar y del equipo del relleno sanitario. Deben realizarse revisiones continuas para adaptar regularmente el tamaño del frente de trabajo al número de vehículos esperados y la entrada total de residuos (ISWA, 2013) (ISWA, 2010)



### **5.7.5 Descarga de residuos sólidos**

Los patrones de tráfico deben establecerse y deben ser claros para el conductor, lo que puede requerir banderas u otros marcadores. El conductor debe esperar las instrucciones antes de descargar los desechos, el camión debe detenerse al menos a 2-3 metros del frente de trabajo. Generalmente es mejor descargar en la parte inferior donde hay mejor protección contra el viento y los camiones son menos visibles, este modo de operación también permite que los equipos del relleno sanitario empujen los residuos hacia el frente de trabajo, lo que proporciona mayor visibilidad y control, así como un mayor esfuerzo del equipo del vertedero. La dificultad de depositar desechos en la parte inferior del frente de trabajo es que las aguas superficiales y el lodo durante el clima húmedo, pueden dificultar el movimiento del camión. Después que se depositan los desechos los obreros deben asegurarse que no queden recipientes, cubiertas u otros equipos en el frente de trabajo antes de salir del área (ISWA, 2010)

### **5.7.6 Conformación de las celdas**

Las dimensiones de la celda diaria para el vertedero, depende de los residuos recibidos diariamente y el nivel de compactación, para un volumen promedio de 20 m<sup>3</sup> de residuos esperados y con una altura de 2 metros, el área de la celda es de 10 m<sup>2</sup>. Para la construcción de la primera celda de residuos se deben seguir los siguientes pasos (Jaramillo, 2002) (ISWA, 2010):

- Señalar en el terreno el área que ocupará la primera celda con los desechos del día de acuerdo con las dimensiones estimadas que se basan en el volumen de ingreso esperado y el grado de compactación que se obtendrá.
- El camino de acceso al frente de trabajo debe construirse desde la parte superior de la celda hasta la parte inferior de manera que se garantice que los vehículos del vertedero pasarán por las rampas del suelo y no por el fondo de la celda.
- Al final del camino de acceso se debe construir un área temporal relativamente amplia para la maniobra del camión.

La primera capa de residuos colocados en una celda es crucial para la operación del vertedero. Esta capa debe colocarse como una capa acolchada suelta, esta primera

capa es esencial para evitar daños en el revestimiento y al sistema de recolección de lixiviados.

- Descargar la basura en el frente de trabajo con el fin de mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada y evitar el acarreo a grandes distancias
- Se deben eliminar los residuos voluminosos o duros que puedan perforar el revestimiento
- Dependiendo del tipo de residuos sólidos la primera capa debe depositarse a un espesor de capa vertical de 50 cm y esta no debe compactarse por lo que constituye una capa de protección para el revestimiento y sistema de drenaje de lixiviados.
- Para las capas siguientes es recomendable hacer de 3 a 5 pases del equipo pesado sobre desechos colocados en capas sueltas de 30 cm a 50 cm, proporcionan la mejor compactación, menos pases proporcionan menor densidad de los residuos compactados. La efectividad global de la compactación depende del tamaño del compactador, número de pasadas y las características de los residuos vertidos. En general una mayor cantidad de pases de compactación solo aumentará ligeramente la densidad de desechos, pero aumentará significativamente el consumo de combustible del compactador.
- Compactar la celda hasta obtener una superficie uniforme al final de la jornada
- Una vez completada la primera celda, la segunda podrá ser construida de inmediato al lado o sobre la primera, siguiendo los pasos anteriormente mencionados.

### **5.7.7 Material de cobertura**

La nivelación y la cobertura de los residuos deben realizarse diariamente, por lo que se recomienda una capa de material de cobertura mínima de 20 centímetros. Se recomienda la ejecución de la cobertura diaria racional, preferentemente la final de cada jornada de trabajo, ya que el uso en exceso de suelo disminuiría la vida útil de las celdas. La nivelación final de la celda se efectúa en una cota superior a la del terreno, previéndose el asentamiento, para evitar la acumulación de agua. La cobertura final deberá realizarse con una capa de suelo de aproximadamente 60 centímetros, con una pendiente de al menos el 7%. Para mejorar esta etapa de cobertura se pueden recortar los residuos compactados antes de la aplicación del

material de cobertura, esto se realiza normalmente utilizando una excavadora o un compactador, la cuchilla del vehículo se utiliza para recortar la superficie de los residuos compactados para que esta sea lo más lisa y libre de irregularidades posibles, de esta manera se minimiza la cantidad de material de cobertura que se desperdicia llenando el espacio vacío y las depresiones en la superficie de la celda. (Savastano et al, 2010) (DEQ, 2018).

El suelo debe contener algo de materia orgánica ya que esto ayuda a atenuar los olores de los vertederos. El uso diario del material de cobertura debe ser tal que la permeabilidad de los residuos y la cubierta sean suficientes para permitir que los lixiviados pasen y el gas se extraiga sin crear condiciones de acumulación. Si se compactan, en particular los suelos arcillosos pueden tener una permeabilidad relativamente baja, lo que resulta en una contención parcial de cada capa de residuos, esto hará que la extracción de lixiviados y gas de vertederos sea más difícil. Para evitar la contención de residuos, la cubierta diaria de baja permeabilidad debe eliminarse parcialmente antes de colocar los residuos. Se debe evitar el material de cobertura con un alto contenido de humedad como los limos, ya que dicho material puede liberar agua a los desechos. Los desechos húmedos tienden a descomponerse más rápido que los secos, produciendo cantidades significativas de gas desde una celda abierta antes que se pueda instalar un sistema de extracción de gas (EPA Victoria, 2015).

En caso que exista poca disponibilidad de material de cobertura del suelo se puede generar compost y emplearlo en esta tarea, de esta forma se evita transportar tierra u otro material inerte desde largas distancias (ISWA, 2013).

Se recomienda que al final de la operación de cada celda, éstas sean demarcadas con marcos fijos y permanentes con el fin de facilitar intervenciones futuras que sean necesarias. Después de la finalización de la disposición de residuos en las celdas, se debe prever una rutina de mantenimiento, para corregir eventuales asentamientos, limpiar y mantener el funcionamiento correcto de los sistemas de drenaje de agua pluviales y el corte de la hierba (Savastano et al, 2010)

## **5.7.8 Control y monitoreo de elementos del vertedero**

### ***5.7.8.1 Control de los residuos sólidos***

Los residuos municipales, especialmente las bolsas plásticas se pueden esparcir por la acción del viento, estos residuos dan un aspecto desagradable y además puede dañar los desagües e interferir con las actividades vecinas. Para minimizar este problema se puede colocar pantallas de 4 metros de altura capaces de soportar la fuerza del viento cuando se cargan con basura. Se debe tener al menos un programa diario de aseo en el que se limpien las cercas y las áreas circundantes de cualquier desecho (EPA Victoria, 2015).

### ***5.7.8.2 Olor***

El sitio generará olor en cierta medida y puede empeorar en clima húmedo y caluroso, algunas medidas que pueden ser aplicadas son (JICA, 2010):

- Revestimiento inmediato de residuos altamente olorosos.
- Recubrimiento regular de los residuos.
- Alentar a los residentes a almacenar los desechos en condiciones secas.
- Mantener zonas de amortiguamiento alrededor del vertedero (para minimizar los impactos en los sitios vecinos).

### ***5.7.8.3 Polvo***

La medida de control de polvo en un vertedero generalmente incluye el humedecimiento de caminos de tierra con un camión de agua, el camión de agua deberá realizar recorridos regulares de la calle de acceso especialmente en períodos de clima muy seco (JICA, 2010).

### ***5.7.8.4 Incendios***

Los incendios deben reducirse al mínimo en los vertederos, ya que la quema de desechos puede generar gases tóxicos. Las medidas de control típicamente consideradas son (JICA, 2010) (EPA Victoria, 2015):

- El equipo para extinguir incendios debe estar disponible en cualquier momento para permitir una respuesta rápida a cualquier parte de las instalaciones.

- Extenderse y dosificar el agua tan pronto como sea posible después que se produzca un incendio. Un suministro de agua, ya sea agua de la red o de represas o tanques combinados con un medio de entrega (bomba y manguera o un camión cisterna) permite la pronta extinción de un incendio en el sitio. Las aguas subterráneas y pluviales en represas podrán ser adecuadas para combatir un incendio.
- Los lixiviados no deben usarse para combatir el fuego.
- Si no hay disponibilidad de agua de red, se deben almacenar al menos 50 000 litros para combatir incendios pequeños.
- Recubrimiento regular de los residuos para minimizar el riesgo de incendios.
- Desarrollar un plan de manejo de incendios que incluya el mantenimiento de un cortafuego efectivo en todo el perímetro del sitio.
- Desarrollar procedimientos de emergencia para incendios menores y mayores.
- Para combatir incendios profundos los elementos clave son minimizar el ingreso de oxígeno al fuego al tapar el área, los conductos de ventilación de gases de vertedero y los sistemas de extracción en las proximidades del fuego deben estar tapados.

#### ***5.7.8.5 Ruido***

El control de ruido puede incluir la restricción de horarios de apertura a ciertas horas. Se puede construir barreras contra el ruido ya sea con vigas de suelo o una zona de amortiguamiento con árboles (JICA, 2010). Tanto en la etapa de construcción y operación se generan ruidos por la maquinaria y aunque no existan poblados cercanos al vertedero, se debe determinar y mantener en consideración posibles molestias (Calvo, 2019).

#### ***5.7.8.6 Impacto Visual***

Se debe hacer un esfuerzo para evitar que los residuos sólidos sea vistos por el público, empleando medidas como construir una zona de amortiguamiento con árboles, instalar paredes o cercas de madera. Esto puede reducir algunos posibles impactos de las operaciones del relleno sanitario como el ruido, polvo y olor. Incluso la simple cobertura regular del suelo

sobre los residuos puede reducir significativamente el potencial del impacto visual (JICA, 2010)

#### ***5.7.8.7 Control de vectores de enfermedades***

Deben controlarse las moscas, mosquitos, ratas, gatos y aves; pues si no se hace puede afectar la salud pública y los ecosistemas circundantes. Deben de emplearse técnicas como trampas, exterminadores profesionales; para las aves se requiere una combinación de técnicas como redes, dispositivos acústicos para ahuyentarlas o incluso perros (EPA Victoria, 2015).

#### **5.7.9 Recurso Humano**

Un relleno sanitario pequeño puede ser operado con 5 a 6 personas. El equipo debe contar como mínimo con el siguiente personal; un supervisor el cuál debe tener los conocimientos y entrenamiento necesario para dirigir la obra en base a un proyecto; un operador de maquinaria pesada que sea capaz de manejar y mantener el equipo en buen estado de operación, además de poder hacer reparaciones menores o servicios de rutina; un recibidor que será en encargado de la caseta de entrada y de pesar todos los residuos que entran al sitio, esta posición requiere que el empleado esté mientras el relleno permanezca abierto al público. Como mínimo dos operadores que puedan ayudar en tareas menores de limpieza o para dirigir el tráfico. Y una persona que vigile el lugar durante la noche y tenga la responsabilidad de reportar cualquier anomalía (Sandoval, 2010). En casos extremos en los cuáles se tienen recursos limitados se recomienda al menos 4 trabajadores: un operador de la maquinaria, un trabajador que controle la entrada de los residuos sólidos, un trabajador encargado de dirigir la maquinaria y un peón encargado de tareas menores como el control de vectores y otros contaminantes (Calvo, 2019).

#### **5.7.10 Seguridad Laboral**

El relleno sanitario es un lugar de trabajo peligroso. Minimizar los riesgos es esencial para la seguridad del personal y miembros de la comunidad. El primer paso para trabajar de manera segura es usar equipo de protección personal (EPP) En la mayoría de los casos los chalecos reflectivos, las camisas, overoles, zapatos de trabajo y guantes se consideran esenciales. Sin embargo, se deben considerar elementos adicionales como: cascos, calzado mediano de punta

de acero, protección auditiva, máscaras contra el polvo, lentes, mascarillas, dispositivos de comunicación (bocinas de aire, silbatos, intercomunicadores o radios) (Cafe, 2016) (ISWA, 2010). En el cuadro 3.13 se explica brevemente cada uno de los elementos básicos necesarios de seguridad para proteger a los trabajadores de los peligros en el relleno sanitario.

**Cuadro 3.13 Equipo de protección personal en vertederos de residuos sólidos.**

Tipo de protección	Objetivo
Protección para los ojos	Se debe usar protección para los ojos cuando exista peligro de lesiones físicas, biológicas o químicas, se puede incluir: lentes de seguridad o mono gafas de protección.
Protección para las manos	Para evitar que las sustancias tóxicas o irritantes entren en contacto con la piel, se debe utilizar una protección adecuada para las manos, la selección de guantes debe hacerse en base a la compatibilidad química
Protección para la cabeza	Para proteger la cabeza del empleado contra el impacto de objetos que caen, los cascos deben usarse como práctica estándar
Vestimenta especial	Se debe proporcionar ropa de alta visibilidad especialmente a empleados expuesto al peligro del tránsito.
Protección para los pies	Para proteger el pie contra objetos rodantes, patear o pisar accidentalmente objetos afilados, se puede incluir botas impermeables de punta de acero.
Protección auditiva	Siempre que exista niveles de ruido superiores a los 85 decibeles se debe usar protección auditiva por ejemplo tapones y orejeras.
Protección respiratoria	Para protegerse contra contaminantes en el aire como polvo es necesario el uso de máscaras.

Fuente: California Integrated Waste Management Board (2007)

Además del uso de equipo de protección personal por parte de los trabajadores, el encargado de las instalaciones debe prepararse para eventos inusuales. Para esto se debe llevar a cabo la gestión del riesgo en el vertedero, donde se usan cuatro reglas simples (Cafe, 2016):

- Evaluar los riesgos: analizar qué acciones en el lugar de trabajo pueden ser potencialmente peligrosas.
- Identificar peligros y daños: buscar posibles riesgos en el sitio que puedan ser perjudiciales.
- Aplicar los controles: retirar, limpiar, repara o evitar cualquier riesgo potencial.
- Revisar los efectos: asegurarse que lo que se ha hecho controle el riesgo.

Una vez que se identifican los riesgos se deben determinar los controles respectivos e implementarlos. En el cuadro 3.14 se describen los riesgos más comunes en los vertederos en un relleno sanitario junto con las medidas respectivas para cada peligro.

**Cuadro 3.14 Peligros comunes en el relleno sanitario con sus respectivos controles.**

<b>Riesgo</b>	<b>Controles</b>	<b>Implementar controles</b>
Polvo	Máscara para polvo Agua	Colocarse la máscara para polvo Humedecer la zona de trabajo
Caídas	Evitar caminar cerca del borde de las celdas	Cercar los bordes
Movimientos de vehículos	No caminar cerca de vehículos en movimiento	Establecer zonas de exclusión
Estrés térmico	Tener suficiente agua en el sitio	Beber y trabajar en los momentos más fríos del día.
Exposición química	Separar los productos químicos de la fosa principal	Establecer una zona de residuos químicos, usar guantes para químicos, mascarilla, overol.
Levantamiento pesado	Evitar levantar objetos que son demasiado pesados.	Emplear técnicas de elevación segura
Enfermedades	Evitar entrar en las celdas	Permanezca en el vehículo mientras se está en la celda, vacúnese adecuadamente, use equipo de protección personal
Gases	Máscara antigases	Usar máscara antigases

(Fuente: Cafe, 2016).

El personal debe ser debidamente entrenado y capacitado para que puedan llevar a cabo un trabajo adecuado y sin riesgos, los requisitos mínimos de capacitación para el personal del relleno sanitario son: plan de Seguridad y Salud Ocupacional, plan de respuestas ante emergencias, manejo manual de residuos sólidos, primeros auxilios, equipo de protección personal, emergencia y seguridad, identificación de riesgos y procesos de gestión, política y procedimientos, uso de planta y equipo del sitio, almacenamiento y cobertura de los residuos, requisitos de mantenimiento del sitio (Cafe, 2016)

Otro elemento importante a tomar en cuenta el programa de seguridad laboral es mantenerse en contacto con los servicios de emergencia locales y, por lo tanto, los números de teléfono de los bomberos, la policía y los servicios de ambulancia deben de publicarse de manera adecuada y clara en el sitio (ISWA, 2010).



## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- De acuerdo con los análisis fisicoquímicos los parámetros se encuentran por debajo de la Categoría 1, excepto en el muestreo 1 hay una contaminación puntual de las actividades cercanas a la cuenca, por lo tanto, el agua del río Bizcoyol es apta para actividades recreativas, acuicultura, conservación acuática, generación hidroeléctrica, navegación y riego de cultivos.
- Al no presentarse una contaminación significativa en el cuerpo de agua no es necesario remover los residuos sólidos presentes en el sitio pues no están generando impacto ambiental importante.
- La propuesta realizada en este trabajo permite darle un segundo uso al botadero, transformándolo en un vertedero controlado.
- Los residuos sólidos del distrito de Cóbano podrán recibirse en el sitio durante 4 años si se desechan el 100% de los mismos, con el compostaje de los residuos sólidos orgánicos se aumenta la vida útil a 11 años.
- La construcción y correcta operación de todas las estructuras que componen el vertedero permitirá controlar los flujos de contaminantes líquidos, sólidos y gaseosos, evitando impactos ambientales futuros.
- En el manual de operación y mantenimiento se consideran todas las medidas necesarias a tomar en cuenta para gestionar un sitio de disposición final, sin embargo, queda afuera del alcance de este proyecto definir cuáles medidas y equipos puede costear las autoridades municipales.
- Para que el proyecto sea rentable a 11 años de vida útil se requiere de un costo por tonelada de residuos sólidos de 48,300 colones (con un aumento del 1% anual).

### Recomendaciones

- El consejo Municipal debe iniciar un plan de gestión de los residuos sólidos municipales que incluya la caracterización y cuantificación de residuos sólidos, un plan de reciclaje para la reducción de los desechos sólidos involucrando a todos los

actores en la toma de decisiones como vecinos, industria turística y hotelera, comercios, agro productores, entes gubernamentales, etc.

- Posterior al fin de la vida útil se debe llevar a cabo el Cierre Técnico respectivo en el que se debe de incluir la etapa de monitoreo de las aguas superficiales y si es posibles de las aguas subterráneas, para corroborar que no se está dando contaminación por lixiviados. Además del monitoreo de los gases, el polvo, los vectores, control de incendios, y otros.
- Dentro del diseño oficial se debe considerar un sistema de recolección y almacenamiento de agua de lluvia como respaldo para controlar posibles incendios en el vertedero.
- Es preferible colocar el sistema de tratamiento de lixiviados en el punto más bajo del terreno (en la zona sur de la finca) y descargar el efluente en el río.
- Para aumentar la vida útil del vertedero se puede considerar en el futuro construir más celdas en la zona este del terreno donde hay espacio para tal fin esto daría la posibilidad de poder recibir más residuos sólidos por más tiempo, si al final de la vida útil no se contara con otro método de disposición final.
- Debido a la poca disponibilidad de material de cobertura se recomienda la adquisición de otra finca donde se pueda llevar a cabo la extracción de suelo y usar el nuevo sitio para construir la nueva celda.
- Para la restauración paisajística y ecológica del sitio se recomienda la siembra de zacate, plantas pequeñas y arbustos. Con el fin de recuperar el lugar para su posterior uso recreativo como parque ambiental, centro de deportivo o lo que la comunidad considere necesario.
- Se recomienda solicitar financiamiento a bancos de desarrollos o créditos y subvenciones a Organismos Internacionales que se dedican a financiar proyectos ambientales.

## REFERENCIAS

3M Corporation. (2019). Personal protective equipment. Recuperado de: [https://www.3m.com/3M/en\\_US/worker-health-safety-us/personal-protective-equipment/](https://www.3m.com/3M/en_US/worker-health-safety-us/personal-protective-equipment/)

Aboyeji, O. S., & Eigbokhan, S. F. (2016). Evaluations of groundwater contamination by leachates around olusosun open dumpsite in lagos metropolis, southwest nigeria. *Journal of Environmental Management*, 183, 333-341. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.002>

Álvarado, D. (2016). Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Available from Universidad de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/138545/Modelo-para-el-diseno-de-sistemas-de-captacion-y-aprovechamiento-de-biogas-producido.pdf?sequence=1>

American Concrete Pipe Association. (2012). Manning's n values history of research.

Army Corps of Engineers. (2003). Chapter 1: Landfill covers and liners. Safety and health aspects of HTRW remediation technologies - engineering and design (EM 1110-1-4007) (pp. 1-1) Recuperado de: <https://app.knovel.com>

Asian Development Bank (ADB). (2016). Carbon credits: Improving financing and sustainability of a landfill closure project. Recuperado de: <https://development.asia/case-study/transforming-landfills-profitable-green-space>.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018). Préstamos. Recuperado de: <https://www.iadb.org>

Bell, F. (2007). Waste, contamination and the environment. Basic environmental and engineering geology (pp. 177) Whittles Publishing. Recuperado de: <https://app.knovel.com/>

Bell, F., Culshaw, M., & Skinner, H. (2012). Non-engineered fills. *Manual of geotechnical engineering* (pp. 443-461). London, UK.

Bermejo, N., & Soto, A. (2010). Aplicaciones topográficas para el control de vertederos. Available from Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7294>

Bodoga, K. (2016). Unexpected difficulties in landfill construction and the importance of the quality control and assurance. *American Society of Civil Engineers*, 767.

British Columbia Ministry of Environment. (2016). Landfill criteria for municipal solid waste. Canadá.

Cafe, M. (2016). In Taylor G., Glenn M., Slavin N., Middleton T., Smith F. and Donohue F. (Eds.), *The central remote australian landfill operating manual*. Australia.

Calvo, F., Moreno, B., Ramos, Á., & Zamorano, M. (2007). Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(1), 98-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.12.003>

Calvo, G. (2018). Índices e indicadores sobre la calidad del agua (1st ed.). Cartago, Costa Rica.: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Calvo, J. (2019). Comunicación personal. 13 de agosto del 2019.

Campos, A. (2017). Gestión de la recolección de los residuos sólidos y reconversión del vertedero municipal. Cóbano, Puntarenas.

Carmona, D. (2015). Desarrollo de un manual de construcción de un relleno sanitario piloto de residuos sólidos urbanos con sistema natural de alta velocidad. Available from Escuela

Politécnica Superior de Sevilla. Recuperado de:  
[http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/15102/mod\\_resource/content/0/Memoria%20descriptiva.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/15102/mod_resource/content/0/Memoria%20descriptiva.pdf)

Caterpillar. (2018). Equipos. Recuperado de:  
[https://www.cat.com/es\\_MX/products/new/equipment.html](https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment.html)

Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). (2010). Mapa digital de suelos de costa rica. Recuperado de: [http://www.cia.ucr.ac.cr/?page\\_id=139](http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139)

Chanchay, N. (2014). Cierre técnico y saneamiento de las áreas afectadas por el botadero de residuo sólidos del cantón de san lorenzo del pailón provincia de esmeraldas. Disponible en Universidad Central del Ecuador. Recuperado de:  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7683>

Chávez, A., Pinzón, L., & Casallas, N. (2017). Análisis de los parámetros físico químicos en un reactor biológico en el tratamiento de los lodos de lixiviados provenientes del relleno sanitario doña juana. *Revista UNIMAR*, 35(2), 211-218.

Cidelsa. (2017). Geosintéticos. Lima, Perú: Recuperado de:  
[https://www.cidelsa.com/media/web\\_brochure/Brochure\\_geosinteticos\\_\\_2017.pdf](https://www.cidelsa.com/media/web_brochure/Brochure_geosinteticos__2017.pdf).

Danthurebandara, M., Van Passel, S., Nelen, D., Tielemans, Y., & Van Acker, A. (2012). Environmental and socio-economic impacts of landfills. *Linnaeus ECO-TECH*, , 40.

Delgado, J., Chavarría, C., León, J., Montero, R., Bendersky, N., Sánchez, A., . . . Cerdas, T. (2018). Plan municipal de gestión integral de residuos sólidos

Department of the Environment and Energy Australian Government.Hazardous waste. Retrieved from <http://www.environment.gov.au/protection/hazardous-waste>

Environment Protection Authority Australia. (2016). Environmental guidelines: Solid waste landfills. Australia:

Department of Environmental Quality. (2018). *Municipal solid waste landfill operation and management workbook*. Wyoming, Estados Unidos.

Environment Protection Department Hong Kong (EPD). (2017). A guide to the air pollution control (open burning) regulation. Recuperado de: [https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/guide\\_ref/guide\\_openburning.html](https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/guide_ref/guide_openburning.html)

Environmental Protection Agency (EPA). (2014). Municipal solid waste landfills: Economic impact analysis for proposed subpart to the new source performance standards. United States:

Evaluación de Recursos Naturales (EVREN). (2013). Estudios hidrológicos. Recuperado de: <http://evren.es/estudios-hidrogeologicos/>

EPA Victoria. (2015). *Siting, desing, operation and rehabilitation of landfills*. Australia

Evans, T., & Glutz, K. (2014). Green space to improve waterways and communities. Green infrastructure implementation (pp. 433) WEF Recuperado de: <https://app.knovel.com/>

Fenn, G., Hanley, K., & DeGeare, T. (1975). Use of the water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites. ( No. SW-168). Ohio: Environmental Protection Agency. Retrieved from National Service Center of Environmental Publications (NSCEP) Recuperado de: <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPDF.cgi/9100OH2M.PDF?Dockey=9100OH2M.PDF>

Foley Equipment. (2019). Used equipment for sale. Recuperado de: [https://www.foleyeq.com/cat\\_used\\_equipment](https://www.foleyeq.com/cat_used_equipment)

Giraldo, E. (2001). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Los Andes, (14), 44-55. doi:<http://dx.doi.org/10.16924%2Friua.v0i14.538>

Guyer, P. (Ed.). (2015). An introduction to design of landfill gas collection systems. California: Clubhouse Press.

Henriquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F. & Alvarado, A. (2014). Principales suelos de costa rica. Retrieved from [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)

Hadinata, F., Damanhuri, E., & Benno, R. (2017). Preliminary study of the compressibility of municipal solid waste in indonesian landfill. *International Journal of GEOMATE*, 13(39), 191. doi:10.21660/2017.39.56736

Han, Z., Ma, H., Shi, G., He, L., Wei, L., & Shi, Q. (2016). A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in china. *Science of the Total Environment*, 569-570, 1255-1264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>

Hanfman, E. (2009). A comprehensive assessment of illegal waste dumping. Recuperado de: <https://www.waterhealtheducator.com/upload/Illegal%20Waste%20Dumping%20Article.pdf>

Henriquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F. & Alvarado, A. (2014). Principales suelos de costa rica. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)

Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Métodos para la determinación de coeficientes de escorrentía. Universidad Politécnica de Valencia.

Ikhlal, M. (2017). Environmental impacts and benefits of state-of-the-art technologies for E-waste management. *Waste Management*, 68, 458-474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.038>

Imran, M., Haydar, S., Kim, J., Awan, M. R., & Bhatti, A. A. (2017). E-waste flows, resource recovery and improvement of legal framework in pakistan doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.015>

Internacional Solid Waste Association (ISWA). (2010). *Landfill operational guidelines* (2nd ed.)

International Solid Waste Association (ISWA). (2013). Guidelines for design and operation of municipal solid waste landfills in tropical climates. (). Recuperado de: [https://www.iswa.org/index.php?eID=tx\\_iswaknowledgebase\\_download&documentUid=3159](https://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=3159).

International Solid Waste Association (ISWA). (2014). Waste atlas: The world 50 biggest dumpsites. Recuperado de: <http://www.nswai.com/DataBank/pdf2/World%27s%20Fifty%20biggest%20dumpsites,Waste%20Atlas%202014.pdf>

Internacional Solid Waste Association (ISWA). (2015). Waste health: The tragic case of dumpsites. Recuperado de: [https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task\\_Forces/THE\\_TRAGIC\\_CASE\\_OF\\_DUMP\\_SITES.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task_Forces/THE_TRAGIC_CASE_OF_DUMP_SITES.pdf)

Internacional Solid Waste Association (ISWA). (2016). A roadmap for closing waste dumpsites: The world's most polluted places. Recuperado de: [https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/About%20ISWA/ISWA\\_Roadmap\\_Report.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/About%20ISWA/ISWA_Roadmap_Report.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2018). Estimaciones y proyecciones de población. Recuperado de: <http://www.inec.go.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>

Instituto Meteorológico Nacional. (2019). El clima y las regiones climáticas de costa rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costa-rica>

Jaramillo, J. (2002). In Organización Panamericana de la Salud (OPS) (Ed.), Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Lima, Perú:



Japan International Cooperation Agency (JICA). (2010). *Practical guidelines on how to conduct proper landfill operation at neds in ulaanbaatar city in mongolia*. Mongolia

Jeon, H. (2012). Durable geotextiles. In P. Annis (Ed.), *Understanding and improving the durability of textiles* (pp. 233-261) Recuperado de: <https://app.knovel.com>

Khalil, C., Al Hageh, C., Korfali, S., & Khnayzer, R. S. (2018). Municipal leachates health risks: Chemical and cytotoxicity assessment from regulated and unregulated municipal dumpsites in lebanon. *Chemosphere*, 208, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.151>

Khalizah, S., Abdul, N., Hanita, N., & Hanisah, N. (2016). Grey to green: Rehabilitation of urban dumpsite through regenerative landscape approach. *Environment-Behaviour Proceedings*, 1.

Luduvic, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge transformation and disposal methods. Sludge treatment and disposal* (pp. von Sperling, M.). London, UK.: IWA Publishing.

Maamari, O., Brandam, C., Lteif, R., & Salameh, D. (2015). Health care waste generation rates and patterns: The case of lebanon. *Waste Management*, 43, 550-554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.05.005>

Madurapperuma, B. D., & Kurupparachchi, K. A. J. M. (2016). Rehabilitating a landfill site of lowland tropical landscape into an urban green space: A case study from the open university of sri lanka. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 400-410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.09.001>

Maiti, S. K., De, S., Hazra, T., Debsarkar, A., & Dutta, A. (2016). Characterization of leachate and its impact on surface and groundwater quality of a closed dumpsite – A case study at dhapa, kolkata, india. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 391-399. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.019>

Majundar, P., Mathew, & Ram, S. (2001). State of art on hidrological considerations for landfill and waste disposal sites. ( No. SR-3/2000-01). India:

Marino, A. L., Chaves, G. d. L. D., & Santos Junior, J. L. d. (2018). Do brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? *Journal of Cleaner Production*, 188, 378-386. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.311>

Ministerio de Ambiente y Aguas (MMAyA). (2010). Guía para la implementación, operación y cierre de rellenos sanitarios

Ministerio de la Salud de Costa Rica. (2016). Plan nacional para la gestión integral de residuos 2016 - 2021. San José, Costa Rica.

Ministerio de Trabajo. (2018). Lista de salarios mínimos por ocupación 2019. Recuperado de: <http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>

Mohamed, L. F., Ebrahim, S. A., & Al-Thukair, A. A. (2009). Hazardous healthcare waste management in the kingdom of bahrain. *Waste Management*, 29(8), 2404-2409. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.015>

Morales, H. (Ed.). (2006). Ingeniería vial I. Santo Domingo, República Dominicana: Editora Búho.

Moya, D., Aldás, C., López, G., & Kaparaju, P. (2017). Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: A worldwide opportunity of energy recovery by using waste-to-energy technologies. *Energy Procedia*, 134, 286-295. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.618>

Ngwabie, N. M., Wirlen, Y. L., Yinda, G. S., & VanderZaag, A. C. (2018). Quantifying greenhouse gas emissions from municipal solid waste dumpsites in cameroon. *Waste Management*, doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.048>

Njoku, P., Odiyo, J., Durowoju, O., & Edokpayi, J. (2018). A review of landfill gas generation and utilisation in africa. *Open Environmental Sciences*, 10, 1. doi:10.2174/1876325101810010001

Noerfitriyani, E., Hartono, M., Moersidik, S., & Gusniani, I. (2018). Impact of leachate discharge from cipayung landfill on water quaility of pesanggrahan river, indonesia. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 120, 1. doi:<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/120/1/012002>

North Carolina Environmental Quality. Illegal dumping. Recuperado de: <https://deq.nc.gov/about/divisions/waste-management/waste-management-permit-guidance/solid-waste-section/illegal-dumping>

Olangunju, O., Funmilayo, O., Olabode, B., & Michael, B. (2018). Environmental impact assessment of waste dumpsite using integrated geochemical and physico-chemical approach: A case study of ilokun waste dumpsite, ado-ekiti, southern nigeria. *Civil Enginnering Research Journal*, 4(2), 1. doi:DOI: 10.19080/CERJ.2018.04.555631

Omar, D., Karuppanan, S., & AyuniShafiea, F. (2012). Environmental health impact assessment of a sanitary landfill in an urban setting. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 146-155. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.214>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2004). In CONAM, Ministerio de Salud Digesa (Ed.), *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos*. Lima, Perú.

Organization of America States (OAS). (2019). Clasificación taxonómica de los suelos identificados. Recuperado de:<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/ch026.html>

Peng, Y. (2017). Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2567-S2574. doi:<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>

Programa de Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). (2008). Manual para la elaboración de planes municipales de gestión integral de residuos

Queensland Department of Environment Science (QDES). (2013). Landfill siting, desing, operation and rehabilitation (3.02nd ed.)

Raghab, S. M., Abd El Meguid, A. M., & Hegazi, H. A. (2013). Treatment of leachate from municipal solid waste landfill. *HBRC Journal*, 9(2), 187-192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.05.007>

Rajan, R., Robin, D. T., & M., V. (2018). Biomedical waste management in ayurveda hospitals – current practices & future prospectives. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.07.011>

Roads&Bridges. (2019). Defining a geosynthetic: Type and functions. Extraído de: <https://www.roadsbridges.com/defining-geosynthetic-type-and-functions>

RSEA Safety. (2019). Personal proteccion equipament. Recuperado de: <https://www.rsea.com.au/ppe>

Ramachandra, T., Barath, H., Kulkarni, G., & Sheng, S. (2018). Municipal solid waste: Generation, composition an GHC emissions in bangalore, india. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.085>

Sandoval, L. Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario mecanizado. Lima, Perú.

Savastano, A., Kenji, C., Antonio, F., Luiz, J., & Heloísa, M. (2019). *Manual de operação de aterro sanitário em valas*[Manual de Operación de Relleno Sanitario en zanjas]. São Paulo, Brasil.

Sharma, H., Krishna, R. (2004). *Geoenvironmental engineering: Site remediation, waste containment and emerging waste management technologies*. New Jersey: John Wiley & Sons, INC.

Silva, B., Gonçalves, A., & Araujo, M. (2018). Avaliação dos impactos ambientais do vazadouro municipal de volta redonda-RJ após sua desativação. *Geografia (Londrina)*, 27(1), 121-141. doi:10.5433/2447-1747.2018v27n1p121

Spasiano, D., & Pirozzi, F. (2017). Treatments of asbestos containing wastes. *Journal of Environmental Management*, 204, 82-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.038>

5220 CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) (2017), *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. doi: 10.2105/SMWW.2882.103

5210 BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD) (2017), *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. doi: 10.2105/SMWW.2882.102

2540 SOLIDS (2017), *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*  
DOI: 10.2105/SMWW.2882.030

3113 METALS BY ELECTROTHERMAL ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY (2017), *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. doi: 10.2105/SMWW.2882.045

3114 ARSENIC AND SELENIUM BY HYDRIDE GENERATION/ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY (2017)", Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. doi: 10.2105/SMWW.2882.046

Taheri, M., Gholamalifard, M., Jalili, M., & Rahinmoghli, S. (2014). Environmental impact assessment of municipal solid waste disposal site in tabriz, iran using rapid impact assessment matrix. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 32(2), 162. doi:<https://doi.org/10.1080/14615517.2014.896082>

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (Eds.). (1994). *Gestión integral de residuos sólidos* (J. Tejero Trans.). España: McGraw-Hill

Thorntwaite, C., & Mather, J. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology*, X(3), 308.

Temel, A., Kounuk, N., Turan, N., Ayeri, T., & Ardali, Y. (2018). The SWOT analysis for sustainable MSWM and minimization practices in turkey. *Global NEST Journal*, 20(1), 83.

Tongesayi, T., Kugura, J., & Tongesayi, S. Waste dumpsites and public health: A case for lead exposure in zimbabwe and potential global implications. *Enviroment Geochemical Health*, doi:<http://10.0.3.239/s10653-017-9917-6>

Tosso, J. (1975). Nueva fórmula para la determinación de evapotranspiración en chile. *Agricultura Técnica*, (35), 139-147.

Trujillo, D. (2010). Brigada comunitaria de apoyo al poblado miguel alemán municipio de hermosillo, sistema de recolección y tratamiento de la basura del a comunidad yaqui . Available from Biblioteca Digital de la Universidad de Sonora. (20523). Recuperado de: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=20523>

United Nations Environment Programme. (2005). Closing an open dumpsite and shifting from open dumping to controlled dumping and to sanitary land filling. Japón: Recuperado de: [http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/SPC\\_Training-Module.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/SPC_Training-Module.pdf)

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Hazardous waste generators. Retrieved from <https://www.epa.gov/hwgenerators>

Vásquez, E. (2001). Cuantificación y efectos de la producción de lixiviados en el relleno sanitario de salinas, victoria. Available from Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/6324/1/1080095002.PDF>

Villón, M. (2007). Hidráulica de canales. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Wang, L., Hung, Y., Lo, H., & Yapijakis, C. (Eds.). (2004). *Handbook of industrial and hazardous waste treatment*(2nd ed.). Estados Unidos: Marcel Dekker.

Wilson, G., Wigley, G., Chetwynd, J., Yarrow, R., & Nelson, P. (2001). In Laing K., Kortegast T., Amputch A., Bird G., Khire M. and Simpsom J.(Eds.), A guide for the management closing and closed landfills in new zealand

Wohnick, M. (2004). Closure/Postclosure of disposal sites. Recuperado de: <http://www.calrecycle.ca.gov/swfacilities/Closure/>

Yachiyo Enginnering Co. (2004). The study of the safe closure and rehabilitation of the landfills sites in malaysia. (Guideline for Safe Closure and Rehabilitation of MSW Landfill Sites). Malaysia: Recuperado de: [http://jpspn.kpkt.gov.my/resources/index/user\\_1/Sumber\\_Rujukan/kajian/GUIDELINE\\_FOR\\_SAFE\\_CLOSURE\\_AND\\_REHABILITATION\\_OF\\_MSW\\_LANDFILL\\_SITES.pdf](http://jpspn.kpkt.gov.my/resources/index/user_1/Sumber_Rujukan/kajian/GUIDELINE_FOR_SAFE_CLOSURE_AND_REHABILITATION_OF_MSW_LANDFILL_SITES.pdf)

Yaman, C., & Küçükağa, Y. (2017). Effect of a geotextile filter on leachate quality in a recirculated landfill bioreactor. *Desalination and Water Treatment*, 13(1), 61-73. doi:10.5004/dwt.2017.20906

Zambrado, D. (2018). Diseño de reactor anaerobio para tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de portoviejo Available from Repositorio de la Universidad de Manabi, Ecuador. Recuperado de:  
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1225?mode=ful>

## APÉNDICES

### APÉNDICE 1. VISITAS AL SITIO

#### VISITA AL SITIO DEL LUNES 3 DE SEPTIEMBRE DEL 2018



**Figura A.1.1** Entrada del terreno.



**Figura A.1.2.** Residuos sólidos cubiertos por la vegetación.





**Figura A.1.3. Montículo de residuos sólidos.**



**Figura A.1.4. Residuos de construcción en la entrada del botadero**



**Figura A.1.5 Presencia de residuos eléctricos en el botadero.**

VISITA AL SITIO DEL LUNES 17 DE DICIEMBRE DEL 2018



**Figura. A.1.6** Presencia de residuos sólidos nuevos (reapertura del vertedero temporal).



**Figura A.1.7** Dron utilizado para hacer el levantamiento topográfico.

## APÉNDICE 2. MUESTREO DEL RÍO



Figura A.2.1. Fotos de los sitios de muestreo. Nota: tomadas con SOLOCATOR.

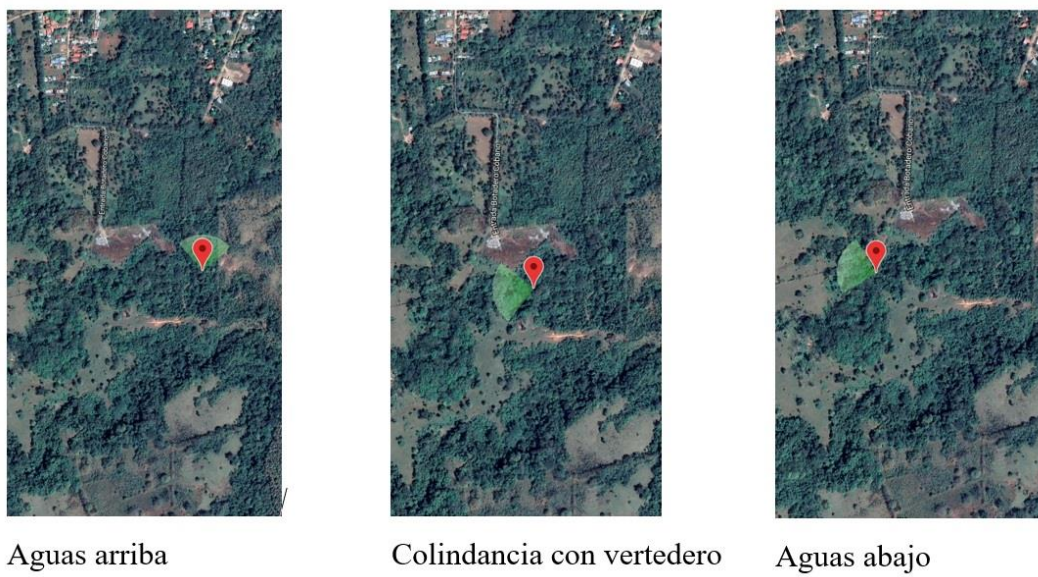


Figura A.2.2. Ubicación de puntos de muestreo en Google Maps.

### APÉNDICE 3. CÁLCULOS DE VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO

Cuadro A.3.1. Matriz para estimar la vida útil del proyecto.

Año	Población (Hab) (INEC)	PPC (kg/hab/día )	Cantidad de RS			Volumen RS (m3)					Área requerida (m <sup>2</sup> )		
			Diaria (kg/día)	Año (ton/año)	Acum (ton)	RS Compactados		Material de cobertura		RS Estabili- zados (m3/año)	Relleno Sanitario		Total (m <sup>2</sup> )
						Diaria (m3)	Anual (m3)	Diaria (m3)	Anual (m3)		m3	Acumula do (m3)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>2018</b>	<b>7990</b>	<b>1.14</b>	<b>9108.9</b>	<b>3324.7</b>	<b>3324.7</b>	<b>20.2</b>	<b>7388.3</b>	<b>4.0</b>	<b>1477.7</b>	<b>5541.2</b>	<b>7018.9</b>	<b>7018.9</b>	<b>467.9</b>
2019	8158	1.14	9300.5	3394.7	6719.4	20.7	7543.7	4.1	1508.7	5657.8	7166.5	7166.5	477.8
2020	8330	1.14	9496.1	3466.1	10185.5	21.1	7702.4	4.2	1540.5	5776.8	7317.3	14483.8	487.8
2021	8505	1.14	9695.9	3539.0	13724.5	21.5	7864.4	4.3	1572.9	5898.3	7471.2	21955.0	498.1
2022	8684	1.14	9899.8	3613.4	17337.9	22.0	8029.8	4.4	1606.0	6022.4	7628.4	29583.4	508.6
2023	8867	1.14	10108.0	3689.4	21027.4	22.5	8198.8	4.5	1639.8	6149.1	7788.8	37372.2	519.3
2024	9053	1.14	10320.7	3767.0	24794.4	22.9	8371.2	4.6	1674.2	6278.4	7952.6	45324.9	530.2
2025	9244	1.14	10537.8	3846.3	28640.7	23.4	8547.3	4.7	1709.5	6410.5	8119.9	53444.8	541.3
2026	9438	1.14	10759.4	3927.2	32567.9	23.9	8727.1	4.8	1745.4	6545.3	8290.7	61735.5	552.7
2027	9637	1.14	10985.7	4009.8	36577.7	24.4	8910.6	4.9	1782.1	6683.0	8465.1	70200.6	564.3
2028	9839	1.14	11216.8	4094.1	40671.8	24.9	9098.1	5.0	1819.6	6823.6	8643.2	78843.8	576.2
2029	10046	1.14	11452.7	4180.2	44852.1	25.5	9289.4	5.1	1857.9	6967.1	8825.0	87668.8	588.3

## APENDICE 4. CÁLCULOS PARA ESTIMAR LA GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

**Cuadro A.4.1. Estimación de la evaporación potencial por el método de Tosso.**

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación (mm/mes)	18.91	1.23	0.63	67.86	331.26	325.62	197.30	293.65	352.61	669.88	155.03	37.76
Temperatura promedio (°C)	26.08	26.20	27.13	27.56	26.71	26.67	26.52	26.58	26.33	25.70	25.89	25.79
$\Delta T$	18.00	14.88	15.44	15.65	11.76	11.20	11.83	10.15	9.20	10.98	10.32	15.80
Humedad relativa (%)	0.77	0.71	0.70	0.75	0.84	0.87	0.86	0.86	0.87	0.88	0.87	0.83
Velocidad del viento (km/h)	3.09	3.51	3.57	3.39	2.67	2.51	2.49	2.52	2.61	2.58	2.57	2.55
Radiación solar (mm/mes)	403.00	394.80	468.10	465.00	474.30	453.00	468.10	474.30	453.00	443.30	396.00	393.70
Constantes adimensionales												
Precipitación	1.04	1.05	1.05	1.02	0.88	0.89	0.95	0.90	0.87	0.72	0.97	1.03
Temperatura media	1.23	1.04	1.07	1.08	0.84	0.81	0.85	0.74	0.68	0.79	0.75	1.09
$\Delta T$	1.06	1.00	1.01	1.01	0.94	0.93	0.94	0.91	0.89	0.92	0.91	1.01
Humedad relativa	0.97	1.00	1.00	0.98	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.95
Velocidad del viento	0.66	0.69	0.70	0.68	0.63	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.62	0.62
Altitud <sup>a</sup>	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
<i>Evapotranspiración potencial (mm/mes)</i>	109.13	91.62	114.66	107.98	61.52	54.12	63.63	52.14	43.86	41.76	47.78	82.52

<sup>a</sup>Se considera una altitud de 126 msnm.

**Cuadro A.4.2. Balance hídrico para estimar la generación de lixiviados.**

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Humedad de residuos sólidos (mm)	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68	22.68
Evaporación Potencial (mm)	109.13	91.62	114.66	107.98	61.52	54.12	63.63	52.14	43.86	41.76	47.78	82.52
Precipitación (mm)	18.91	1.23	0.63	67.86	331.26	325.62	197.30	293.65	352.61	669.88	155.03	37.76
Coefficiente Runoff	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Escorrentía (mm)	3.21	0.21	0.11	11.54	56.31	55.35	33.54	49.92	59.94	113.88	26.36	6.42
Infiltración (mm)	15.69	1.02	0.52	56.32	274.94	270.26	163.76	243.73	292.66	556.00	128.68	31.34
I-EP <sup>a</sup>	-93.44	-90.60	-114.14	-51.65	213.43	216.14	100.13	191.59	248.81	514.24	80.90	-51.18
∑ I-EP <sup>b</sup>	-93.44	-184.04	-298.18	-349.83								-51.18
ST	315.5	252	189	166	400	400	400	400	400	400	400	352
ΔST	-36.5	-63.5	-63	-23	234	0	0	0	0	0	0	-48
Evaporación Real (mm)	52.19	64.52	63.52	79.32	61.52	54.12	63.63	52.14	43.86	41.76	47.78	79.34
Percolación (mm)	22.68	22.68	22.68	22.68	-20.57	238.83	122.81	214.27	271.49	536.93	103.58	22.68431
Lixiviados (m3)	0.02	0.02	0.02	0.02	-0.02	785.75	404.05	704.95	893.21	1766.49	340.78	74.63

<sup>a</sup>Diferencia entre la infiltración y la evapotranspiración potencial.

<sup>b</sup>Potencial acumulado de pérdida de agua

Muestra de cálculo de evapotranspiración potencial para el mes de enero.

Constante de precipitación:

$$CP = 1.05 - 0.05 * \frac{18.9mm}{100} = 1.04$$

Constante de temperatura promedio:

$$CTM = 0.12 + \frac{0.92 * 26.08^{\circ}C}{15 - 0.04 * \left(\frac{26.08^{\circ}C}{15}\right)^2} = 1.23$$

Constante de humedad relativa:

$$1.13 - 0.13 * \left(\frac{0.77}{0.7}\right)^2 = 0.97$$

Constante de diferencia de temperatura:

$$0.72 + 0.28 * \left(\frac{18}{15}\right) = 1.06$$

Constante de velocidad del viento:

$$0.41 + 0.92 * \left(\frac{3.09 \frac{km}{h}}{10}\right) - 0.33 * \left(\frac{3.09 \frac{km}{h}}{10}\right)^2 = 0.66$$

Constante de altitud:

$$0.94 + 0.06 * \frac{126 m}{1000} = 0.95$$

Evapotranspiración potencial:

$$ETP = 403 * 0.328 * 1.04 * 1.23 * 0.97 * 1.06 * 0.66 * 0.95 = 109.13$$

A.4.5 Muestra de cálculo de balance hídrico para el mes de abril

Cálculo de escorrentía:

$$ECR = 0.17 * 67.86mm = 11.54 mm$$

‘Cálculo de infiltración:

$$I = 67.86 \text{ mm} - 11.54 \text{ mm} = 56.32 \text{ mm}$$

Cálculo de infiltración menos evapotranspiración potencial:

$$ETP = 56.32 \text{ mm} - 107.98 \text{ mm} = 51.65 \text{ mm}$$

Cálculo de potencial acumulado de pérdida de agua

Corresponde a la sumatoria de I-ETP, cuando estos son negativos, de los meses consecutivos en este caso de enero a abril:

$$\sum \text{Neg} (I - ETP) = -93.44 - 90.60 - 114.14 - 51.65 = 349.83 \text{ mm}$$

Cálculo del cambio en la humedad del suelo acumulado

Para determinar la humedad del suelo acumulado se debe de conocer la humedad del suelo retenida por mes, con las tablas de Thornthwaite (Anexo 2), la cuál se eligió según fdl capacidad de retención de humedad del suelo que corresponde a 400 mm para arcilla (EPA, 1975), se interpola el valor de  $\sum \text{Neg} I-ETP$  (potencial de pérdida de agua acumulado) y se obtiene la humedad de suelo mensual (ST). Para el mes de marzo ( $\sum \text{Neg} I-ETP = -298.18$ ) el ST es de 189 mm y para el mes de abril ( $\sum \text{Neg} I-ETP = -349.83$ ) el ST es de 166 mm. Entonces el cambio en la humedad que se dio al mes siguiente se calculó como:

$$\Delta ST = 166 \text{ mm} - 189 \text{ mm} = -23 \text{ mm}$$

Cálculo de evaporación real

$$ETR = 107.98 + (-51.65 + 23) = 79.32 \text{ mm}$$

Cálculo de percolación

En los meses en que la evaporación potencial sea mayor a la infiltración la percolación será 0. En el caso del mes de abril evapotranspiración potencial es de 107.98 mm y la infiltración 56.32 mm, en este caso no habrá líquido que se percole como lixiviado. Por el contrario, para el mes de junio la percolación corresponde a la diferencia entre la infiltración y el cambio de humedad en el suelo, más la humedad de los residuos sólidos:



$$PERC = 216.14mm - 0 mm + 22.7 mm = 238.84 mm$$

Cálculo de volumen de lixiviados

De igual forma para el punto anterior el volumen de lixiviados que se generan para el mes de junio es:

$$V_L = \frac{238.84 \left(\frac{L}{m^2}\right) * 3290m^2}{1000} = 785.8 m^3$$

## APÉNDICE 5. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA

Para conocer la intensidad de la lluvia se empleó el software HidroEsta v2, a partir del ingreso de las lluvias máximas por año para cada estación se obtuvo las curvas y la ecuación de intensidad máxima.

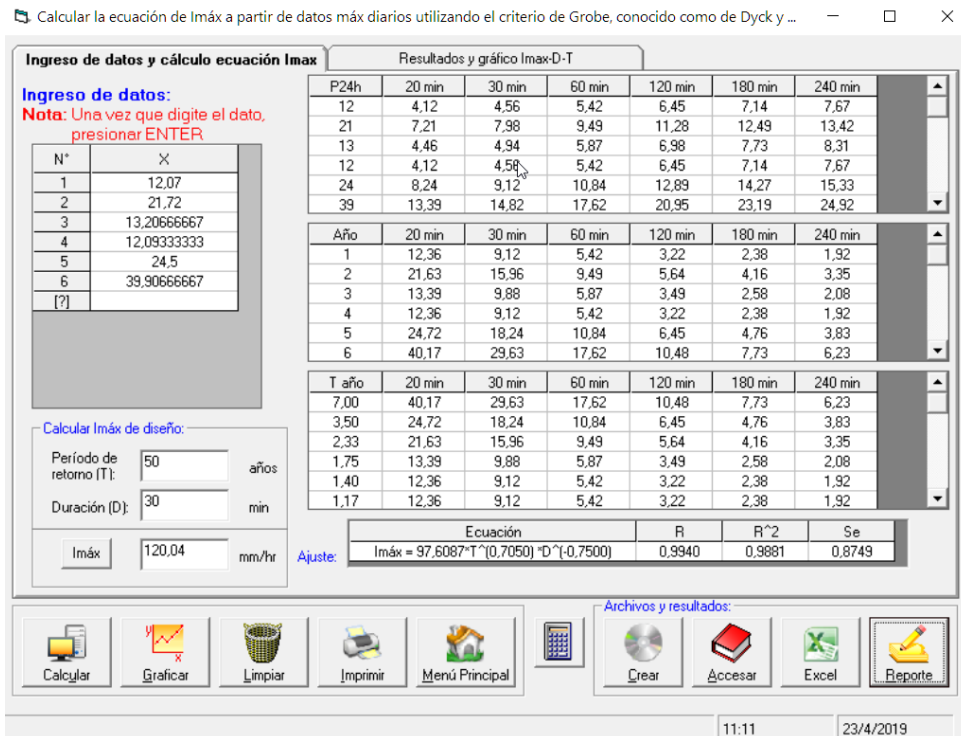


Figura A.5.1 Ingreso de datos y resultados obtenidos de intensidades máximas a partir del software HidroEsta para la estación de Paquera.

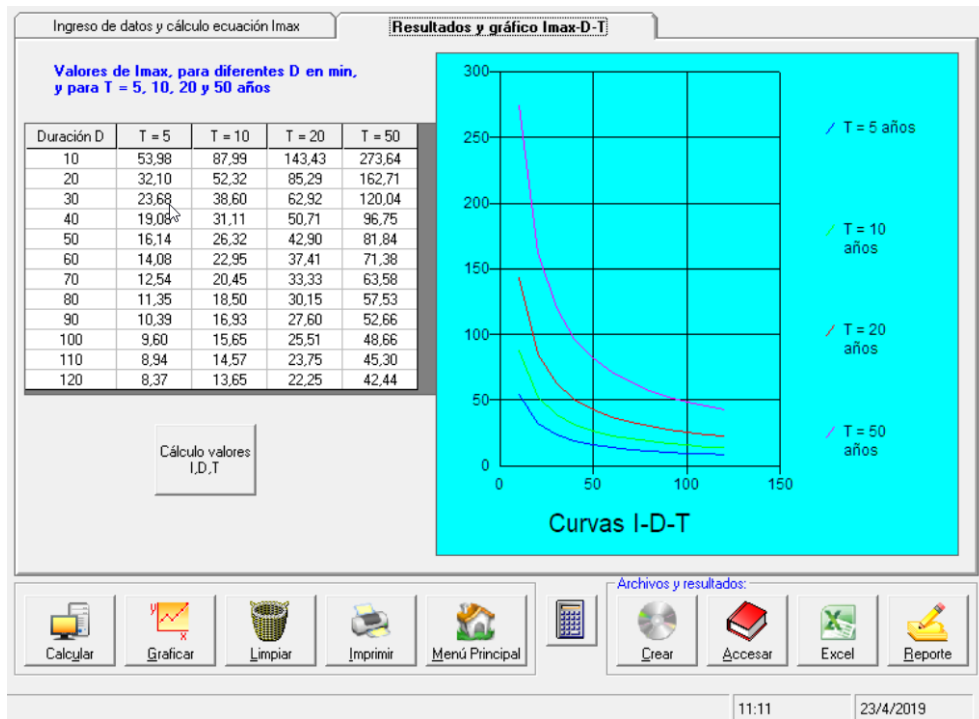


Figura A.5.2. Resultados y gráfico de intensidad – duración – frecuencia de la Estación de Paquera.

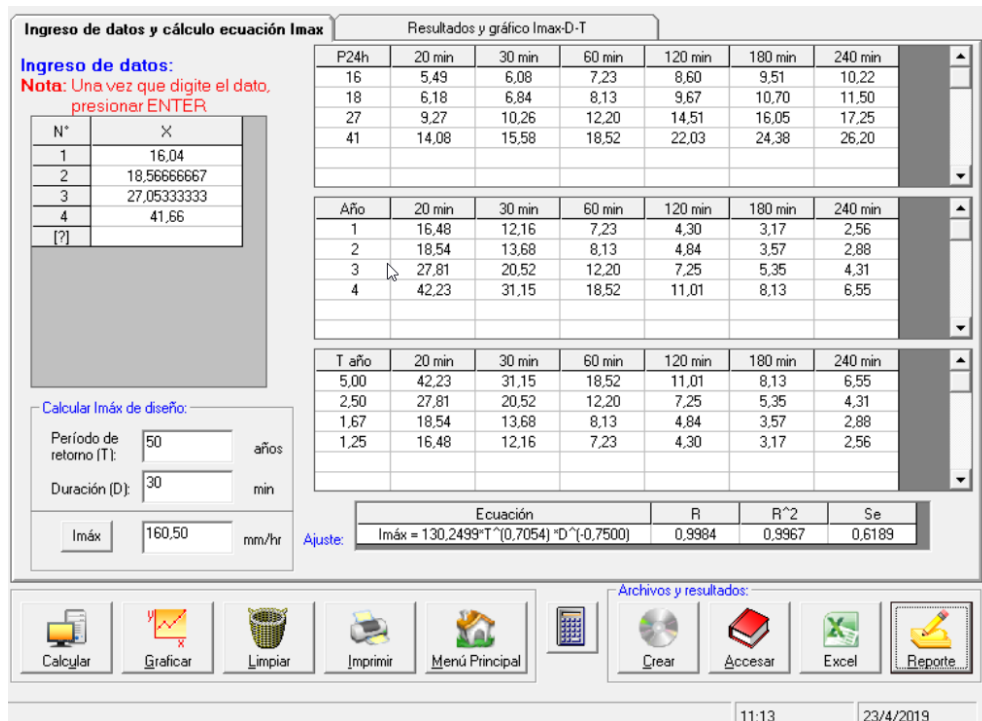


Figura A.5.1 Ingreso de datos y resultados obtenidos de intensidades máximas a partir del software HidroEsta para la estación de Cabuya.

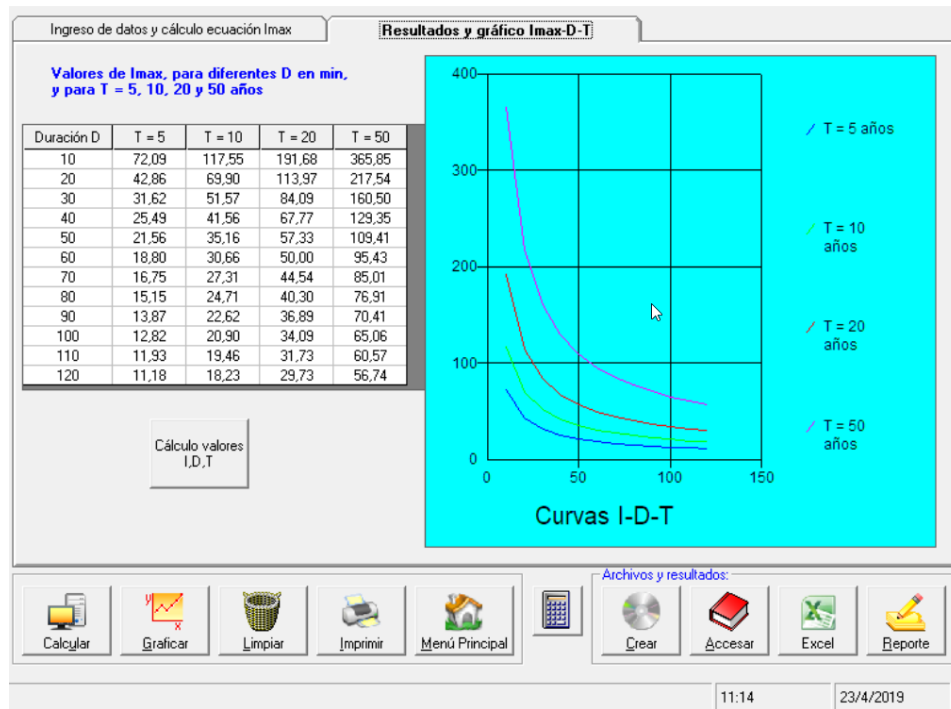


Figura A.5.2. Resultados y gráfico de intensidad – duración – frecuencia de la Estación de Cabuya.

## APÉNDICE 6. DISEÑO DEL DRENAJE PLUVIAL

Para el diseño del drenaje se calculó los caudales que se van a generar por cada tramo. A continuación, se presenta la muestra de cálculo del primer caudal:

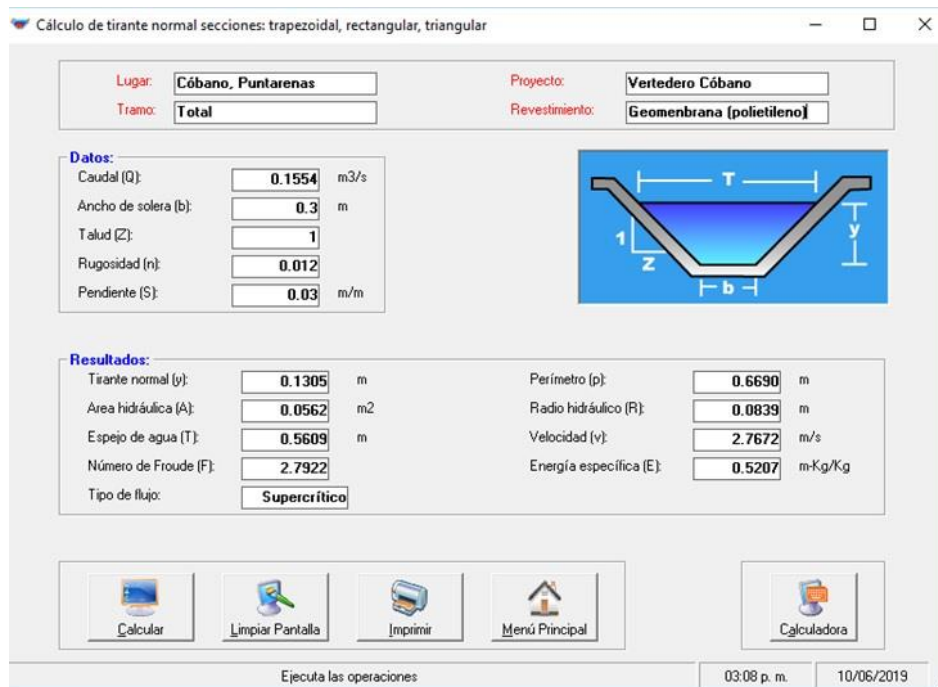
$$Q = \frac{0.499 * 160 \frac{mm}{h} * 2453.85 m^2}{3.6 * 10^6} = 0.0546 m^3/s$$

Los resultados se presentan en el siguiente cuadro. Cada caudal se calculó a partir de las 4 áreas de escurrimiento en las que se dividió el relleno sanitario. A partir de esos caudales se calculó el flujo de agua para cada tramo. El caudal del tramo 1 es únicamente el caudal de la primera área, el caudal que recorre el tramo 2 es la suma del caudal 1 más el caudal 2. El caudal del tramo 4 es únicamente el caudal de la cuarta área de escurrimiento. El caudal que recorre el tramo 3 es el acumulado de los caudales 3 y 4.

**Cuadro A.6.1. Caudales generados en el relleno sanitario.**

Área de escurrimiento (m <sup>2</sup> )	Caudal generado (m <sup>3</sup> /s)	Tramos	Caudal acumulado (m <sup>3</sup> /s)
2453.85	0.0546	1	0.0546
1473.6	0.0328	2	0.0873
1252.2	0.0278	3	0.0681
1809	0.0402	4	0.0402
Total	0.1554		-

Para calcular las dimensiones de los tramos se usó el programa de HCANALES v3.0 tal y cómo se muestra en la figura A.4.1. El software requiere de varios datos de entrada cómo: caudal, ancho de la solera, talud, rugosidad y pendiente. Se eligió un ancho de solera de 30 cm, un talud de 0.5, una rugosidad de 0.012. Las pendientes para los tramos 1,2,3,4 son respectivamente: 3%, 5%, 0.9%, 9.5%. Los resultados de las dimensiones y características de los flujos para cada tramo se presentan en la tabla A.4.2.



**Figura A.6.1. Dimensiones del canal final obtenido del software HCANALES.**

**Cuadro A.6.2. Resultados obtenidos del software HCANALES para cada tramo del sistema de drenaje pluvial.**

	<b>Tramo 1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Final</b>
<b>Parámetro</b>					
Tirante normal (m)	0.0662	0.0743	0.1023	0.0406	0.1305
Área hidráulica (m <sup>2</sup> )	0.0286	0.0333	0.0516	0.0155	0.0562
Espejo de agua (m)	0.5648	0.5972	0.7092	0.4624	0.5609
Número de Froude	2.7046	3.5404	1.5909	4.5312	2.7922
Tipo de flujo	Supercrítico				
Perímetro (m)	0.5961	0.6322	0.7575	0.4816	0.6690
Radio hidráulico (m)	0.0480	0.0527	0.0682	0.0321	0.0839
Velocidad (m/s <sup>2</sup> )	1.9071	2.6196	1.3190	2.5967	2.7672
Energía específica (m*kg/kg)	0.2516	0.4241	0.1910	0.3843	0.5207

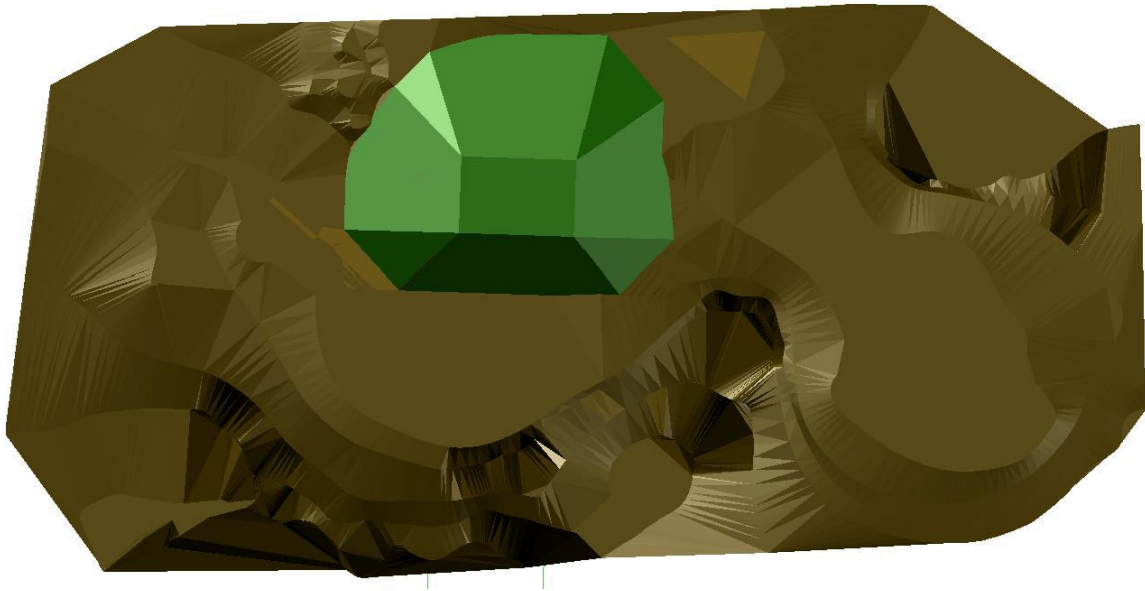
## APENDICE 7. DISEÑO DE TUBERÍAS DE LIXIVIADOS

**Cuadro A.7.1. Características de las tuberías de lixiviados.**

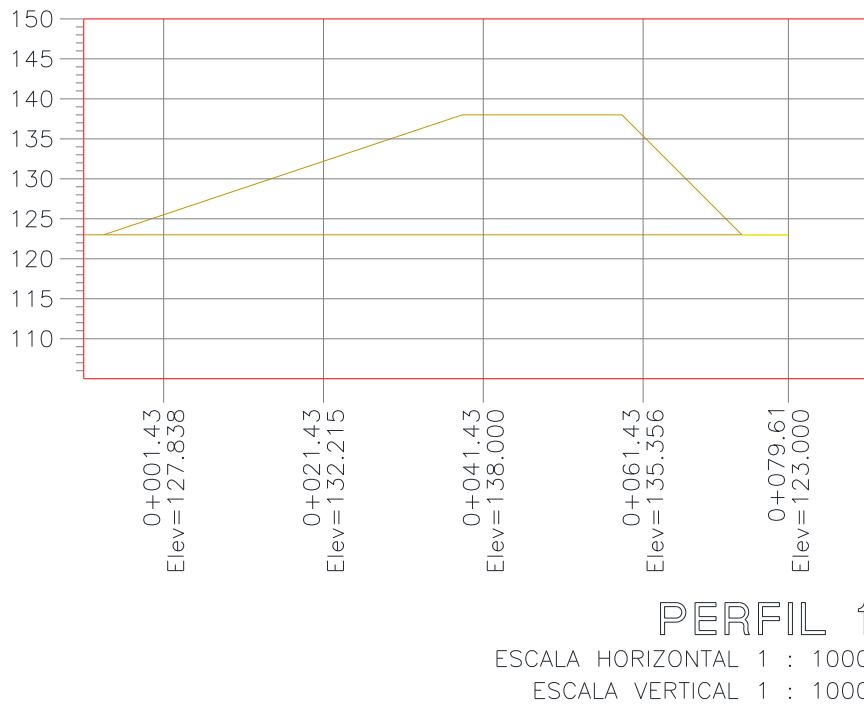
<b>Parámetro</b>	<b>Tubería secundaria</b>	<b>Tubería primaria</b>
Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /s)	0.00016	0.00016
Rugosidad Manning	0.012 <sup>(a)</sup>	0.012
Pendiente del canal (%)	0.05%	0.05%
Diámetro de alcantarilla (m)	0.2	0.4
Tirante (m)	0.0197	0.0165
Área (m <sup>2</sup> )	0.0016	0.0018
Perímetro mojado (m)	0.1276	0.1635
Espejo de agua (m)	0.1191	0.1590
Radio hidráulico (m)	0.0125	0.0108
Velocidad (m/s)	0.1004	0.0909
Caudal Manning (m <sup>3</sup> /s)	0.000	0.000
Número de Froude	0.2769	0.2757
Tipo de flujo	Subcrítico	Subcrítico
Angulo (rad)	1.275615	0.817410
Angulo (grados)	73.09	46.83
Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )	0.0062	0.0054
Energía (m*kg/kg)	0.0202	0.0169

<sup>a</sup>Coficiente de Manning para HPDE de 0.009 a 0.013 (Fuente: American Concrete Pipe Association, 2012)

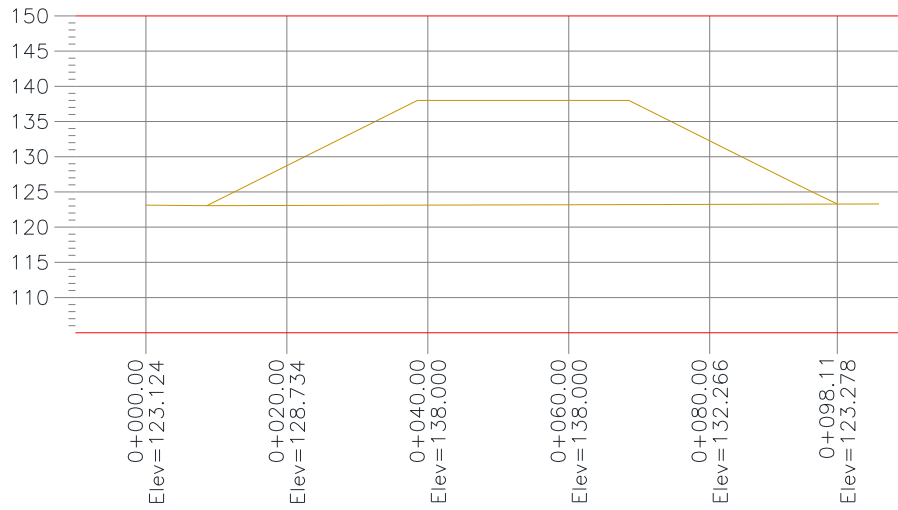
## APENDICE 8. DISEÑO DEL VERTEDERO CONTROLADO



**Figura A.8.1 Morfología del vertedero controlado.**



**Figura A.8.2. Perfil lateral del proyecto (vista oeste).**



**PERFIL2**

ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000

ESCALA VERTICAL 1 : 1000

**Figura A.8.3 Perfil lateral del proyecto (vista sur)**

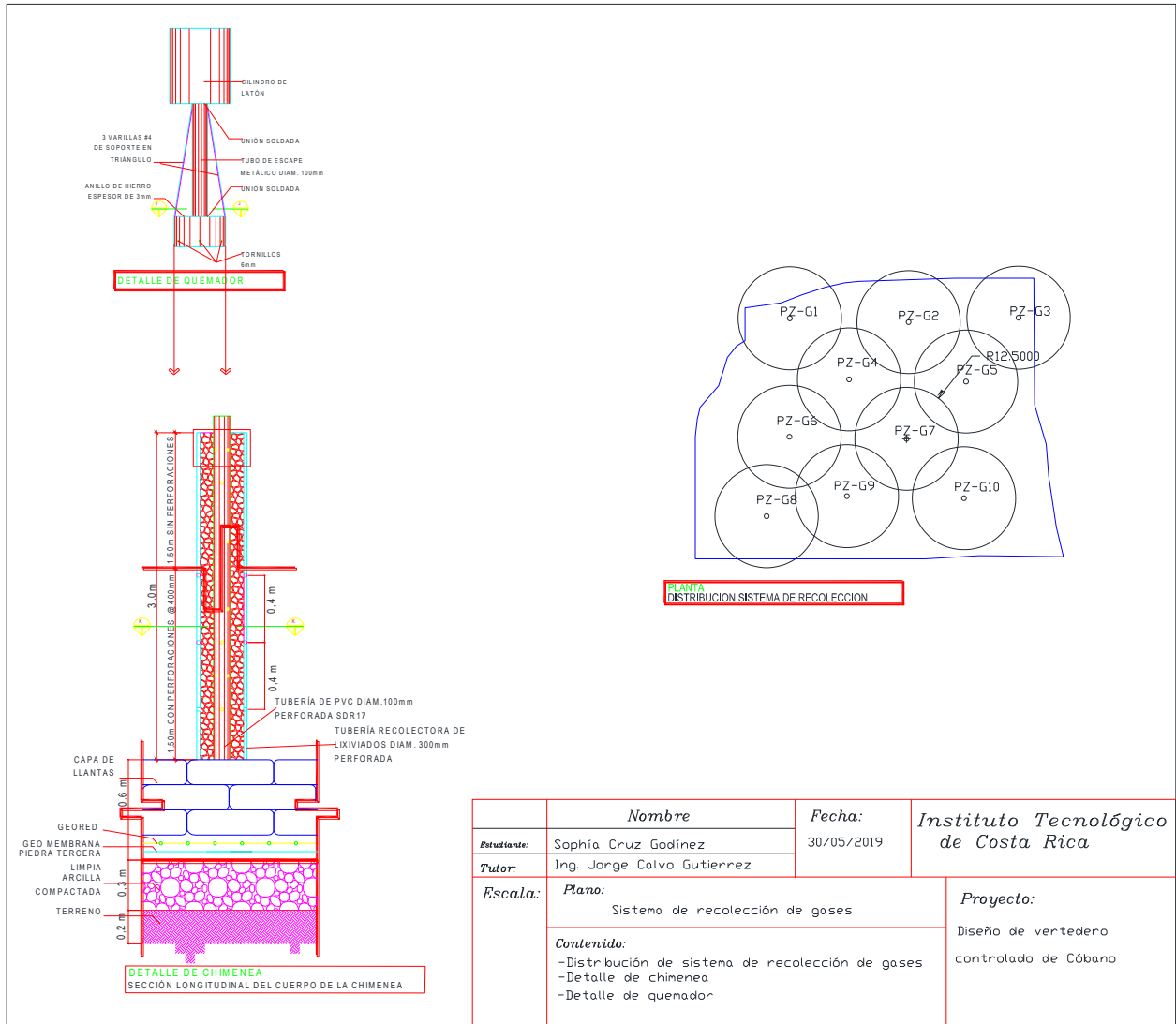
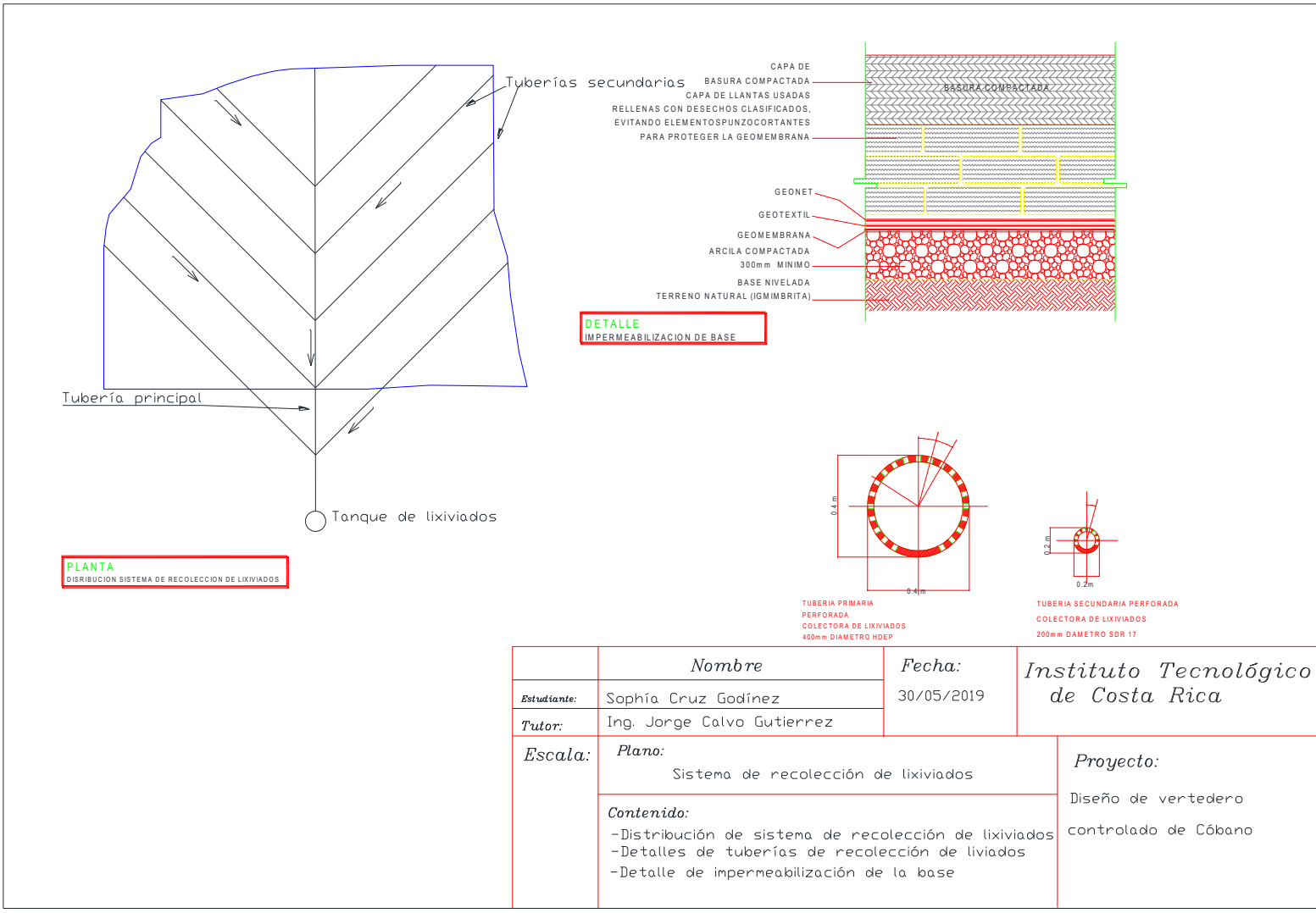


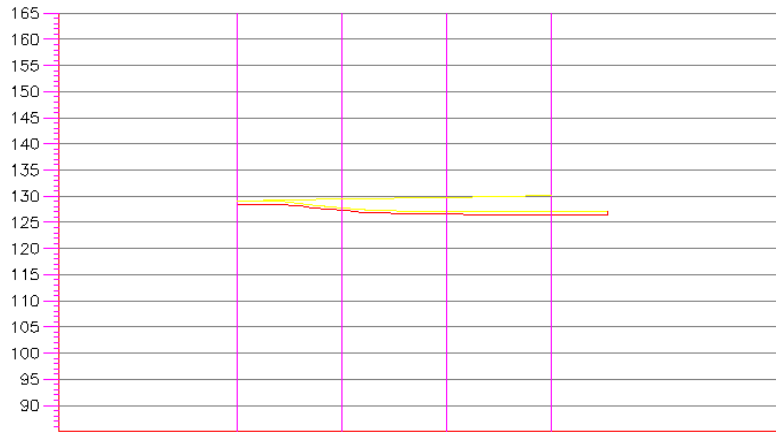
Figura A.8.4 Plano de sistema de recolección de gases.



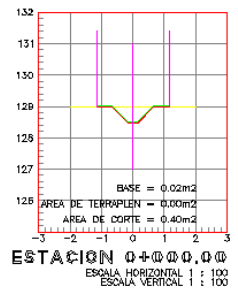
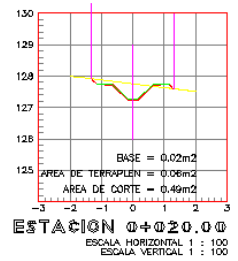
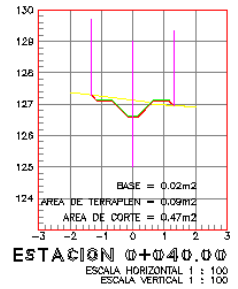
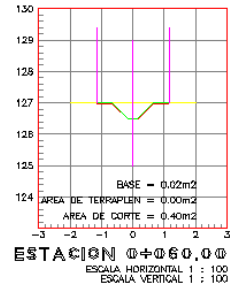


	<i>Nombre</i>	<i>Fecha:</i>	<i>Instituto Tecnológico de Costa Rica</i>
<i>Estudiante:</i>	Sophía Cruz Godínez	30/05/2019	
<i>Tutor:</i>	Ing. Jorge Calvo Gutierrez		
<i>Escala:</i>	<i>Plano:</i>	<i>Proyecto:</i>	
	Sistema de recolección de lixiviados		
	<i>Contenido:</i>	Diseño de vertedero controlado de Cóbano	
	-Distribución de sistema de recolección de lixiviados		
	-Detalles de tuberías de recolección de lixiviados -Detalle de impermeabilización de la base		

Figura A.8.5. Plano de sistema de recolección de lixiviados.

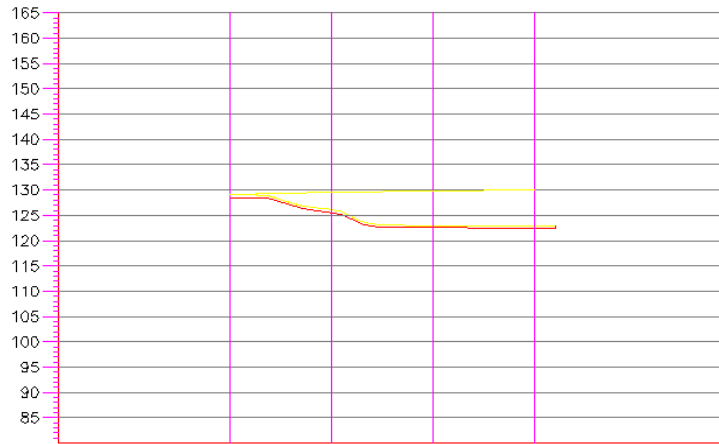


TIPO DE MATERIAL					
FACTOR DE ABUNDAMIENTO					
FACTOR DE COMPACTACION					
ORDENADAS DE LA CURVA MASA		10,000	10,008	10,016	10,024
VOLUMEN	TERRAPLEN	0.00	0.66	1.56	0.95
	CORTE	0.00	8.85	9.53	8.68
ESPESOR	TERRAPLEN	0.50	0.50	0.50	0.50
	CORTE	0.50	0.50	0.50	0.50
ELEVACION	SUBRASANTE	128.50	127.24	126.62	126.50
	TERRENO	129.00	127.74	127.12	127.00
		0+000.00	0+020.00	0+040.00	0+060.00

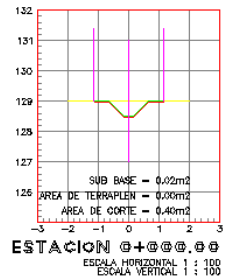
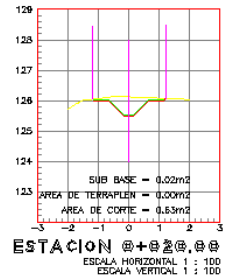
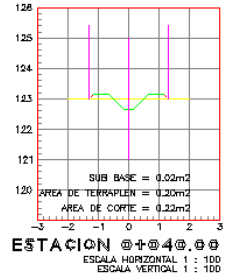
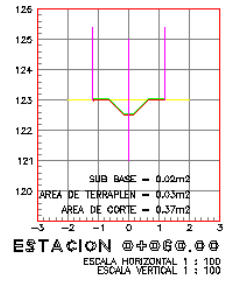


**PERFIL CANAL1**  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000  
 ESCALA VERTICAL 1 : 1000  
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 27.07m<sup>3</sup>  
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -3.18m<sup>3</sup>

**Figura A.8.6. Perfil del primer canal.**

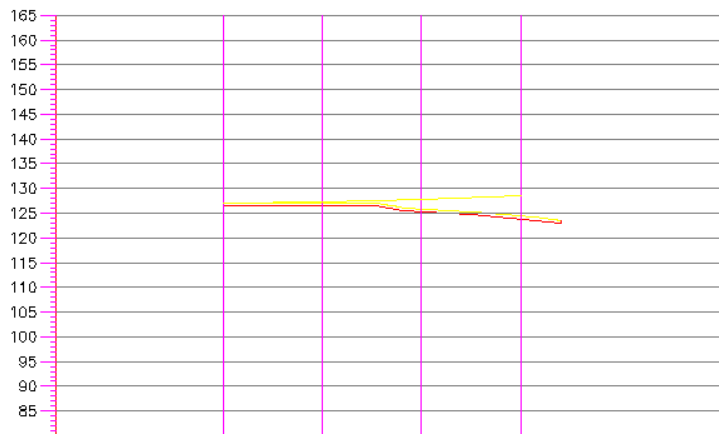


TIPO DE MATERIAL						
FACTOR DE ABUNDAMIENTO						
FACTOR DE COMPACTACION						
ORDENADAS DE LA CURVA MASA		10,000	10,010	10,017	10,020	
VOLUMEN	TERRAPLEN	0.00	0.03	2.04	2.35	
	CORTE	0.00	10.26	8.50	5.91	
ESPESOR	TERRAPLEN					
	CORTE	0.50	0.62	0.35	0.47	
ELEVACION	SUBRASANTE	128.50	125.50	122.65	122.53	
	TERRENO	129.00	126.12	123.00	123.00	
		0+000,00	0+020,00	0+040,00	0+060,00	

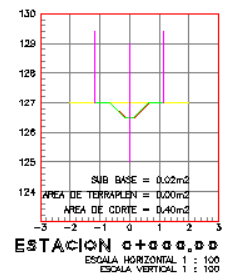
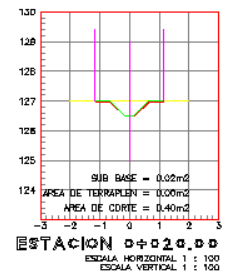
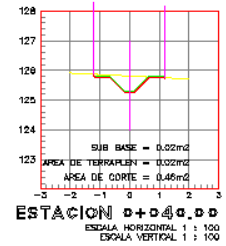
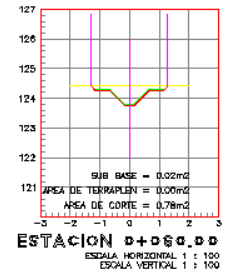


**PERFIL CANAL 2**  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000  
 ESCALA VERTICAL 1 : 1000  
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 24.67m<sup>3</sup>  
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -4.41m<sup>3</sup>

**Figura A.8.7. Perfil del canal 2.**

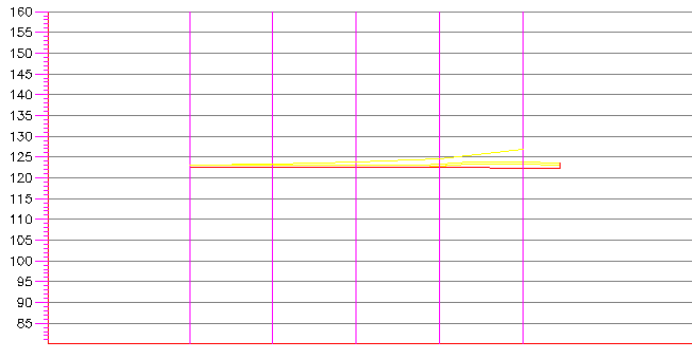


TIPO DE MATERIAL					
FACTOR DE ABUNDAMIENTO					
FACTOR DE COMPACTACION					
ORDENADAS DE LA CURVA MASA		10,000	10,008	10,016	10,029
VOLUMEN	TERRAPLEN	0.00	0.05	0.18	0.15
	CORTE	0.00	8.00	8.59	12.36
ESPESOR	TERRAPLEN				
	CORTE	0.50	0.50	0.52	0.66
ELEVACION	SUBRASANTE	126.50	126.50	125.29	123.79
	TERRENO	127.00	127.00	125.81	124.45
		0+000.00	0+020.00	0+040.00	0+060.00



**PERFIL CANAL 3**  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000  
 ESCALA VERTICAL 1 : 1000  
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 28.95m<sup>3</sup>  
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -0.38m<sup>3</sup>

Figura A.8.8. Perfil canal 3.



TIPO DE MATERIAL						
FACTOR DE ABUNDAMIENTO						
FACTOR DE COMPACTACION						
ORDENADAS DE LA CURVA MASA		10,000	10,008	10,016	10,033	10,077
VOLUMEN	TERRAPLEN	0,00	0,05	0,05	0,03	0,00
	CORTE	0,00	8,00	8,00	16,80	44,71
ESPESOR	TERRAPLEN					
	CORTE	0,50	0,50	0,50	0,83	1,38
ELEVACION	SUBRASANTE	122,50	122,50	122,50	122,47	122,37
	TERRENO	123,00	123,00	123,00	123,31	123,74
		0+000,00	0+020,00	0+040,00	0+060,00	0+080,00

**PERFIL CANAL 4**  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000  
 ESCALA VERTICAL 1 : 1000  
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 77.51m<sup>3</sup>  
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -0.13m<sup>3</sup>

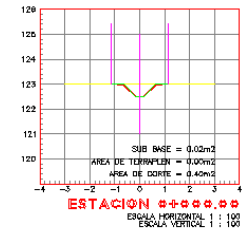
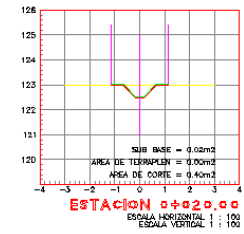
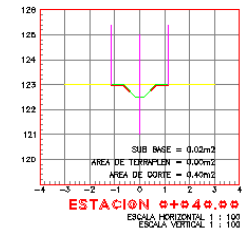
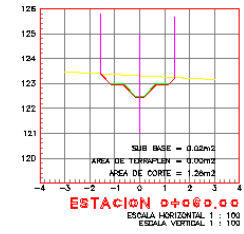
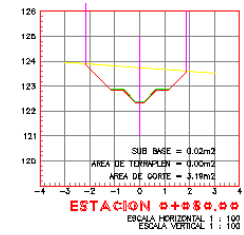


Figura A.8.9. Perfil canal 4.

## ANEXOS

### ANEXO 1. DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LAS ESTACIONES CERCANAS AL BOTADERO

A continuación, se muestran los registros históricos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional.

#### DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN DE PAQUERA PARA EL PERIODO 2013 A 2018

**Cuadro B.1.1 Datos de cantidad de lluvia mensual (mm).**

Año	Ener	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	2.4	0	1.1	66.1	225.7	188.8	133.3	362.1	229.8	156.8	107.8	1.9
2014	14.9	0.3	0	27.9	280.5	152.4	18.2	433.1	286.3	651.6	185.9	3.9
2015	13.7	8.8	0	3.1	121.8	224.6	173.2	51.8	126.1	396.2	151.8	8.1
2016	7.5	0.2	0	49.8	280.5	225	112.1	-	74.9	362.8	80	115.7
2017	0	-	0	76	328	291.6	289.2	195.6	527.8	735	29.8	2.8
2018	17.2	0.0	0.8	90.2	309.0	253.4	67.2	85.6	341.0	1197.2	51.4	23.4

**Cuadro B.1.2 Datos mensuales de los días de lluvia ( $\geq 0,1$  mm).**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	3	0	1	6	18	19	19	23	25	23	20	4
2014	2	1	0	4	23	23	14	22	27	29	16	5
2015	2	2	0	4	7	14	15	10	19	28	18	5
2016	4	1	0	4	17	25	20		13	22	19	7
2017	0	-	0	7	29	23	24	23	26	20	11	6
2018	3	0	1	11	21	22	23	21	26	24	13	4

**Cuadro B.1.3. Datos mensuales de temperatura promedio (°C)**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	26.2	26.5	28.0	28.0	27.0	26.7	26.3	26.3	26.2	26.2	26.1	25.7
2014	26.1	26.4	27.3	28.2	27.4	27.1	27.4	26.5	26.4	26.0	26.2	26.1
2015	26.4	26.6	27.5	28.1	27.9	27.9	27.4	27.5	27.1	26.8	26.8	27.4
2016	27.2	28.2	28.8	28.7	27.7	26.6	26.5	26.9	26.8	26.0	25.7	25.7
2017	25.9	26.6	27.8	28.1	26.8	26.7	26.7	26.7	26.4	26.2	26.0	25.9
2018	26.3	26.5	27.5	27.3	26.8	26.6	26.6	26.6	26.6	23.6	25.4	25.2

**Cuadro B.1.4 Datos de humedad relativa mensual (%)**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	76	70	65	73	79	87	86	87	88	87	86	83
2014	76	73	72	72	83	85	83	85	83	85	83	77
2015	71	71	65	70	75	79	79	80	82	84	83	79
2016	72	61	67	70	81	84	84	85	82	87	86	84
2017	75	71	66	73	86	91	90	89	91	92	89	83
2018	78	73	70	81	87	89	89	89	89	91	88	82

**Cuadro B.1.5 Datos de velocidad del viento mensual (m/s)**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
2014	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2015	1.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
2016	0.9	1.2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	0.9	0.5	0.5	0.5
2017	0.6	0.7	0.8	0.7	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
2018	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7

**Cuadro B.1.6 Datos de dirección del viento mensual.**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
2013	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2014	3	3	3	4	5	4	4	5	5	4	4	3
2015	3	3	3	3	4	4	3	5	5	5	5	3
2016	3	3	3	4	5	5	5	5	5	4	4	4
2017	3	3	3	3	5	5	4	5	4	4	4	4
2018	4	3	3	5	5	5	4	4	5	5	4	5

Nota: este (3), sureste (4), sur (5).

## DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN CABUYA PARA EL PERÍODO 2015 A 2018.

**Cuadro B.2.1 Datos de cantidad de lluvia mensual (mm)**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2015	-	-	-	-	-	200	179,8	207,6	447	407,6	481,2	44,4
2016	2,2	1	1,4	55,4	336,4	385,4	269,8	508,6	244,4	557	127,8	47,4
2017	0,4	0,2	0,4	69,2	568,2	615,4	327,8	409,8	711,2	811,6	129	103,8
2018	83,0	0,6	1,0	126,0	310,2	513,6	272,2	320,6	361,0	1249,8	97,8	2,6

**Cuadro B.2.2 Datos mensuales de los días de lluvia.**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2015	-	-	-	-	-	20	19	20	23	27	23	10
2016	3	3	2	4	26	30	30	31	25	24	23	14
2017	2	1	2	4	25	25	24	25	29	24	17	10
2018	8	3	2	12	25	24	23	21	27	25	15	9

**Cuadro B.2.3 Datos mensuales de temperatura promedio (°C).**

<b>Año</b>	<b>Ener</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2015	-	-	-	-	-	27.6	27.1	27.3	26.9	26.6	26.4	27.0
2016	26.9	27.8	27.9	28.1	27.2	26.2	26.1	26.3	25.9	25.5	25.2	25.1
2017	25.2	25.7	26.8	27.5	26.2	25.9	25.8	25.9	25.6	25.3	25.3	25.0
2018	25.3	25.5	26.1	26.6	26.1	25.9	25.9	26.1	25.9	25.0	26.1	25.2

**Cuadro B.2.4. Datos mensuales de humedad relativa (%)**

<b>Año</b>	<b>Ener</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2015	-	-	-	-	-	84	84	84	86	87	87	84
2016	76	65	73	73	84	87	88	87	88	90	89	88
2017	80	77	71	76	87	89	89	87	89	90	88	84
2018	80	76	74	81	87	89	88	88	88	90	88	83

**Cuadro B.2.3 Datos mensuales de velocidad del viento (m/s)**

<b>Año</b>	<b>Ener</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2015</b>	-	-	-	-	-	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-
<b>2016</b>	-	1.1	1	1.1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7
<b>2017</b>	0.9	1	1.1	1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
<b>2018</b>	0.8	0.9	0.9	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7

**Cuadro B.2.4 Datos mensuales de dirección del viento predominante**

<b>Año</b>	<b>Ener</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Sept</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2015	-	-	-	-	-	4	4	4	4	7	4	-
2016	-	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2017	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2018	4	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Nota: norte (1), sureste (4), oeste (7).



ANEXO 2. TABLA DE THORNTHWAITE

SOIL MOISTURE RETENTION TABLE - 400 mm

SOIL MOISTURE RETAINED AFTER DIFFERENT AMOUNTS OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION  
HAVE OCCURRED. WATER HOLDING CAPACITY OF SOIL IS 400 mm.

PE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	WATER RETAINED IN SOIL									
0	400	388	376	367	356	345	334	323	312	301
10	390	369	358	347	335	325	314	303	292	281
20	380	379	378	377	375	373	371	369	367	365
30	371	370	369	368	367	366	365	364	363	362
40	362	361	360	359	358	357	356	355	354	353
50	353	352	351	350	349	348	347	346	345	344
60	344	344	343	342	341	340	339	338	337	336
70	335	335	334	333	332	331	330	329	328	327
80	327	326	325	324	323	322	321	320	319	318
90	319	318	317	316	315	314	313	312	311	310
100	311	310	309	308	307	306	305	304	303	302
110	303	300	302	301	300	300	299	299	297	296
120	296	295	294	293	292	291	290	289	288	287
130	288	288	287	286	285	284	283	282	281	280
140	281	281	280	279	278	277	276	275	274	273
150	274	274	273	272	271	270	269	268	267	266
160	267	267	266	265	264	263	262	261	260	259
170	261	260	260	259	258	257	256	255	254	253
180	254	254	253	252	251	250	249	248	247	246
190	248	248	247	246	245	244	243	242	241	240
200	242	242	241	240	239	238	237	236	235	234
210	236	236	235	234	233	232	231	230	229	228
220	230	230	229	228	227	226	225	224	223	222
230	224	224	223	222	221	220	219	218	217	216
240	219	218	217	216	215	214	213	212	211	210
250	213	212	211	210	209	208	207	206	205	204
260	208	208	207	206	205	204	203	202	201	200
270	203	202	201	200	199	198	197	196	195	194
280	198	197	196	195	194	193	192	191	190	189
290	193	192	191	190	189	188	187	186	185	184
300	188	187	186	185	184	183	182	181	180	179
310	183	182	181	180	179	178	177	176	175	174
320	178	177	176	175	174	173	172	171	170	169
330	174	173	172	171	170	169	168	167	166	165
340	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161

Figura B.2.1 Tabla de Thornthwaite para una capacidad de retención de humedad de 400 mm. Fuente: Thornthwaite & Mather, 1957.

### ANEXO 3. TIPOS DE SUELO DE COSTA RICA

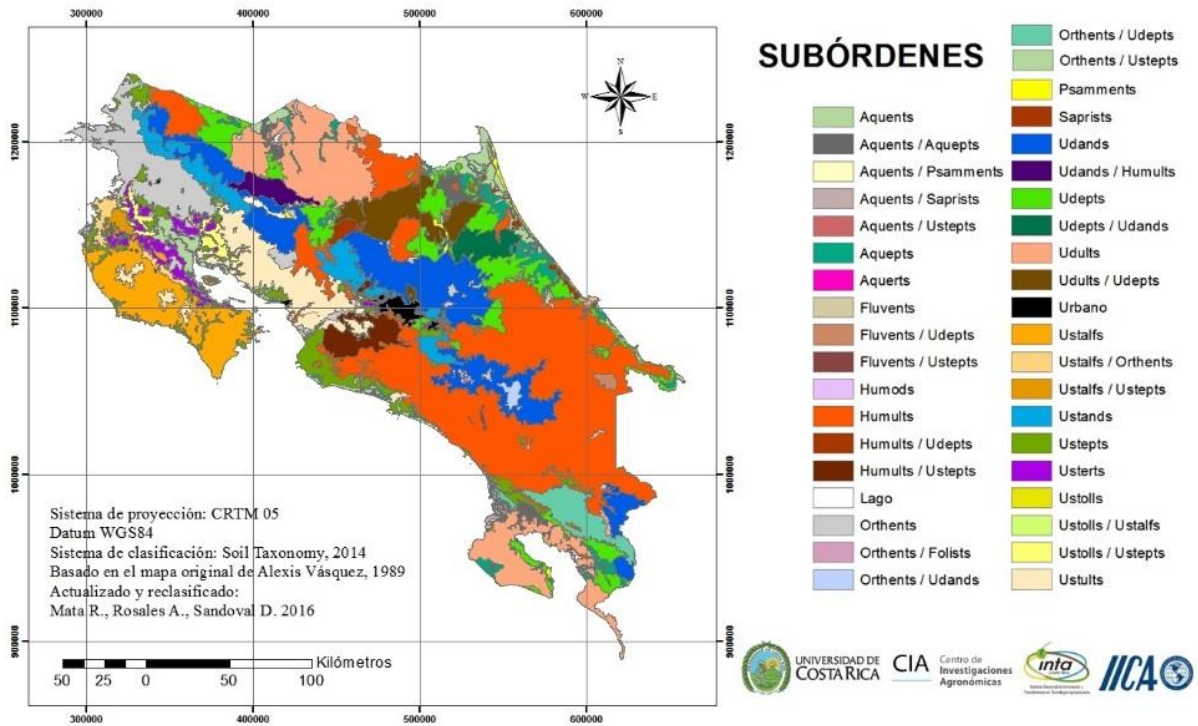


Figura B.3.1 Mapa de subórdenes de suelo de Costa Rica. Fuente: Centro de Investigaciones Agronómicas, 2010.

# ANEXO 4. ACTAS DE INSPECCIÓN



CONCEJO MUNICIPAL DE DISTRITO CÓBANO  
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL  
TEL: (506) 2642-0510/0238 FAX: (506) 2642-0613  
Correo: municobano.gestorambiental@gmail.com

## ACTA DE INSPECCIÓN #1

Lugar: Vertedero Municipal de Cobano  
Fecha: 01-05-19  
Hora: 9:00 am

ASUNTO: Toma de muestras de agua del Río Bizcoyol para análisis de calidad

### DESCRIPCIÓN:

- Se seleccionaron 3 puntos: 1. A Arriba; 2. A Medios; 3. A Abajo.
- Punto #1: 30 m hacia aguas arriba (9:15 am)
- Punto #2: A mitad del costado colindante con el vertedero. (9:29 am)
- Punto #3: Aguas abajo, en el límite de la propiedad. (9:38 am)
- Las muestras se tomaron con botella sumergida en sitios sin estancamiento de aguas.
- El agua estaba relativamente clara. Durante la noche del pasado martes 30/04/19 lluvió intensamente por un tiempo de 3 horas.
- Las muestras se colocaron en una hielera completamente cubierta con hielo y se dejó en la oficina de encomiendas para su envío.
- El muestreo se realizó en compañía de la Ing. María Fernanda Arrieta Robles del Ministerio de Salud.

Testigo 1: María Fernanda Arrieta  
Testigo 2: \_\_\_\_\_

Cédula: 11330247  
Cédula: \_\_\_\_\_

Ing. Alberto Vásquez Granados  
Gestor Ambiental  
Concejo Municipal de Distrito de Cobano



CONCEJO MUNICIPAL DE DISTRITO CÓBANO  
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL  
TEL: (506) 2642-0510/0238 FAX: (506) 2642-0613  
Correo: municobano.gestorambiental@gmail.com

## ACTA DE INSPECCIÓN #2

Lugar: Vertedero Municipal de Cobano  
Fecha: 04-05-19  
Hora: 1:30 pm

ASUNTO: Toma de muestras de agua del Río Bizcoyol para análisis de calidad

### DESCRIPCIÓN:

- Se seleccionaron 3 puntos: 1. A Arriba; 2. A Medios; 3. A Abajo.
- Punto #1: 30 m aguas arriba (1:52 pm)
- Punto #2: A mitad de costado colindante con el vertedero (1:54 pm)
- Punto #3: 30 m aguas abajo de l límite de propiedad (1:57 pm)
- Las muestras se tomaron con botella sumergida en sitios sin estancamiento de aguas.
- El agua estaba relativamente clara, considerando que durante la noche del pasado martes 07/05/19 lluvió fuertemente y el día de hoy, estaba lloviendo aguas arriba durante la toma de la muestra.
- Las muestras se colocaron en una hielera completamente cubierta de hielo para ser enviada a San José mediante encomienda.
- El muestreo se realizó en compañía del Sr. David Rodríguez, inspector municipal.

Testigo 1: David Rodríguez  
Testigo 2: \_\_\_\_\_

Cédula: 112740322  
Cédula: \_\_\_\_\_

Ing. Alberto Vásquez Granados  
Gestor Ambiental  
Concejo Municipal de Distrito de Cobano



CONCEJO MUNICIPAL DE DISTRITO CÓBANO  
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL  
TEL: (506) 2642-0510/0238 FAX: (506) 2642-0613  
Correo: municobano.gestorambiental@gmail.com

## ACTA DE INSPECCIÓN #3

Lugar: Vertedero Municipal de Cobano  
Fecha: 30-05-19  
Hora: 11:45 am

ASUNTO: Toma de muestras de agua de Río Bizcoyol para análisis de calidad

### DESCRIPCIÓN:

- Se seleccionaron 3 puntos de muestreo: 1. A Arriba; 2. A Medios; 3. A Abajo
- Punto #1: 30 m aguas arriba del límite de la propiedad. (11:07 pm)
- Punto #2: A mitad del costado colindante con el vertedero. (11:50 pm)
- Punto #3: 30 m aguas abajo del límite de la propiedad. (11:50 pm)
- Las muestras se tomaron con botella sumergida en sitios sin estancamiento de aguas.
- El agua estaba turbia, considerando que había llovido con de manera continua los 3 días anteriores y que durante el muestreo se presentó en el sitio un fuerte aguacero.
- Las muestras se colocaron en una hielera completamente cubierta con hielo para ser enviada hasta San José por mi persona.
- El muestreo se realizó en compañía del sr. Fabián Salazar, funcionario municipal del Dpto. de Sanidad.

Testigo 1: Fabián Salazar Varela  
Testigo 2: \_\_\_\_\_

Cédula: 1-1011504  
Cédula: \_\_\_\_\_

Ing. Alberto Vásquez Granados  
Gestor Ambiental  
Concejo Municipal de Distrito de Cobano



CONCEJO MUNICIPAL DE DISTRITO CÓBANO  
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL  
TEL: (506) 2642-0510/0238 FAX: (506) 2642-0613  
Correo: municobano.gestorambiental@gmail.com

## ACTA DE INSPECCIÓN #4

Lugar: Vertedero Municipal de Cobano  
Fecha: 08-06-19  
Hora: 1:30 pm

ASUNTO: Toma de muestras de agua del Río Bizcoyol para análisis de calidad

### DESCRIPCIÓN:

- Se seleccionaron 3 puntos: 1. A Arriba; 2. A Medios; 3. A Abajo
- Punto #1: 30 m aguas arriba del límite de propiedad (2:16 pm)
- Punto #2: A mitad del costado colindante con el vertedero (2:07 pm)
- Punto #3: 30 m aguas abajo del límite de propiedad (1:57 pm)
- Las muestras se tomaron con botella sumergida en sitios sin estancamiento de aguas.
- El agua estaba clara. No se presentaron lluvias fuertes en el sitio en las anteriores 48 horas.
- Las botellas de ST-3 y ST-2 tenían dañadas sus tapas, por lo que se improvisó en cierre usando bolsa de hielo para evitar derrame de líquido.
- Las muestras se colocaron en una hielera (verticalmente) completamente cubierta con hielo y se llevó a la oficina de encomiendas para su envío.
- El muestreo se realizó en compañía del sr. Vicentecando Roberto Varela Ledezma.

Testigo 1: Roberto Varela  
Testigo 2: \_\_\_\_\_

Cédula: 6245130  
Cédula: \_\_\_\_\_

Ing. Alberto Vásquez Granados  
Gestor Ambiental  
Concejo Municipal de Distrito de Cobano

Figura B.4.1. Actas de inspección de los muestreos en el río Bizcoyol. Datos tomados por: Ingeniero Alberto Vásquez.

ANEXO 5. MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL  
VERTEDERO



Compactador de Residuos Sólidos



Excavadora hidráulica



Cargador de cadenas



Camión Articulado



Dozer (tractor de cadenas)



Cargador de ruedas

Figura B.5.1. Maquinaria requerida en el vertedero (Fuente: Caterpillar Inc.).

## ANEXO 6. INFORMES DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.



Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Fundación Tecnológica de Costa Rica  
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos  
CEQIATEC  
Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 2/5/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 3/5/2019
Tipo de Muestra: aguas residuales	Fecha Inicio análisis: 3/5/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano, Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: 14/05/19
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: Aguas arriba	Código Muestra: 080519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual.	
Muestreado por: Solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(24 ± 2)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(232 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	(0,008 ± 0,001)	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 2/5/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 3/5/2019
Tipo de Muestra: aguas residuales	Fecha Inicio análisis: 3/5/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano, Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: : 14/05/19
Descripción de la Muestra: Consecutivo 02: Colindancia vertedero río	Código Muestra: 080519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual.	
Muestreado por: Solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(21 ± 2)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(214 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	(0,025 ± 0,001)	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	(0,008 ± 0,003)	3113 - B

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 2/5/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 3/5/2019
Tipo de Muestra: aguas residuales	Fecha Inicio análisis: 3/5/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano, Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: : 14/05/19
Descripción de la Muestra: Consecutivo 03: Aguas abajo	Código Muestra: 080519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual.	
Muestreado por: Solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(22 ± 2)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(221 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

### Observaciones

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

(\*\*) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.



DIANA  
ROBLES  
CHAVES  
(FIRMA)

Firmado digitalmente por  
DIANA ROBLES  
CHAVES (FIRMA)  
Fecha: 2019.05.14  
13:25:34 -06'00'

Lic. Diana Robles Chaves  
Regente Química

Figura B.5.1. Informe de resultados de análisis de primer muestreo.

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Fundación Tecnológica de Costa Rica  
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos  
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 09/05/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 10/05/2019
Tipo de Muestra: agua residual	Fecha Inicio análisis: 10/05/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cobano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: 28/05/2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: aguas arriba	Código Muestra: 680519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:35 p.m.	
Muestreado por: solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(246 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 09/05/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 10/05/2019
Tipo de Muestra: agua residual	Fecha Inicio análisis: 10/05/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cobano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: 28/05/2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 02: Colindancia vertedero río	Código Muestra: 680519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:45 p.m.	
Muestreado por: solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(246 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Interesado: Sofía Cruz Godínez	Fecha Muestreo: 09/05/2019
Solicitado por: Sofía Cruz Godínez	Fecha Recepción: 10/05/2019
Tipo de Muestra: agua residual	Fecha Inicio análisis: 10/05/2019
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cobano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	Fecha Reporte: 28/05/2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 03: aguas abajo	Código Muestra: 680519
Tipo de actividad: no indica	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:55 p.m.	
Muestreado por: el solicitante.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(16 ± 1)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(274 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Observaciones

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)  
 (\*\*) Ensayos no acreditados.  
 NA: No aplica  
 ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.  
 Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.  
 Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.  
 Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el interesado.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desearán.



DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA)  
 Firmado digitalmente por DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA)  
 Fecha: 2019.05.28 11:21:59 -06'00'  
 Lic. Diana Robles Chaves  
 Regente Química

Figura B.6.2. Informe de resultados de análisis de segundo muestreo.

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 2200519	Fecha de reporte: 21/08/2019
----------------------------	------------------------------

Información general	
Interesado: Sofia Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofia Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 31/05/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 01: aguas arriba	Fecha inicio análisis: 01/08/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:10 p.m.	Fecha muestreo: 30/05/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(263 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	(0,011 ± 0,002)	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	(0,006 ± 0,004)	3113 - B

Código de muestra: 2200519	Fecha de reporte: 21/08/2019
----------------------------	------------------------------

Información general	
Interesado: Sofia Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofia Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 31/05/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 02: Colindancia vertedero río	Fecha inicio análisis: 01/08/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:25 p.m.	Fecha muestreo: 30/05/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(288 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Código de muestra: 2200519	Fecha de reporte: 21/08/2019
----------------------------	------------------------------

Información general	
Interesado: Sofia Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofia Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 31/05/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 03: aguas abajo	Fecha inicio análisis: 01/08/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:35 p.m.	Fecha muestreo: 30/05/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(12 ± 1)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(261 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	(0,008 ± 0,002)	3113 - B
Piomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Observaciones:

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eoa.or.cr](http://www.eoa.or.cr)

(\*\*) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el interesado.

**Metodología:** Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-OU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este período se desecharán.

DIANA  
ROBLES  
CHAVES  
(FIRMA)

Firmado digitalmente por DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA)  
Lic. Diana Robles Chaves  
Regente Química



Figura B.6.3. Informe de resultados de análisis de tercer muestreo.

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 450619	Fecha de reporte: 21/06/2019
Información general	
Interesado: Sofía Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofía Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 07/08/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 01: aguas arriba	Fecha inicio análisis: 08/06/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:10 p.m.	Fecha muestreo: 06/06/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(191 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Código de muestra: 450619	Fecha de reporte: 21/06/2019
Información general	
Interesado: Sofía Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofía Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 07/06/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 02: Colindancia vertedero río	Fecha inicio análisis: 08/06/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:25 p.m.	Fecha muestreo: 06/06/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	< 10	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(192 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	( 0,009 ± 0,002)	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Código de muestra: 450619	Fecha de reporte: 21/06/2019
Información general	
Interesado: Sofía Cruz Godínez	Teléfono: 8888-0977
Solicitante: Sofía Cruz Godínez	Email: sphcz5@gmail.com
Tipo de actividad: no indica	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 07/08/2019
Descripción de la muestra: Consecutivo 03: aguas abajo	Fecha inicio análisis: 08/06/2019
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 2:35 p.m.	Fecha muestreo: 06/06/2019
Muestreado por: solicitante	
Dirección: provincia: Puntarenas, cantón: Puntarenas, distrito: Cóbano. Otras Señas: Barrio la Tranquilidad (Botadero Municipal).	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(10 ± 1)	5220 - D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	< 3	5210 - B
Sólidos Totales (mg/L) **	(181 ± 3)	2540 - B
Cromo (mg/L) (**)	( 0,010 ± 0,002)	3113 - B
Plomo (mg/L) (**)	< 0,01	3113 - B
Mercurio (mg/L) (**)	< 0,001	3114 - C
Níquel (mg/L) (**)	< 0,005	3113 - B

Observaciones

(\*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)  
 (\*\*\*) Ensayos no acreditados.  
 NA: No aplica  
 ND: No detectable

La Incertidumbre que se reporta es una Incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.  
 Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.  
 Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.  
 Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el interesado.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este Informe. Concluido este período se desearán.

Firmado digitalmente por DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA)  
 Lic. Diana Robles Chaves  
 Regenta Química



Figura B.6.4. Informe de resultados de análisis de cuarto muestreo.



