



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS  
GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE DAULE”**

### **PROYECTO DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

**KHAROL MICHELLE IDROVO MUÑOZ**

**DARWIN GEOVANNY PAGALO TAYUPANDA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2017**

## DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado para quienes supieron crear en mí, el espíritu de superación y sacrificio, que desde pequeña me inculcaron cuales son los valores, los mismos que a mi temprana edad comenzaron a ser esa base sólida sobre la cual se asienta toda mi vida. No podría plasmar este trabajo sin antes agradecer a mi familia, amigos, docentes y sobre todo a mis padres por ese amor, apoyo incondicional y por incentivar me a seguir adelante.

Kharol Michelle Idrovo Muñoz

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres que han estado apoyándome día a día, aconsejando a lo largo de este tiempo para ser mejor persona y culminar mis estudios.

Darwin Geovanny Pagalo Tayupanda

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero queremos agradecer a Dios por permitirnos llegar hasta aquí, a nuestros padres que siempre han estado con nosotros y han invertido de su tiempo para poder realizar este proyecto, a nuestros amigos que nos han apoyado y nos han ayudado a ser mejor cada día. Y a todos los profesores que contribuyeron en nuestra formación académica.

Kharol Michelle Idrovo Muñoz

Darwin Geovanny Pagalo Tayupanda

## **TRIBUNAL DE PROYECTO**

---

PhD. Hugo Eguez Alava  
DECANO DE LA FACULTAD

---

PhD. Miguel Ángel Chávez Moncayo  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

MSc. Luis Enrique de Grau Vidal  
COORDINADOR DE INGENIERIA CIVIL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

**Kharol Michelle Idrovo Muñoz**

---

**Darwin Geovanny Pagalo Tayupanda**

## RESUMEN

En la actualidad Daule cuenta con su relleno sanitario conformado por 4 trincheras de las cuales una está en operación, otra en etapa inicial de construcción y los 2 restantes en etapas de diseño. El relleno está ubicado cerca del recinto Yolán en la vía Los Lojas; la cual es lugar de siembra y cultivo de arroz donde dicha zona se ve afectada por la descarga de los contaminantes, lixiviados, del relleno sanitario después de pasar por un filtro de arena que al parecer no es suficiente para disminuir el grado de contaminación hacia un canal próximo a los cultivos.

A razón de esta problemática se propone una alternativa para tratar los lixiviados del relleno sanitario a fin de parar con la contaminación de los arrozales.

La alternativa consta de un sistema de tuberías con el fin de recoger a la vez de enviar los lixiviados desde cada trinchera hacia sus piscinas donde se almacenará para luego ser llevada de regreso al relleno a través de una bomba esparciéndolo a través de aspersores para ser evaporado en el ambiente donde el remanente volverá a introducirse en las trincheras para repetirse el ciclo.

**Palabras claves:** relleno sanitario, siembra, cultivo de arroz, lixiviados, filtro de arena, sistema de tuberías, bomba, aspersores.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
TRIBUNAL DE PROYECTO .....	V
DECLARACIÓN EXPRESA .....	VI
RESUMEN.....	VII
INDICE GENERAL .....	VIII
ABREVIATURAS.....	XIV
SIMBOLOGIA.....	XV
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INDICE DE TABLAS.....	XVII
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>21</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>21</b>
1.1    Introducción.....	22
1.2    Datos Generales.....	24
1.2.1    Descripción cantón Daule.....	24

1.2.2	Descripción de la obra existente.....	26
1.3	Justificación .....	29
1.4	Objetivos.....	31
1.4.1	Objetivo General .....	31
1.4.2	Objetivos específicos .....	31
1.5	Metodología general .....	32
<b>CAPITULO 2</b>	.....	<b>34</b>
<b>ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE</b>	.....	<b>34</b>
2.1	Información general .....	35
2.1.1	Topografía.....	35
2.1.2	Geología y litología.....	36
2.1.3	Aspectos climáticos.....	43
2.1.4	Hidrografía y Orografía.....	45
2.1.5	Demografía .....	45
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>47</b>
<b>Propuestas de Alternativas</b>	.....	<b>47</b>
3.1	Alternativa 1: Reciclaje de Lixiviados .....	48
3.1.1	Ventajas .....	49
3.1.2	Desventajas .....	50

3.1.3	Funcionamiento.....	50
3.1.4	Consideraciones .....	52
3.1.5	Observaciones en cuestiones operacionales .....	52
3.1.6	Observaciones en cuestiones ambientales .....	53
3.2	Alternativa 2: Lagunas de estabilización .....	53
3.2.1	Ventajas y desventajas .....	54
3.2.2	Desventajas .....	55
3.2.3	Clasificación.....	56
3.2.4	Comparación de características de diseño y desempeño de los sistemas de tratamiento con lagunas .....	60
3.3	Alternativa 3: Tratamiento con Zeolita.....	62
3.3.1	Deposito.....	62
3.3.2	Aplicaciones.....	63
	Desventajas.....	64
3.4	Selección de alternativa.....	64
<b>CAPITULO 4</b>	.....	<b>65</b>
	<b>Estudios preliminares</b> .....	<b>65</b>
4.1	Aspectos hidrogeológicos .....	66
4.2	Suelos .....	66

4.3	Vida útil de la celda emergente.....	69
4.4	Taludes conformación de la celda .....	71
4.5	Material de cobertura.....	71
4.6	Infraestructura de la celda emergente.....	71
4.7	Volumetría de la celda emergente .....	72
4.8	Preparación del sitio .....	73
4.9	Impermeabilización de fondo .....	74
4.10	Manejo de escorrentía superficial .....	77
4.11	Zonas de Riegos.....	86
4.12	Ocupación actual del área de implantación.....	86
4.13	Pendiente y tipo de suelo.....	86
<b>CAPITULO 5 .....</b>		<b>88</b>
<b>Desarrollo de la alternativa seleccionada.....</b>		<b>88</b>
5.1	Recolección de muestra de lixiviado .....	89
5.2	Cantidad de gas.....	91
5.3	Contenido de humedad.....	93
5.4	Producción de lixiviado en el vertedero de Daule.....	124
5.5	Drenaje de lixiviados.....	127
5.6	Forma de Irrigación.....	130

5.7	Cálculo potencia de la bomba.....	138
5.8	Diseño de piscinas de almacenamiento.....	142
5.9	Resumen de las piscinas.....	149
5.10	Tuberías de recolección.....	150
5.11	Tubería de aspiración / succión.....	152
5.12	Tuberías de impulsión.....	156
5.13	Ramales de riego.....	159
5.14	Pérdidas de carga.....	161
5.15	Tuberías de drenaje de lixiviado.....	162
5.16	Tuberías de impulsión.....	163
5.17	Ramales de Riego.....	164
5.18	Velocidades en tuberías.....	165
5.18.1	Tuberías de drenaje de lixiviado.....	166
5.18.2	Tuberías de impulsión.....	167
5.18.3	Ramales de riego.....	168
<b>CAPITULO 6</b>	.....	<b>170</b>
<b>Estudio de Impacto Ambiental</b>	.....	<b>170</b>
6.1	Antecedentes.....	171
6.2	Valoración de impacto ambiental.....	173

6.3	Principales impactos ambientales .....	178
6.4	Plan de Manejo Ambiental .....	181
<b>CAPITULO 7</b>	.....	<b>211</b>
<b>Presupuesto del proyecto</b>	.....	<b>211</b>
<b>CAPITULO 8</b>	.....	<b>220</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	.....	<b>220</b>
Conclusiones.....	.....	221
Recomendaciones.....	.....	223

**BIBLIOGRAFIA****ANEXOS**

## ABREVIATURAS

INHAMI	Conductividad Eléctrica
INEC	Instituto nacional de estadísticas y censos
TULAS	Texto Unificado de legislación ambiental
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de Hidrogeno
CLIRSEN	Instituto espacial ecuatoriano
RSU	Residuos sólidos urbanos
RRB	Residuos rápidamente biodegradables
RLB	Residuos lentamente biodegradables
SS	Sólidos suspendidos
ST	Sólidos totales

## SIMBOLOGIA

Ha	Hectáreas
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
Km.	Kilómetros
Lt/s	Litros sobre segundo
A	Área
Q	Caudal

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> División parroquial del cantón Daule. ....	25
<b>Figura 2.1.</b> Mapa de temperatura media anual.....	44
<b>Figura 2.2.</b> Precipitación anual acumulada.....	45
<b>Figura 3.1.</b> Esquema del sistema de recirculación de lixiviados. ....	51
<b>Figura 4.1.</b> Detalle de implementación de la celda emergente. ....	73
<b>Figura 4.2.</b> Especificaciones del geotextil no tejido (NT200). ....	76
<b>Figura 4.3.</b> Topografía del sitio del relleno sanitario. ....	78
<b>Figura 4.4.</b> Balance hídrico estación Milagro.....	79
<b>Figura 5.1.</b> Producción de gas de los RRB.....	109
<b>Figura 5.2.</b> Producción de gas de los RLB. ....	112
<b>Figura 5.3.</b> Gas producido en litro/kg de desechos. ....	123
<b>Figura 5.4.</b> Gas producido m3.....	123
<b>Figura 5.5.</b> Aspensor de impacto Senninger Serie 70. ....	132
<b>Figura 5.6.</b> Electrobomba centrífuga sanitaria ECO-MAT 2/55.....	140
<b>Figura 5.7.</b> Elementos hidráulicos de la sección circular. ....	166

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Descripción de vehículos .....	26
<b>Tabla II.</b> Urbanizaciones de la parroquia .....	27
<b>Tabla III.</b> Datos referenciales de la carta Daule .....	35
<b>Tabla IV.</b> Formación geológica en el cantón Daule.....	37
<b>Tabla V.</b> Datos de población del cantón Daule .....	46
<b>Tabla VI.</b> Datos referenciales de los tipos de vivienda del cantón Daule. ....	46
<b>Tabla VII.</b> Características y desempeño de los diferentes tipos de lagunas.	60
<b>Tabla VIII.</b> Perfil estratigráfico del suelo. ....	67
<b>Tabla IX.</b> Dimensionamiento Celda Emergente para Residuos Sólidos desde 2015-2016. ....	70
<b>Tabla X.</b> Volumetría general de la Celda Emergente .....	72
<b>Tabla XI.</b> Datos Estación Meteorológica de Milagro – Provincia del Guayas	79
<b>Tabla XII.</b> Datos promedio de precipitación, temperatura y evaporación. ....	80
<b>Tabla XIII.</b> Balance Hídrico según la estación de milagro. ....	81
<b>Tabla XIV.</b> Resultados de los ensayos de la muestra de lixiviado .....	90
<b>Tabla XV.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	90
<b>Tabla XVI.</b> Datos típicos sobre la composición de los lixiviados. ....	91
<b>Tabla XVII.</b> Peso inicial de los residuos domésticos. ....	91
<b>Tabla XVIII.</b> Datos típicos sobre contenidos de humedad para .....	92

<b>Tabla XIX.</b> Peso seco de los residuos domésticos. ....	93
<b>Tabla XX.</b> Datos típicos de los componentes combustibles en los RSU domésticos. ....	95
<b>Tabla XXI.</b> Distribución porcentual de los elementos más importantes.....	96
<b>Tabla XXII.</b> Distribución porcentual de los elementos más importantes.....	97
<b>Tabla XXIII.</b> Distribución porcentual de los elementos más importantes.....	97
<b>Tabla XXIV.</b> Composición molar del contenido de humedad mínima.....	98
<b>Tabla XXV.</b> Composición molar del contenido de humedad máxima. ....	98
<b>Tabla XXVI.</b> Composición molar del contenido de humedad media.....	98
<b>Tabla XXVII.</b> Relaciones normalizadas mol del .....	99
<b>Tabla XXVIII.</b> Relaciones normalizadas mol del .....	99
<b>Tabla XXIX.</b> Relaciones normalizadas mol del .....	100
<b>Tabla XXX.</b> Cantidades anuales de producción de gas. ....	111
<b>Tabla XXXI.</b> Cantidades anuales de .....	114
<b>Tabla XXXII.</b> Cantidad de gas producido por kg de residuos totales. ....	115
<b>Tabla XXXIII.</b> Estimación de volumen de lixiviados, Lt/s.....	125
<b>Tabla XXXIV.</b> Estimación de volumen de lixiviados, m3. ....	126
<b>Tabla XXXV.</b> Estimación de caudales en m3/s.....	127
<b>Tabla XXXVI.</b> Diámetro de las tuberías principales. ....	129
<b>Tabla XXXVII.</b> Diámetro de tuberías desde el punto de.....	129
<b>Tabla XXXVIII.</b> Numero de aspersores colocados en cada trinchera.....	130
<b>Tabla XXXIX.</b> Área de cobertura de riego.....	132

<b>Tabla XL.</b> Caudal requerido para el funcionamiento.....	133
<b>Tabla XLI.</b> Precipitación mínima y máxima mensual. ....	134
<b>Tabla XLII.</b> Precipitación mínima y máxima en 24 horas. ....	134
<b>Tabla XLIII.</b> Coeficientes típicos de permeabilidad para varios suelos. ....	135
<b>Tabla XLIV.</b> Determinación de tiempo y periodo de aspersión. ....	137
<b>Tabla XLV.</b> Evaporación esperada de cada trinchera.....	138
<b>Tabla XLVI.</b> Alturas máximas y mínimas de transporte .....	139
<b>Tabla XLVII.</b> Cálculo de la potencia de las bombas.....	140
<b>Tabla XLVIII.</b> Dimensiones de las piscinas.....	150
<b>Tabla XLIX.</b> Diámetro de las tuberías.....	151
<b>Tabla L.</b> Sumergencia necesaria para.....	153
<b>Tabla LI.</b> Alturas máximas de succión .....	154
<b>Tabla LII.</b> Diámetro tubería de succión.....	155
<b>Tabla LIII.</b> Detalles de las bombas .....	158
<b>Tabla LIV.</b> Diámetro tuberías de impulsión.....	158
<b>Tabla LV.</b> Diámetro tuberías de impulsión.....	159
<b>Tabla LVI.</b> Caudal a distribuir por cada ramal de riego .....	160
<b>Tabla LVII.</b> Diámetro tuberías de riego.....	160
<b>Tabla LVIII.</b> Valores del coeficiente C de.....	162
<b>Tabla LIX.</b> Pérdidas de carga tuberías principales de .....	163
<b>Tabla LX.</b> Perdidas de carga tubería a las piscinas.....	163

<b>Tabla LXI.</b> Pérdidas de carga tuberías de impulsión hasta punto de separación de riego .....	164
<b>Tabla LXII.</b> Pérdidas de carga en ramales de riego.....	164
<b>Tabla LXIII.</b> Velocidades en tuberías de drenaje de lixiviados .....	166
<b>Tabla LXIV.</b> Velocidades en tubería hacia las piscinas .....	167
<b>Tabla LXV.</b> Velocidades en tuberías de impulsión.....	167
<b>Tabla LXVI.</b> Velocidades en ramales de riego.....	168
<b>Tabla LXVII.</b> Matriz de valoración en etapa constructiva .....	176
<b>Tabla LXVIII.</b> Matriz de valoración etapa operativa .....	177
<b>Tabla LXIX.</b> Principales impactos ambientales en el relleno sanitario de Daule.....	178
<b>Tabla LXX.</b> Principales impactos ambientales en el relleno sanitario de Daule.....	179
<b>Tabla LXXI.</b> Plan de prevención y mitigación de impactos .....	181
<b>Tabla LXXII.</b> Plan de manejo de desechos.....	187
<b>Tabla LXXIII.</b> Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental .	189
<b>Tabla LXXIV.</b> Plan de relaciones comunitarias.....	191
<b>Tabla LXXV.</b> Plan de contingencia .....	193
<b>Tabla LXXVI.</b> Plan de seguridad y salud ocupacional .....	200
<b>Tabla LXXVII.</b> Plan de monitoreo y seguimiento .....	204
<b>Tabla LXXVIII.</b> Plan de rehabilitación .....	206
<b>Tabla LXXIX.</b> Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área .....	208

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCION**

## 1.1 Introducción

En las diferentes actividades que el hombre ha realizado desde comienzos de la humanidad han generado desechos sólidos tras su vida útil y estas pueden provenir de diferentes sectores tales como: tecnológico, industrial, comercial entre otros y su cantidad depende de la demanda de productos que la población requiera.

Los desechos sólidos eran antiguamente ubicados en botaderos a cielo abierto el cual se lo define como área de disposición final de residuos sólidos sin control y sin la adopción de medidas para la prevención y mitigación de los impactos ambientales y sanitarios (erosión, sedimentación, generación de gases y lixiviados, incendios, roedores).

Actualmente se considera a botaderos a cielo abierto obsoletos por su grado de contaminación; las disposiciones finales de desechos sólidos con mejores resultados hasta el momento son: relleno sanitario e incineración. Un relleno sanitario es factible de realizar siempre que se disponga de grandes extensiones de terreno; tradicionalmente es definido como un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera

que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al término de cada día de trabajo.

Ningún método de disposición final es en su totalidad libre de contaminaciones y en el caso del relleno sanitario tenemos los componentes derivados de los desechos sólidos como lo son los lixiviados y gases. La cantidad de lixiviados producidos depende del volumen de desechos sólidos en el sitio, tipo de desecho depositado, las precipitaciones que se den en el sitio además de la presencia de aguas subterráneas si se diera el caso. Con el crecimiento poblacional que se da año a año es indispensable escoger el método adecuado para tratar los lixiviados que abarque la cantidad de desechos sólidos generados y los componentes que lo constituyen.

Por lo antes señalado, se ha generado un problema o impacto ambiental en el recurso suelo y agua, que debe ser manejado oportunamente por las autoridades locales del cantón a fin de evitar enfermedades en las personas del sector contaminado las fuentes de agua cercana.

Debido a este problema, en el presente trabajo se propone el diseño de un sistema de tratamiento óptimo de lixiviados para el relleno sanitario del cantón Daule; considerando la generación de desechos en el cantón, la presencia de precipitaciones en sitio las cuales influyen directamente en la cantidad de lixiviados producidos en el relleno sanitario, además de un análisis de los lixiviados que se generan actualmente.

## **1.2 Datos Generales**

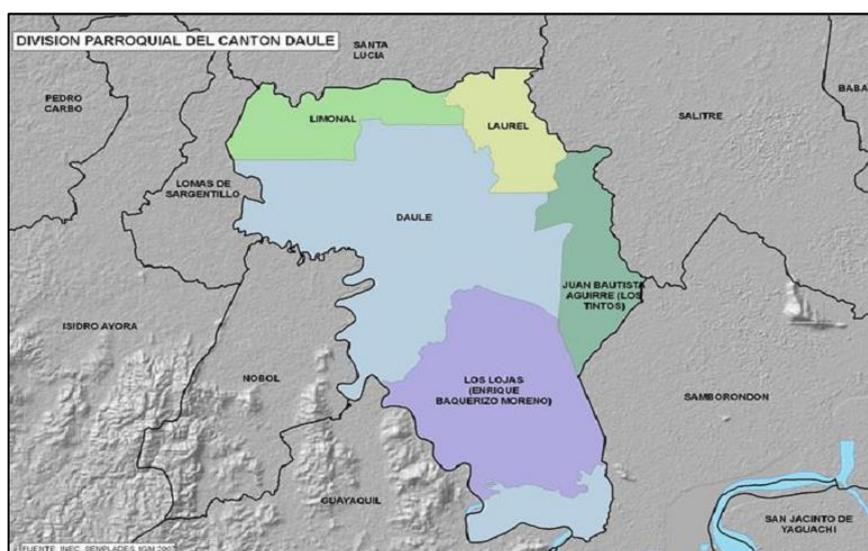
### **1.2.1 Descripción cantón Daule**

El cantón Daule se encuentra ubicado en la parte central de la provincia del Guayas, con una extensión de 461,6 Km<sup>2</sup>, está limitado al sur con Guayaquil, al norte con el cantón Santa Lucía, al este con Urbina Jado y Samborondón y al oeste con Nobol, Lomas de Sargentillo. El alcalde del cantón Daule es Pedro Salazar Barzola desde el año 2000.

Su división política está estructurada por cuatro parroquias rurales que son: Los Lojas, Juan Bautista Aguirre, El Laurel y Limonal; y por dos parroquias urbanas que son: Daule (la cabecera cantonal) y La Parroquia Satélite La Aurora. Además,

existen alrededor de 180 recintos en toda la Jurisdicción Cantonal.

Según los datos del Censo INEC 2010, el cantón cuenta con una población de 120.326 habitantes, de los cuales el 54.14 % corresponde a la población urbana y el 45.86 % corresponde a la población rural.



**Figura 1.1** División parroquial del cantón Daule.

**Fuente:** INEC, 2010.

## 1.2.2 Descripción de la obra existente

### 1.2.2.1 Sistema de recolección de desechos

Según datos de la OMS del 2002 la tasa de generación de desechos en Daule es de 0,6 kg/hab/día, se conoce que la población de Daule genera aproximadamente 120 toneladas diarias de desechos. La basura se recoge mediante 12 vehículos recolectores principales, además el municipio cuenta con 4 volquetas y 3 vehículos pequeños para apoyar al sistema de recolección principal en caso de que algunas de estas unidades se encuentren en mantenimiento o la cantidad de desechos aumente.

**Tabla I.** Descripción de vehículos  
Recolectores del relleno sanitario de  
Daule.

Recolector	Peso Vacío (kg)
#1	10780
#2	10780
#3	10730
#4	10730
#5	10690
#6	10700
#7	8050
#8	10640
#9	113640
#10	13960
#11	13610
#12	13880

<b>Volqueta #2</b>	7960
<b>Volqueta #4</b>	7980
<b>Volqueta #6</b>	8200
<b>Volqueta #8</b>	8330
<b>Camioneta GDV645</b>	1180
<b>Camión OCJ907</b>	3550
<b>Camioneta GXM595</b>	1300

**Fuente:** Reyes, E., 2014.

Recolectores realizan 3 viajes diarios, 8 destinados para la parroquia de la Aurora y 4 para el resto del cantón; de los 8 cada vehículo abarca 4 urbanizaciones en donde generalmente están conformadas de familias de 4 personas.

**Tabla II.** Urbanizaciones de la parroquia  
Aurora.

La Gran Vittoria Arboletta	Mallorca
Villa Club (20 etpas) aprox.	Plaza Madeira Malaga II
La Joya (23 etapas) aprox.	Napoli
Villa del Rey (08) aprox.	Milan
La Rioja (05) aprox.	Bonaterria

Villa Italia (02) aprox. Altos del Rio Volare	Brisas del Norte Cataliña  San Antonio La Delicia
Bali San Sebastian	Santa Maria de Casa Grande
Vicriel	Condado de Vicolinci
Marina D'or Park Cataluña Castilla	Laguna Azul Logare Fuentes del Rio
Compostela Malaga	Matices Sambocity

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

### 1.2.2.2 Descripción del relleno

El relleno sanitario del cantón Daule está ubicado en el recinto YOLAN el cual está a 40 minutos aproximadamente en vehículo desde la ciudad de Daule. Dicha obra para ser más precisos se encuentra en la falda de los cerros Yolán, en la cordillera Chongón Colonche, es de propiedad del municipio de Daule y consta de 22 Has o 220000 m<sup>2</sup> (440 m x 500 m), anterior a esto existía otra zona que era utilizada para almacenar la basura sin ningún

tipo de cuidado o tratamiento, funcionaba como botadero a cielo abierto.

El tiempo de vida útil del relleno sanitario es de 15 años, actualmente se usa una celda emergente que ha transcurrido 1 año desde su operación, se estima la construcción de 3 celdas adicionales con mayores dimensiones que la ya construida con el fin de almacenar una mayor cantidad de desechos.

Actualmente el tratamiento que se le da a los lixiviados procedentes de la celda emergente del cantón Daule es un sistema en serie de filtros de arena. Cabe resaltar que este sistema solo está contemplado para la celda existente, el resto de celdas a futuro no poseen y es ahí donde se instalará el sistema de tratamiento propuesto que abarque todas las celdas.

### **1.3 Justificación**

La disposición final de los residuos sólidos está directamente ligada con la preservación del ambiente y con la salud de la población, por

lo cual una de las mejores alternativas es la creación de un relleno sanitario, que consiste en depositar los desechos sólidos sobre el terreno para conformarlos en capas y luego compactarlos de manera que se reduzca su volumen utilizando maquinaria pesada y finalmente cubrirlos con una capa de material inerte.

El objetivo del presente trabajo es diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados para el cantón Daule cumpliendo los requerimientos establecidos por el texto unificado de legislación secundaria, medio ambiente (TULAS) según el anexo 6, de modo que disminuya el grado de contaminación de lixiviados y prevenir que estos se infiltren en el subsuelo, deteriorando la calidad del suelo y del agua subterránea.

Esta propuesta será óptima para garantizar buenas condiciones de agua subterránea que serán utilizadas para abastecer comunidades, de ahí su importancia de prevenir su contaminación ya que su descontaminación tendría un costo muy elevado y además afectaría la salud de la población.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados para el relleno sanitario del cantón Daule con una adecuada construcción y operación, siguiendo la normativa vigente considerando el tiempo de vida útil de la obra a la vez que la cantidad de desechos generados por la población.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas del área de estudio
- Analizar una muestra de lixiviados del sitio para conocer las condiciones de la misma comparando sus resultados con los valores que nos proporciona el texto unificado de legislación ambiental secundario
- Presentar 3 alternativas diferentes de sistemas de tratamiento de lixiviados para su análisis de ventajas y desventajas de cada uno considerando las condiciones de la obra
- Realizar un análisis de costo del sistema de tratamiento de lixiviado elegido para la posibilidad de su implantación en la obra.

## **1.5 Metodología general**

Para el desarrollo del presente proyecto se ha realizado todas estas actividades:

Reconocimiento del Marco Legal ambiental junto a la actividad de operación, el documento revisado fue el Texto Unificado de Legislación Ambiental, específicamente el anexo 1 y 6 que refieren a calidad del agua y desechos sólidos respectivamente.

Revisión de la información existente en la web acerca de la zona de estudio, el tipo de información incluye: topográfico, precipitación, datos poblacionales, estudios socio económicos entre otros más.

Visitas al municipio del cantón Daule para recopilar y revisar información existente consideradas para el diseño del relleno sanitario actual tales como: tiempo de vida útil, población, cantidad de desechos sólidos, tipo de desechos, medios de recolección de desechos, calidad del suelo, impacto ambiental de la obra entre otros.

Solicitar permisos necesarios para acceder al relleno sanitario y corroborar la información que nos fue dada, a su vez para seleccionar sitios en donde colocar estructuras que nos ayudaran al funcionamiento del diseño propuesto.

Recopilar muestras de la piscina de lixiviados existente para su posterior envío a los laboratorios respectivos de análisis de agua residual.

Obtener registro fotográfico del relleno sanitario actual acerca de su operación, dimensiones, personal, vehículos recolectores, maquinaria usada en obra, sistemas de drenaje de lixiviado y gases.

# **CAPITULO 2**

## **ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE**

## 2.1 Información general

### 2.1.1 Topografía

Se cuenta con la carta topográfica del cantón Daule proporcionado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) con escala 1:50000. Esta carta se utilizó para ubicar zonas de relevancia tales como, cuerpos de agua, vías de acceso, poblados y obras visibles en la carta y así analizar la influencia que estos podrían significar para el relleno sanitario que al verse afecta modifica las consideraciones que se debe tomar para el diseño del sistema de tratamiento de lixiviados generados. De igual manera identificar la consecuencia que podría traer nuestro sistema de tratamiento hacia los factores mencionados anteriormente, así como también a los recursos suelo, agua y aire.

**Tabla III.** Datos referenciales de la carta Daule

<b>DATOS REFERENCIALES</b>	<b>CARTA TOPOGRÁFICA Daule</b>
Sigla Nacional	NIV E3
Sigla Internacional	3688 III
Serie	J721
Edición	1

**Fuente:** Pagalo.D, Idrovo.K, 2017

### **2.1.2 Geología y litología**

El cantón Daule está compuesto por tres tipos de unidades geológicas que son: Llanura aluvial reciente con 64,5%, llanura aluvial antigua con 21,33% y cordillera Chongón- Colonche con 10,32%.

#### **Llanura aluvial antigua**

Se ubica en los cantones Daule y Salitre, se caracteriza por su mayor formación y presencia de las subdivisiones características de una llanura aluvial como son: diques, bacines, complejos de orillares, terrazas, etc. Corresponde a una llanura aluvial que ha sufrido procesos de degradación.

#### **Llanura aluvial reciente**

Corresponde a una extensa área geográfica plana o ligeramente ondulada. Esta llanura tiene una altitud, en su mayor parte menor a 5 m. presentando terrenos planos y ondulados, bancos, basines, meandros y cauces abandonados.

### Valles aluviales

Estas geoformas son depósitos aluviales de textura variable, localmente cubiertos por proyecciones piro plásticas recientes y corresponden a las zonas de influencia de los ríos Daule, Colimes, Pedro Carbo, Chilintomo, Bulubulu y Cañar. En ellos se hallan presentes terrazas en diferentes niveles (bajo y lecho actual, medio y alto), bancos y diques aluviales, meandros abandonados, basines y valles indiferenciados.

**Tabla IV.** Formación geológica en el cantón Daule.

<b>FORMACIÓN GEOLOGICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SECTOR</b>
<b>Depósitos aluviales</b>	Son depósitos cuaternarios compuestos generalmente de arcillas, limos y arenas acarreados por cuerpos aluviales.	
<b>Depósitos coluviales</b>	Son depósitos cuaternarios compuestos por detritos de diferente diámetro, aunque su composición varía de acuerdo a la unidad ambiental a la que pertenece. Se acumulan al pie de laderas, cuando se	

---

desprenden debido a la gravedad.

**Depósitos coluvio-aluviales**

Corresponden a depósitos formados por la acción de la deposición de materiales aluviales por corrientes fluviales sumados a los aportes gravitacionales laterales de los relieves que la rodean.

**Formación Pichilingue**

Están formadas por bancos de arcillas y arenas poco o nada consolidados (separados en partes). Son sedimentos que ahora integran la base de la mayor parte de los terrenos fértiles de la planicie litoral.

Provenientes de la erosión de la Cordillera de los Andes, acarreados por aguas torrenciales y fluviales

---

<b>Formación Balzar</b>	Se presenta desde abajo hacia arriba en capas de conglomerados, areniscas de grano fino a medio, arcillas laminadas de color café con moluscos, restos de plantas silicificadas y mantos de arena y toba. El contacto con la formación Onzole es discordante, y con la Formación Borbón está interdigitada, dando esta evidencia las areniscas de grano medio a grueso que se observan tanto en la Formación Borbón como en la Formación Balzar (pueblo de Pichincha).	El afloramiento típico se encuentra en el corte dejado por el Río Daule entre Balzar y Pichincha.
<b>Formación Borbón</b>	En la base es un conglomerado que descansa discordantemente sobre las formaciones Onzole y Playa Grande. Sigue luego una arenisca de grano grueso en bancos compactos con abundantes megafósiles en bolsones irregulares. Según los moluscos corresponde a una fácies marina.	La localidad tipo está en el Río Santiago, en el oriente de la Provincia de Esmeraldas, junto a Borbón.

<b>Formación Onzole</b>	<p>Consiste preponderantemente de limolitas azules, lutitas limosas y raramente areniscas y conglomerados. En sectores es rica en moluscos. Su espesor es variable (de 0 a 550 m). Descansa concordantemente sobre la Formación Angostura y, cuando ésta está ausente, sobre el Miembro Villingota de la Formación San Pedro aparentemente también en forma concordante.</p>	<p>El afloramiento tipo se encuentra en el curso medio del Río Onzole, afluente del Cayapas.</p>
<b>Formación Cayo</b>	<p>Está expuesta ampliamente en la Cordillera Chongón Colonche y muy esporádicamente al Norte de Jama. La base de la formación está compuesta por brecha volcánica de composición intermedia a básica y toda la parte inferior está dominada por arenisca verde tobácea. Más arriba se presenta menos volcánica y en el tope de la formación las rocas dominantes son argilitas y pedernal.</p>	<p>La localidad tipo está ubicada en la orilla sur de la Bahía de Puerto Cayo.</p>

---

<b>Formación Piñón</b>	<p>Desde Guayaquil es delineable a través de la Cordillera Chongón Colonche hasta Manta. Exposiciones esporádicas en la Península de Santa Elena son consideradas olistolitos, hacia el Norte una serie de afloramientos discontinuos se presentan cerca de la costa al Oeste de Portoviejo. Comprende principalmente rocas ígneas básicas: diabasa, basalto equigranular de grano fino, aglomerado basáltico, toba, escasos lentes capas delgadas de argilita, y complejos de diques. También se han observado pillow lavas, hialoclastitas y metabasaltos.</p>	<p>Los afloramientos más extensos ocurren en la Cordillera Chongón Colonche. A lo largo de la Costa central del Ecuador aflora como un cinturón discontinuo.</p>
----------------------------	--	--

---

---

<b>Unidad Macuchi</b>	Corresponde a una secuencia de arco submarino, volcanoclástica, predominantemente sedimentaria, con volcánicos intercalados, posiblemente lavas u hojas subvolcánicas. Litológicamente está compuesta por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, microgabros/diabasas, basaltos subporfiríticos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas con características geoquímicas relacionadas a subducción. La mayor parte de las facies de la Unidad Macuchi son productos de actividad volcánica efusiva submarina, ya sean productos eruptivos o material re TRABAJADO depositado por procesos de flujo de masas.
---------------------------	--

---

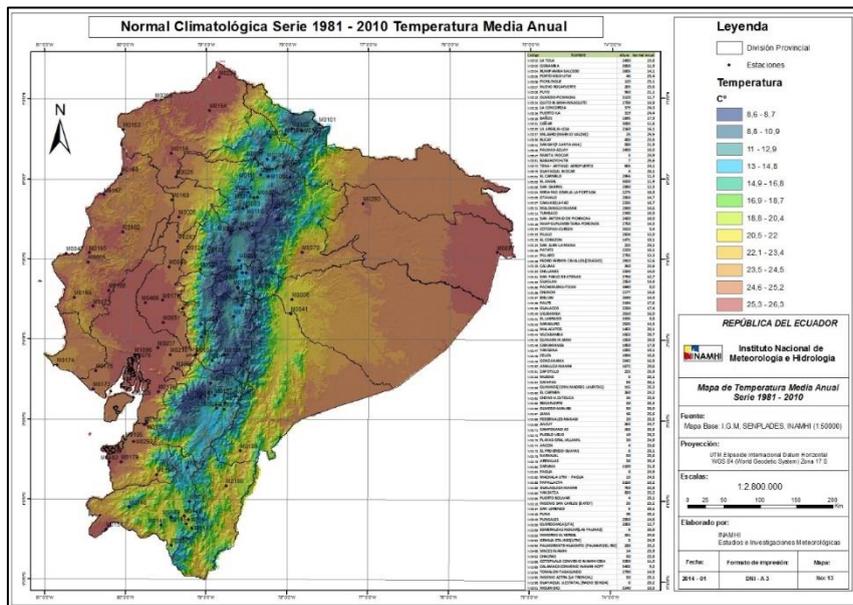
**Fuente:** Clirsen, Instituto Espacial Ecuatoriano.

### **2.1.3 Aspectos climáticos**

El área de estudio comprende Bosque Semi Seco, Bosque Lluvioso de las Tierras bajas, Húmedo Tropical y Bosque seco de Tierras Bajas que se encuentran en un rango altitudinal desde los 5 msnm hasta los 300 m.s.n.m. También se le identifica como bosque muy seco tropical.

El Cantón Daule se encuentra en dos zonas climáticas: una parte sur y occidental con clima Tropical Megatérmico Semi-Húmedo, con temperatura entre 25 y 26°C y precipitación entre 900 y 1000 mm; y, el resto del cantón con clima Tropical Megatérmico Húmedo, con temperaturas medias diarias de 25 a 26°C y precipitaciones medias anuales de 1000 a 1350 mm. En su territorio se encuentran zonas de evapotranspiración potencial de 1500 a 1700 mm, que varía desde el occidente al oriente.

El mes más caluroso es abril, con una temperatura promedio de 31.84°C, los meses menos calurosos que se presentan son: en el mes de julio y junio con una temperatura promedio de 18,21°C La temperatura promedio anual es de 25, 19°C.



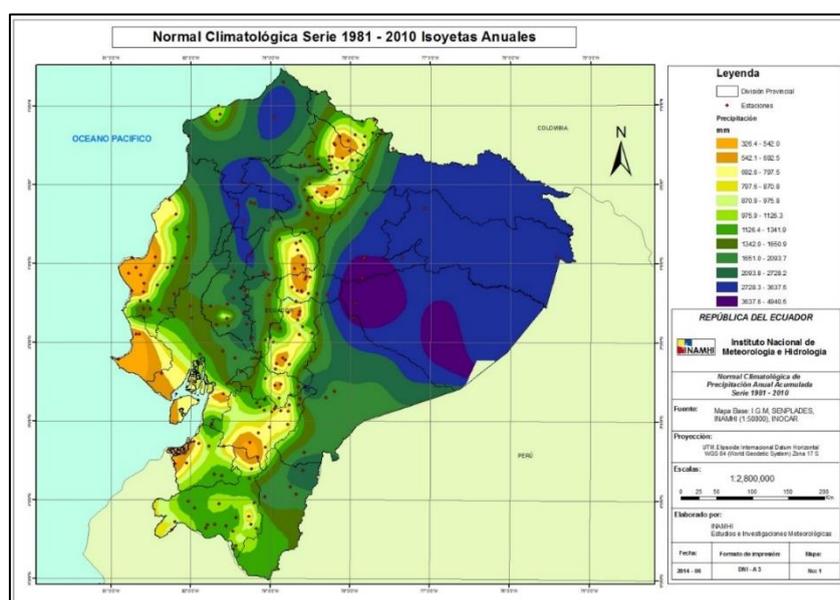
**Figura 2.1.** Mapa de temperatura media anual.

**Fuente:** INAHMI.

Además, es importante saber la cantidad de precipitaciones que se da en la zona ya que esto cae y se filtra a través de los desechos sólidos del relleno generando así mayor cantidad de lixiviados; otro factor es la ubicación donde este la obra en este caso en las faldas del cerro Yolán de cual proviene las escorrentías superficiales para manejarlas, según el informe técnico proporcionado por el municipio, se diseñó un sistema de cunetas que garantizarán su desvío de la celda emergente.

## 2.1.4 Hidrografía y Orografía

En este proyecto es importante conocer los aspectos hidrológicos, puesto que obras como es el relleno sanitario deben estar lo más alejados de los cuerpos de agua para evitar su contaminación a través de los lixiviados que estos generan los cuales tienen una alta concentración de contaminantes.



**Figura 2.2.** Precipitación anual acumulada.

**Fuente:** INHAMI

## 2.1.5 Demografía

### 2.1.5.1 Población

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010, para el cantón Daule se tiene una población total de 120326 habitantes distribuidos de la siguiente forma:

**Tabla V.** Datos de población del cantón Daule

<b>Año 2010</b>	
<b>Hombres</b>	60195
<b>Mujeres</b>	60131
<b>Total</b>	120326

**Fuente:** INEC, 2010.

### 2.1.5.2 Viviendas

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, en el 2010 se reportó 31473 viviendas en el cantón Daule, constituidas por 24431 villas, 964 departamentos, 598 mediagua, entre otras (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010).

**Tabla VI.** Datos referenciales de los tipos de vivienda del cantón Daule.

<b>Tipo de vivienda</b>	<b>Zona urbana</b>	<b>Zona rural</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>Acumulado %</b>
Casa/villa	14145	10286	24431	77.63	77.63
Departamento en casa o edificio	762	202	964	3.06	80.69
Cuarto en casa de inquilinato	268	54	322	1.02	81.71
Mediagua	373	225	598	1.90	83.61
Rancho	1179	3325	4504	14.31	97.92
Covacha	159	342	501	1.59	99.51
Choza	8	100	108	0.34	99.86
Otra vivienda particular	32	13	45	0.14	100

**Fuente:** INEC, 2010.

# **CAPITULO 3**

## **Propuestas de Alternativas**

### 3.1 Alternativa 1: Reciclaje de Lixiviados

Un método efectivo para el tratamiento de lixiviados consiste en recogerlos y recircularlos a través del relleno. Durante las primeras etapas del funcionamiento del relleno, el lixiviado contendrá cantidades importantes de sólidos totales disueltos (TDS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes y metales pesados. Cuando se recircula el lixiviado, se diluyen y atenúan los compuestos producidos por la actividad biológica, y por otras reacciones químicas y físicas que se producen dentro del relleno. Por ejemplo, los ácidos orgánicos sencillos presentes en el lixiviado se convertirán en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Por la subida del potencial de hidrógeno (PH) dentro del relleno cuando se produce  $\text{CH}_4$ , los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del relleno. Un beneficio extra del reciclaje de los lixiviados es la recuperación del gas de relleno que contiene  $\text{CH}_4$ . Normalmente la tasa de producción de gas es mayor en sistema para la recirculación del lixiviado. Para evitar la emisión incontrolada de gases de relleno cuando se recicla el lixiviado para su tratamiento, se debería equipar el vertedero con un sistema para la recuperación del gas. Finalmente será necesario recoger, tratar y evacuar el lixiviado residual. En rellenos grandes, quizás será necesario proporcionar instalaciones para el

almacenamiento de lixiviados. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994)

### 3.1.1 Ventajas

- Reduce de los costos de tratamiento final de lixiviado.
- Aumenta las tasas de descomposición de residuos orgánicos, crear más capacidad de relleno sanitario.
- Mejora la calidad de los lixiviados previo al tratamiento: La masa de residuos actúa como un reactor biológico por lo tanto reduce la DBO y DQO. Una vez que ha reducido la DBO, el lixiviado es entonces más fácil de tratar y se reducen los costos de tratamiento.
- Amortigua picos y valles en el Carga orgánica y asegura la calidad consistente para el tratamiento de lixiviados: En las plantas de tratamiento biológico se necesita un suministro razonablemente coherente de lixiviados con el fin de funcionar de manera fiable. Los 'choques de carga' de lixiviados afectan la calidad del tratamiento.
- Hay una menor necesidad de almacenar grandes volúmenes de lixiviados en los períodos de alta precipitación mediante la utilización de la capacidad de absorción de los residuos.

- Mejora la producción de gas tanto en términos de calidad y el volumen
- Creación de una mayor capacidad de los vertederos.
- Sistema de recirculación está diseñado para ser totalmente integrado a los sistemas de extracción de lixiviados.
- La tubería de recirculación es de bajo costo y debe ser considerado como sacrificio. (Viridian Colombia, s.f.)

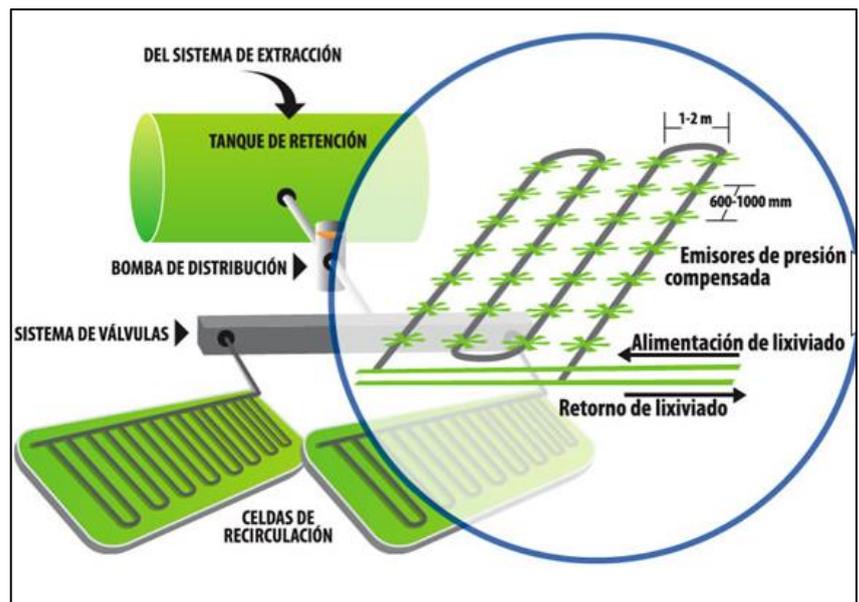
### **3.1.2 Desventajas**

- Contaminación del aire al momento de la exposición de los lixiviados a través de aspersores, a su vez provocando malos olores en la zona de riego.
- Riesgo de contaminación del suelo en caso de tener una red de tuberías en mal estado, ya que el proceso las utiliza de manera continua durante la fase de operación del relleno e incluso sigue funcionando después de dicha etapa.

### **3.1.3 Funcionamiento**

- El sistema de extracción o recolección activa entrega los lixiviados en un tanque o piscina de retención que permite la sedimentación de algunos sólidos.

- El lixiviado se bombea a presión desde el tanque/piscina hasta el vertedero a través de tuberías.
- Los lixiviados se entregan a las celdas de recirculación seleccionadas por medio de aspersores que cubran toda la zona.
- Como parte del programa de mantenimiento, el sistema de tuberías de recirculación puede retrolavarse para reducir la sedimentación de los emisores.



**Figura 3.1.** Esquema del sistema de recirculación de lixiviados.

**Fuente:** Viridian Colombia, s.f.

### **3.1.4 Consideraciones**

La introducción de humedad en el relleno sanitario puede conducir a la contaminación del ambiente circundante al relleno por causa de migración de lixiviado por la base o por los costados del mismo.

La circulación continua producirá la acumulación de sales, metales y otros compuestos indeseables en el lixiviado

En caso en que se hayan aplicado coberturas intermedias la introducción de lixiviados puede formar acumulaciones de líquido dentro de relleno sanitario que, con el tiempo, pueden escapar por los costados del relleno sanitario.

El tiempo de bombeo recomendado para el líquido es entre 8 a 12 horas diarias

### **3.1.5 Observaciones en cuestiones operacionales**

- Diseño de infraestructura
- Obstrucción/ reducción en el rendimiento de la infraestructura de inyección
- Inundaciones de pozos de gas
- Cobertura diaria
- Efectos de asentamiento

- Obstrucción de la capa de drenaje basal
- Obtener volúmenes suficientes para recircular
- Inestabilidad de taludes

### **3.1.6 Observaciones en cuestiones ambientales**

- Olores y liberación incontrolada de gases/ ingreso de aire
- Impacto adverso en la calidad de lixiviado
- Contaminación del agua superficial
- Interacción del lixiviado y gas (A technical assesment of leachate recirculation, environment agency)

## **3.2 Alternativa 2: Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada. (Rolim Mendonca, 2000)

Las lagunas se clasifican teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto y la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacterial de compuestos orgánicos presentes en

las aguas residuales. (Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000)

El tratamiento a través de lagunas tiene tres objetivos:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura, por ejemplo.

Por lo tanto, los factores que influyen sobre la calidad deseada para el efluente de las lagunas de estabilización dependen de la visión de los diferentes sectores:

- Salud: número de microorganismos patógenos o indicadores.
- Medio ambiente: principales indicadores de la contaminación, es decir, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos (SS).
- Reutilización: dependiendo del uso que se dará al efluente, se definirán los criterios para la producción de DBO y SS y bacteriológica.

### **3.2.1 Ventajas y desventajas**

- Bajo costo.

- Necesitan poco o ningún componente importado.
- Nulo consumo energético.
- Simples de construir y de operar.
- Confiables y fáciles de mantener
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas.
- Posibilidad de uso como sistemas reguladores para riegos.
- Fácil adaptación a variaciones estacionales.
- Posibilidad de tratar vertimientos industriales fácilmente biodegradables (mataderos, lecherías, industrias de frutas, etc.)
- Elevada estabilización de la materia orgánica.
- Producen un efluente de alta calidad, con excelente reducción de microorganismos patógenos.

### **3.2.2 Desventajas**

- Requieren más terreno que cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales.
- En el efluente se da una concentración elevada de algas que puede ocasionar problemas en fuentes receptoras superficiales

- Las lagunas sin aireación a menudo no cumplen las normas exigentes de vertimiento.
- Las lagunas pueden causar impactos negativos sobre las aguas subterráneas si no se impermeabilizan, o si el recubrimiento se daña.
- Un diseño inapropiado o una incorrecta operación pueden generar malos olores.

### **3.2.3 Clasificación**

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse en cuatro tipos: anaeróbicos, facultativas, de maduración y estrictamente aerobias o de alta tasa.

#### **3.2.3.1 Lagunas anaerobias**

Las lagunas anaerobias se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica, generalmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Estas lagunas no cuentan con zonas aerobias, su profundidad oscila entre 15 y 30 pies (5 y 10 m) y su tiempo de retención va de 20 a 50 d.

como consecuencia de la generación de malos olores, las lagunas anaerobias requieren ser cubiertas o aisladas de zonas pobladas. (Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000)

### **3.2.3.2 Lagunas facultativas**

Las lagunas facultativas son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas. El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y de bacterias anaerobias o anóxicas en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce por acción del viento. Los sólidos sedimentales se depositan en el fondo de la laguna. El aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaireación natural superficial. (Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000)

Tienen profundidades que varían de 1,5 a 2,5 metros, con áreas relativamente grandes. La profundidad mínima de las lagunas facultativas primarias debe ser igual a 1,5 metros, mientras que las facultativas secundarias no deben tener profundidades inferiores a 1,2 metros. El área máxima de las lagunas facultativas no debe exceder de 15 ha. (Rolim Mendonca, 2000)

### **3.2.3.3 Lagunas aerobias**

Las lagunas aerobias son bastante profundas para permitir la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua. Como resultado, este tipo de lagunas tiene una gran actividad fotosintética durante las horas de luz solar en toda la columna de agua; su profundidad varía entre 1 y 2 pies (0.3 y 0.6 m). Las lagunas diseñadas para aumentar la actividad fotosintética de las algas se denomina también lagunas de alta tasa. El termino de alta tasa se refiere a la velocidad de producción fotosintética de oxígeno por parte de las algas presentes, y no a la velocidad de asimilación metabólica de compuestos orgánicos, la cual permanece

invariable. El oxígeno producido por las algas permite a las bacterias degradar en forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Durante las horas de luz solar, el oxígeno y el pH aumentan alcanzando valores máximos; mientras que en las horas de oscuridad dichos parámetros disminuyen en forma considerable respecto del valor máximo. Los tiempos de retención de estos sistemas son relativamente cortos (valor usual 5d). Las lagunas aerobias se utilizan en combinación con otras lagunas y su aplicación se limita en zonas con climas cálidos y soleados. (Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000)

#### **3.2.3.4 Lagunas aireadas con mezcla parcial**

Las lagunas aireadas con mezcla parcial son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que una laguna facultativa. El suministro de oxígeno se realiza por medio de aireadores mecánicos flotantes o difusores de aire sumergidos. Las

lagunas aireadas tienen una profundidad que varía entre 6 y 20 pies (2 y 6m), y se diseñan con un bajo tiempo de retención bajo (3 a 20 d). La principal ventaja de una laguna aireada radica en que necesita menor área que otros sistemas de lagunas. (Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000)

### 3.2.4 Comparación de características de diseño y desempeño de los sistemas de tratamiento con lagunas

En la siguiente tabla se compara las características y el desempeño de los principales tipos de lagunas. El desempeño actual de un sistema con lagunas puede variar con respecto al sitio y condiciones climáticas.

**Tabla VII.** Características y desempeño de los diferentes tipos de lagunas.

<b>Clase de laguna</b>			
<b>Características</b>	<b>Aerobia</b>	<b>Facultativa</b>	<b>Aireada con mezcla parcial</b>

Objetivo del tratamiento	Secundario	Secundario, preliminar a un sistema de disposición sobre el suelo	Secundario, pulimento preliminar a un sistema de disposición sobre el suelo o tratamiento acuático
Clima necesario	Cálido	No requiere	No requiere
Tiempo de retención, d	10-40	25-180	5-20
Profundidad, m	3-5	5-8	10-20
Tasa de carga orgánica superficial, lb/ac*d	35-110	20-60	40-360
Características del afluente, mg/L			
DBO, mg/L	20-40	30-40	20-40
SST, mg/L	80-140	40-100	30-60

**Fuente:** Tchobanoglous, Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados, 2000.

### **3.3 Alternativa 3: Tratamiento con Zeolita**

La zeolita es un aluminosilicato hidratado cristalino (arcilla) con estructuras tridimensionales, caracterizados por la habilidad de retener y liberar agua e intercambiar iones sin modificar su estructura atómica. La retención de agua por parte de las zeolitas coadyuva a disminuir la concentración de nitratos presentes en la lixiviación del suelo. En terrenos con aplicación de zeolita se observa una retención de los nitratos hasta de 15 semanas, frente a las 5 semanas que es retenido por un terreno sin aplicación de zeolitas. Por su alto poder adsorbente la zeolita funciona con éxito en la descontaminación de medios edáficos y acuáticos, entre otros. Pudiendo ser utilizada para el tratamiento benéfico de suelos y aguas con presencia de metales pesados. Aplicando esto a los lixiviados se usa como filtro por el cual estos circularan, en dicho filtro se removerán los nitratos y metales pesados obteniendo una solución con menos carga orgánica que será almacenados en su respectivo depósito (piscina de lixiviados) para su posterior descarga en los afluentes.

#### **3.3.1 Deposito**

Las rocas zeolitizadas se ubican principalmente en la formación cayo, la cual se encuentra ubicada en la orilla

sur de la bahía de puerto cayo. Las zeolitas se presentan en diversos ambientes geológicos, en su mayor parte como alteraciones de minerales autigénicos, sometidos a cierta temperatura y presión; como minerales en sistemas metamórficos y como minerales secundarios en zonas afectadas por la meteorización. (Morante Carballo, 2004)

### **3.3.2 Aplicaciones**

Las zeolitas es un método que al retener agua permite disminuir la concentración de nitratos presentes en la lixiviación del suelo.

En terrenos con aplicación de zeolita se observa una retención de los nitratos hasta de 15 semanas, frente a las 5 semanas que es retenido por un terreno sin aplicación de zeolitas.

Existen trabajos dirigidos a investigar la eficiencia de la zeolita, ya no en el suelo, sino como filtro purificador de agua provenientes de sistemas de alto consumo de agroquímicos. (Chica Toro, Londoño Benitez, & Álvarez Herrera, 2006)

### **Desventajas**

- Transporte de material a sitio, costo de transportación en caso de no tener material disponible en la zona donde se realizará la obra.
- Para su uso y no saturación de este tipo de filtro, es necesario un previo tratamiento para disminuir la carga orgánica proveniente de los rellenos sanitarios.
- Poca información respecto a su uso en el tratamiento de lixiviados, mayores investigaciones en el área de purificación de agua en donde las concentraciones orgánicas son menores comparado a los existentes en los lixiviados.

### **3.4 Selección de alternativa**

Se eligió la alternativa 1 porque es un método económico y funcional respecto a las otras alternativas, ya que esta puede operar sin problema durante todo el año, No requiere de equipos especializados para su implementación basta con una red de tuberías, bomba, aspersores entre otras.

# **CAPITULO 4**

## **Estudios preliminares**

#### **4.1 Aspectos hidrogeológicos**

El área donde se diseñará el relleno sanitario de Daule en Yolán está localizada en la cuenca baja del río Guayas y ocupa parte de los drenajes menores de los ríos Daule y Babahoyo, esta cuenca hidrológica ocupa un área de 32.130 km<sup>2</sup> de extensión y constituye el sistema fluvial más importante del país. El principal aportante hídrico a la zona del relleno sanitario es la cuenca formada por el río Daule y Pula, aunque estos se encuentran a más de 5 km de distancia. En la zona de influencia directa del proyecto No existe ningún cuerpo hídrico que pueda correr algún riesgo potencial debido a las actividades del relleno. En la zona de influencia indirecta a casi 2,5 km de distancia existe un canal de riego, al frente de la carretera y un manantial natural en la zona de La Mina, pero como ya se mencionó se encuentra muy lejos de la zona de influencia del relleno sanitario.

#### **4.2 Suelos**

La consultora Cenía Cía. Lta fue la encargada de realizar junto con el laboratorio de suelos Vicente de Paúl León Toledo los ensayos de suelos previo a la construcción del relleno sanitario donde los análisis proporcionaron datos de: Nivel freático, clasificación SUCS,

densidad del suelo, índice de plasticidad, coeficiente de permeabilidad, humedad y % pasante tamiz 200; los resultados son:

**SUCS:** CH Suelo arcilloso

**Plasticidad:** Altamente plástico

**Densidad del suelo:** Entre 1,87 ton/m<sup>3</sup> hasta 45 ton/m<sup>3</sup>

**Permeabilidad:** Prácticamente impermeables o de muy baja permeabilidad debido a su característica CH

**Nivel freático:** Entre 2 m y mayor a 7.5 m, en ciertas zonas no se evidencia nivel freático.

**Tabla VIII.** Perfil estratigráfico del suelo.

<b>Sondeo profundidad</b>	<b>SUC S</b>	<b>1 NF 2.50</b>	<b>2 NF 2.70</b>	<b>3 NF 2.50</b>	<b>4 NF NO</b>
0.00- 2.00	CH	Arcilla negra, limos y arenas finas. Muy alta plasticidad	Arcilla Negra, limos y arenas finas. Alta plasticidad	Arcilla negra de elevada plasticidad . Limos y arenas finas	Hasta los 0,7 m arcilla negra. Hasta 1,5 m arcilla café, limos y arenas finas. Hasta los 2,0 m arcilla gris

---

					verdosa de elevada plasticidad
2,5 – 6,0	CH	Estrato de arcilla café. Capitas de Materia orgánica. Elevada plasticidad	Arcilla café, elevada Plasticidad. Capitas de arena fina. Consistencia a semi dura	Arcilla café de elevada Plasticidad. Materia orgánica y arenas finas	De 2.0 a 2.5 inicio de lecho rocoso
5,5 a 6,0	CH		Arcilla con nichos tubosos	Arcilla gris verdosa, de elevada plasticidad	
7,5 a 9,0	CH	Arcilla gris verdosa. Elevada plasticidad	Arcilla gris verdosa. Elevada plasticidad	Arcilla gris verdosa. Elevada plasticidad	

---

**Fuente:** Estudio suelos, Lab. Suelos Vicente León Toledo.

Para suelos CH, la capacidad de carga admisible es de 6.0 ton/m<sup>2</sup>, esperándose asentamientos por consolidación del orden de los 7 cm. De los análisis se establece que las permeabilidades de los respectivos suelos estudiados son bajas, ya que son arcillas de Muy

alta plasticidad, del orden de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  cm/s. A pesar de contar con esta ventaja en los suelos de Yolán se recomienda impermeabilizar el lecho empleándose para ello membranas geosintéticas y grava.

El material factible a emplearse como material de cobertura de la basura son los mismos materiales excavados en las zanjas, es decir materiales que se tratan de arcillas negras, café o verdosas CH (SUCS), de características impermeables y de compresibilidad media, siempre que sea compactado. Para este tipo de suelos en estado compactado se esperan densidades secas máximas del orden de 1.2 a 1.8 Ton/m<sup>3</sup>, con humedades óptimas que oscilan aproximadamente entre 20 y 27%. La humedad natural de los suelos según los resultados de laboratorio es del 30%, que son superiores al óptimo de compactación, por lo tanto no se alcanzará los valores de densidad seca máxima a menos que se realice un secado previo del material.

#### **4.3 Vida útil de la celda emergente**

Conforme lo especificado en las bases, la celda emergente tendrá una vida útil de al menos dos años, y cuya operación puede iniciarse en enero del año 2015.

Entonces, la celda tendrá un volumen útil de 97,281 m<sup>3</sup> de capacidad, incluyendo el volumen necesario para el material de cobertura a ser utilizado.

La celda propiamente dicha, más otras utilidades necesarias para su operación ocuparán un área de 1.17 has, quedando libres aproximadamente 20.83 has para el proyecto del nuevo relleno sanitario.

**Tabla IX.** Dimensionamiento Celda Emergente para Residuos Sólidos desde 2015-2016.

<b>DIMENSIONAMIENTO CELDA PARA RESIDUOS DESDE 2015</b>	
DATOS:	
PERIODO DE DISEÑO:	-
PESO VOLUMETRICO BASURA COMPACTADA:	800,00 m <sup>3</sup>
VOLUMEN DE DISEÑO (INCLUYE MAT. COBERTURA):	97281,37 m <sup>3</sup>
ALTURA PROMEDIO DE RELLENO:	10,00 m
DIMENSIONES PARA DISEÑO:	
AREA NETA DEL RELLENAMIENTO:	9728,14 m <sup>2</sup>
AREA NETA DEL RELLENAMIENTO:	0,97 has
DIMENSIONES:	
LARGO NETO:	98,63 m
ANCHO NETO:	98,63 m
ALTURA PROMEDIO RELLENO:	10,00 m
DIMENSIONES ASUMIDAS:	
LARGO NETO:	95,00 m
ANCHO NETO:	95,00 m
ALTURA PROMEDIO DEL RELLENO:	10,00 m
AREA TOTAL NECESARIA (+ 30% para otras instalaciones)	1,17
AREA DISPONIBLE:	
<b>AREA REMANENTE:</b>	

**Fuente:** Reyes Ochoa E., 201

#### **4.4 Taludes conformación de la celda**

Los taludes de acabado del relleno serán de al menos 1V:2H, que aseguran la estabilidad del relleno.

#### **4.5 Material de cobertura**

Para la construcción de la celda emergente se removerán 38577.7 m<sup>3</sup> de material, el que debe ser acopiado en un sitio cercano; como puede observarse solamente son necesarios 16213.5 m<sup>3</sup> de material de cobertura para los dos años de operación de la celda, por lo que la provisión de material de cobertura está asegurado.

#### **4.6 Infraestructura de la celda emergente**

La celda emergente cuenta con todos los elementos constitutivos de un moderno relleno sanitario, e incluye un sistema de impermeabilización de fondo, captación y conducción de líquido lixiviado y biogás, sistema de tratamiento de lixiviados, y otras unidades o componentes como un sistema de evacuación de aguas lluvias, instalaciones complementarias como cierre perimetral, campamento, entre otros.

#### 4.7 Volumetría de la celda emergente

En base al volumen de material que debe confinarse, incluidos los residuos sólidos y el material de cobertura necesario, todo esto previsto para una vida útil de la celda de 2.0 años, el cálculo volumétrico inicial es el siguiente:

**Tabla X.** Volumetría general de la Celda Emergente

Dimensionamiento celda para residuos desde 2015 hasta 2016	
Datos	
<b>Periodo de diseño:</b>	- Años
<b>Peso volumétrico basura compactada:</b>	800.00 m <sup>3</sup>
<b>Volumen de diseño (Incluye Mat. Cobertura)</b>	97281.37 m <sup>3</sup>
<b>Altura promedio de relleno:</b>	10.00 m <sup>3</sup>
Dimensiones para diseño	
<b>Área neta del rellenamiento:</b>	9728.14 m <sup>2</sup>
<b>Área neta del rellenamiento:</b>	0.97 has
Dimensiones:	
<b>Largo neto:</b>	98.63 m
<b>Ancho neto:</b>	98.63 m
<b>Altura promedio relleno:</b>	10.00 m
Dimensiones asumidas	
<b>Largo neto:</b>	95.00 m
<b>Ancho neto:</b>	95.00 m
<b>Altura promedio del relleno:</b>	10.00 m
<b>Área total necesaria (+30% para otras instalaciones)</b>	1.17 has

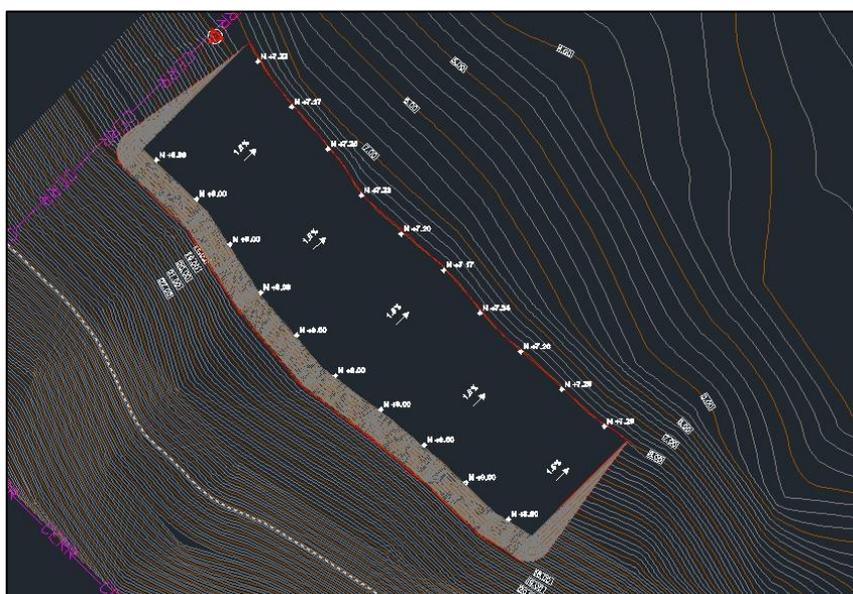
Área disponible:	22.00 has
Área remanente:	20.83 has

**Fuente:** Reyes Ochoa E., 2014.

De las 22.0 hectáreas totales disponibles, para la implantación de la celda solamente se utilizarán 1.17, contándose con un remanente de 20.83 has para la construcción del nuevo relleno sanitario a futuro.

#### 4.8 Preparación del sitio

Conforme la topografía del sitio seleccionado se ha implementado la celda con las siguientes características:



**Figura 4.1.** Detalle de implementación de la celda emergente.

**Fuente:** Reyes Ochoa, E. 2014

Para esto, se realizará una excavación que permita contar con una plataforma de una pendiente promedio del 1.5%, tal como puede verse en la figura; lo que permitirá contar con un sistema de colección de lixiviado a gravedad.

#### **4.9 Impermeabilización de fondo**

Se ha revisado variada información técnica de estudios específicos en el país, así como de bibliografía especializada, existen varios tipos de diseños de la capa inferior impermeabilizante aplicables a un relleno sanitario.

Uno de los más utilizados es una secuencia de capas que, de abajo hacia arriba, se describen a continuación.

- a) Capa de arcilla, inmediatamente después del rasanteo de la plataforma, en el suelo natural, y cuidando que en la misma no se encuentren raíces, troncos, piedras o material similar que puede alterar la continuidad de tal superficie, se colocará una capa de arcilla de 0.30 m de espesor, arcilla que deberá tener un contenido bajo de carbonato de calcio, o cal, lo recomendable es un contenido menor al 5%. La capa será compactada mediante dos o tres pasadas de rodillo en dos capas sucesivas de 0.15 m cada una. Esta capa contendrá el sistema de drenaje para el líquido lixiviado.

b) Geomembrana de impermeabilización, de 1.0 mm de espesor, HDP 40, con las siguientes características técnicas:

- Resistencia mínima a la tracción (ASTM D882, franja de 25mm) de 11 kN/m
- Resistencia mínima al punzonamiento (ASTM D4833) de 170 N
- Resistencia mínima al impacto (ASTM D 3993 mod) de 15J
- Resistencia mínima al rasgado (ASTM D 1004 C) de 67 N
- Resistencia mínima al agrietamiento bajo carga constante:
  - NTCL > 100 horas
  - SP-NTCL > 200 horas

PROPIEDADES HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	ASTM D-4751	mm (N. Tamiz)	(0,180)80
	Retención de asfalto	ASTM D-6140	(L/m <sup>2</sup> )	N.A.
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/sec	42 X 10 <sup>-2</sup>
	Permitividad	ASTM D-4491	sec <sup>-1</sup>	2.0
PRESENTACION	Tipo de polimero			PP
	Espesor	ASTM D-5199	mm	1.9
	Rollo Ancho		m	3,5 / 3,8 / 4,0
	Rollo Largo		m	130.0
	Rollo Area		m <sup>2</sup>	455 / 494 / 520
FUNCION DEL GEOTEXTIL	Filtración		Estabilización	NA
	Drenaje		Repavimentación	NA
	Protección			
	Separación	NA		

- Protección UV para prevenir daños durante la instalación y en las paredes si no se recubre apropiadamente.

c) Geotextil no tejido, (NT 200) para protección de la geomembrana y como medio drenante alternativo. Con las siguientes características técnicas:

	PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO
PROPIEDADES MECANICAS	Método Grab			
	Resistencia a la Tensión	ASTM D-4632	kN (lb)	(0,620)141
	Elongación	ASTM D-4632	%	> 50
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	kN (lb)	(0,280)64
	Resistencia al Punzamiento	ASTM D-4833	kN (lb)	(0,360)82
	Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	(1794)260
	Resistencia UV	ASTM D-4355	%/hrs	70/500

**Figura 4.2.** Especificaciones del geotextil no tejido (NT200).

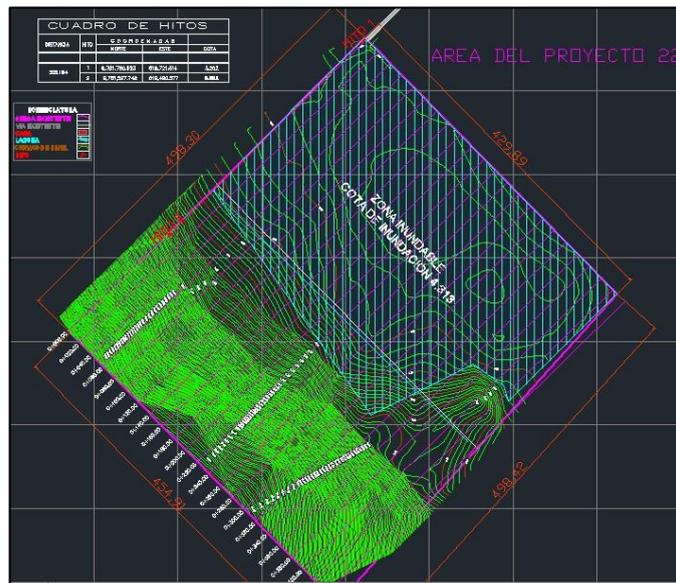
**Fuente:** Pavco Cía. Ltda.

- d) Capa de arena, de 0.20 m de espesor, a colocarse en dos capas sucesivas de 0.10 m.
- e) Capa de ripio, como medio drenante inicial, de 0.15 m de espesor.
- f) Los detalles de la capa de impermeabilización puede observarse en el Plano respectivo.

#### **4.10 Manejo de escorrentía superficial**

El sitio seleccionado cuenta con dos espacios claramente diferenciados, hacia la parte noreste se encuentra una zona prácticamente plana, mientras que hacia el suroeste se cuenta con una zona inclinada, hacia el noreste, con una pendiente promedio del 15%; las cotas en el sitio varían de 3 a 40 msnm.

Justamente la zona inclinada es la seleccionada para implantar el nuevo relleno sanitario a futuro.



**Figura 4.3.** Topografía del sitio del relleno sanitario.

**Fuente:** Reyes Ochoa E., 2014

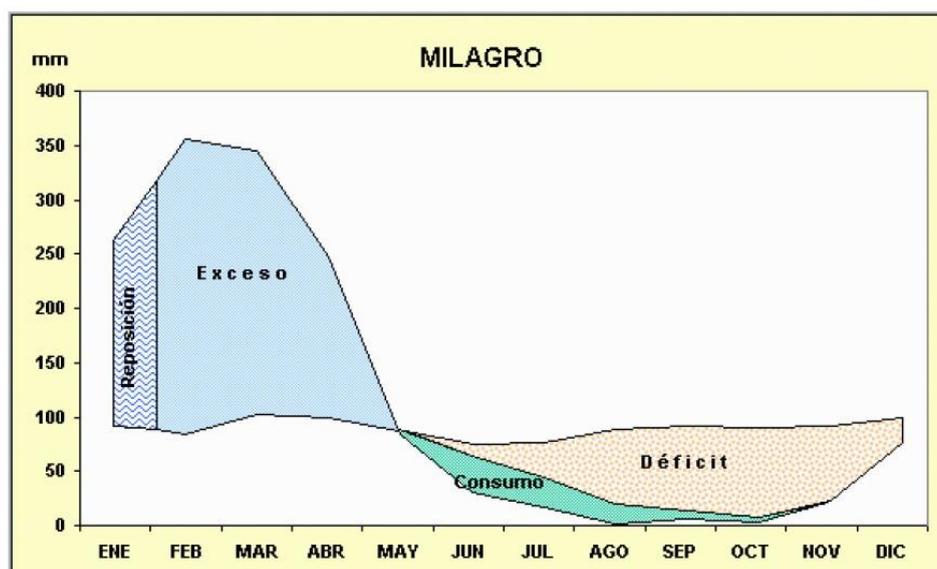
Para manejar la escorrentía superficial se ha diseñado un sistema de cunetas que garantizarán evitar que las aguas lluvias ingresen al cuerpo de la celda, desviando las mismas fuera de la celda.

Para el efecto se utiliza la información del siguiente cuadro, tomando en cuenta solamente la precipitación, sin considerar la evapotranspiración, lo que asegura contar con un margen de seguridad para el cálculo y dimensionamiento de esta obra.

**Tabla XI.** Datos Estación Meteorológica de Milagro – Provincia del Guayas

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Evapot. Potencial	95	87	104	101	90	75	78	89	92	91	93	100	1095
Precipitación (P-ETP)	262	354	343	246	84	31	19	2	8	4	24	77	1454
Sum (P-ETP)	167	267	239	145	-6	-44	-59	-87	-84	-87	-69	-23	359
					-6	-50	-	-196	-280	-367	436	495	
							109						
Almacenaje	100	100	100	100	94	60	33	13	6	2	1	1	610
Var. De Alm.	99	0	0	0	-6	-34	-27	-20	-7	-4	-1	0	99
Evapot. Real	95	87	104	101	90	65	46	22	15	8	25	77	735
Déficit de agua	0	0	0	0	0	10	32	67	77	83	68	23	360
Exceso de Agua	68	267	239	145	0	0	0	0	0	0	0	0	719
Escurrimiento	34	151	195	170	85	42	21	11	5	3	1	1	719
Humedad Total	134	251	295	270	179	102	54	24	11	5	2	2	1329

Fuente: Inhami

**Figura 4.4.** Balance hídrico estación Milagro.

Fuente: Inhami

**Tabla XII.** Datos promedio de precipitación, temperatura y evaporación.

<b>PROMEDIO</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>Total Anual</b>
<b>Precipitación Mensual (mm)</b>	229.7	436.8	394.6	227.3	80.0	17.2	10.5	1.6	6.3	2.8	25.5	63.4	1495.7
<b>Prec. Diaria Max (mm)</b>	67.3	95.5	92.8	58.9	30.3	9.7	7.8	0.4	2.0	1.4	5.8	21.6	95.5
<b>Temperatura media mensual</b>	26.3	26.2	26.8	26.9	26.4	25.0	24.3	24.1	24.5	24.7	25.1	26.2	25.5
<b>Evaporacion mensual (mm)</b>	114.4	97.2	120.0	121.5	108.5	89.9	87.8	96.7	106.4	109.6	110.4	122.2	1284.7
<b>Evap. Diaria max (mm)</b>	8.9	6.6	6.7	6.6	6.0	5.2	5.2	5.4	6.1	6.5	6.5	6.8	8.9

**Fuente:** Pagalo D., Idrovo K., 2017

**Tabla XIII.** Balance Hídrico según la estación de milagro.

mm	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	
<b>Precipitación</b>	229.7	436.8	394.6	227.3	80.0	17.18	10.50	1.55	6.31	2.78	25.54	63.4	1495.7
<b>Temperatura ( C )</b>	26.3	26.2	26.8	26.9	26.4	25.0	24.3	24.1	24.5	24.7	25.1	26.2	
<b>ETP</b>	134.81	120.16	144.80	143.35	138.60	113.24	105.39	102.28	103.96	109.41	111.79	130.01	
<b>P-ETP</b>	94.85	316.65	249.83	83.97	-58.58	-96.06	94.89	-100.73	97.65	106.63	86.25	66.57	
<b>ETR</b>	134.81	120.16	144.80	143.35	138.60	58.59	10.50	1.55	6.31	2.78	25.54	63.44	850.45
<b>A</b>	100	100	100	100	41.42	0	0	0	0	0	0	0	
<b>ΔA</b>	0	0	0	0	-58.58	-41.42	0	0	0	0	0	0	-100.0
<b>Excedente</b>	94.85	316.65	249.83	83.97	0	0	0	0	0	0	0	0	745.30
<b>Déficit</b>	0	0	0	0	0.00	54.65	94.89	100.73	97.65	106.63	86.25	66.57	
												<b>BH</b>	-100.0

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

Para el dimensionamiento de los drenes se utiliza el método de Wilkins, usualmente empleado para diseño de canales.

La ecuación de Wilkins, que considera la pendiente media del dren y la porosidad de un potencial medio granular, y es la siguiente:

$$V = 53.45P * Rh^{0.5} * J^{0.25}$$

Ecuación 1. Velocidad media del flujo, Wilkins

Donde:

V: Velocidad media de flujo, en cm/s,

P: Porosidad del medio granular, variable entre 0.40 y 0.50

Rh: Radio hidráulico del medio granular, en cm

J: Pendiente del dren, en m/m

El radio hidráulico del medio granular se lo calcula con la siguiente expresión:

$$R_h = \frac{P \cdot D_s}{6 \cdot (1 - P)}$$

Ecuación 2. Radio Hidráulico del medio granular

Donde:

$R_h$ : radio hidráulico, en cm

$D_s$ : Diámetro promedio del material granular

$P$ : Porosidad del medio granular (entre 0.40 y 0.50)

Asumiendo que el diámetro promedio de material granular ( $D_s$ ), es de 6.0 cm, entonces:

$$R_h = \frac{0.45 \cdot 6}{6 \cdot (1 - 0.45)}$$

$$R_h = 0.82 \text{ cm}$$

Reemplazando en la ecuación de Wilkins, tenemos:

$$V = 53.45 * 0.45 * 0.82^{0.5} * 0.015^{0.25}$$

La velocidad media de flujo será de  $V = 7.47976$  cm/s, o 0.0747976 m/s

El caudal de diseño Q es:

$$Q = 39,84 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{día} * 10,0 \text{ ha} = 389,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora, si:

$$Q = A * V$$

Ecuación 3. Continuidad

Donde:

Q: caudal, en m<sup>3</sup>/seg

A: Area del dren, en m<sup>2</sup>

V: Velocidad del flujo, en m/s

El área del dren será:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0.004611 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0747976 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.06165 \text{ m}^2 \text{ o } 616.5 \text{ cm}^2$$

El área del dren será de 616.5 cm<sup>2</sup>, equivalente a una sección cuadrada de 24.8 cm x 24.8 cm.

El drenaje será entonces de sección cuadrada, por lo menos de 25 cm x 25 cm de lado, la pendiente media del dren será del 1.5%.

Debido a que este drenaje será temporal, mientras se opera la celda emergente, se aprovechará la zanja de anclaje de la geomembrana para que funcione como cuneta para aguas lluvias, entonces el revestimiento será de este material y contendrá material granular de diámetro entre 5 a 10 cm de tipo redondeado, es decir sin ángulos que puedan punzonar y romper la geomembrana.

El sistema de drenaje de escorrentía superficial, ubicación y detalles constructivos, se encuentran en el plano “Drenaje de escorrentía superficial”.

#### **4.11 Zonas de Riegos**

El sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de Daule presenta gradientes, curvas, canales naturales de drenaje y poca afluencia vehicular y peatonal. No se han observado rasgos de inestabilidad del terreno por lo se pueden considerar como buenas condiciones de estabilidad.

#### **4.12 Ocupación actual del área de implantación**

El área actual es ocupada para pastizales, además existen áreas cercanas intervenidas por cultivos de arroz cuyo ciclo entre siembra y cosecha son a mediano plazo, se trabaja de forma artesanal en la mayoría de los casos.

#### **4.13 Pendiente y tipo de suelo**

El relieve del terreno mediante los estudios realizados se determinó que es semi plana, sin mayores variaciones altitudinales, proporcionando un relieve plano en su mayor parte, la altura promedio es de 16 msnm y zonas altas como el cerro Yolán,

prácticamente la mitad del terreno de 22 has (220.000 m<sup>2</sup>) se encuentra formando una planicie y la otra mitad es una ladera de la montaña o cerro.

## **CAPITULO 5**

### **Desarrollo de la alternativa seleccionada**

### **5.1 Recolección de muestra de lixiviado**

Se visitó las instalaciones del relleno sanitario de Daule con motivos de recoger una muestra de lixiviado de su piscina para su posterior envío a un laboratorio de agua donde se evaluarán los siguientes parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Totales
- Sólidos Suspendidos
- Oxígeno Disuelto
- Potencial de Hidrógeno (PH)

Las condiciones en que se recogió la muestra son las siguientes:

- Clima: Nublado
- Temperatura ambiente: 26°C
- Temperatura de lixiviado: 22°C
- Hora: 9:40 am
- Cantidad: 2 litros
- Material de Recipiente: Vidrio Ambar

**Tabla XIV.** Resultados de los ensayos de la muestra de lixiviado

	<b>DBO5 (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	<b>PH</b>
Muestra	510	1100	758000	640000	5.5

**Fuente:** Laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ing. Marítima, Espol.

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas y Recursos Naturales ubicado en el Campus Gustavo Galindo.

Los resultados fueron comparados con los valores de límite permisible de descargas a cuerpos de agua dulce del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS), Anexo 1.

**Tabla XV.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

	<b>DBO5 (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	<b>Temp. °C</b>	<b>PH</b>
Límite	100	250	1600	100	<35	5-9

**Fuente:** TULAS, anexo 1.

**Tabla XVI.** Datos típicos sobre la composición de los lixiviados.

Referen cial	DBO5 (mg/L)		DQO (mg/L)		Sólidos Suspendido s (mg/L)		PH	
	Ran go	Típi co	Ran go	Típi co	Ran go	Típi co	Ran go	Típi co
	2000	100	3000	180	200-	500	4.5-	6
	-	00	-	00	2000		7.5	
	3000		6000					
	0		0					

**Fuente:** Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

## 5.2 Cantidad de gas

Estimar la composición química y la cantidad de gas que puede derivarse de los constituyentes orgánicos en los residuos sólidos del cantón Daule.

Determinar la composición química y la cantidad de gas que puede derivarse de los constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente descomponibles en los residuos sólidos del cantón Daule que dan en la tabla XVII.

**Tabla XVII.** Peso inicial de los residuos domésticos.

RESIDUOS DOMESTICOS			
Orgánico		<b>kg</b>	<b>%</b>
	Restos de comida	34,92	73,19%

	Papel	1,76	3,69%
	Cartón	2,14	4,48%
	Plástico	2,27	4,75%
	Textil	1,03	2,16%
	<b>Total</b>	<b>42,11</b>	<b>88,26%</b>
	<b>orgánico</b>		
<b>Inorgánico</b>	Vidrio	5,08	10,65%
	Metales y pilas	0,52	1,08%
	<b>Total</b>	<b>5,60</b>	<b>11,74%</b>
	<b>Inorgánico</b>		
	<b>TOTAL (O+I)</b>	<b>47,71</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XVIII.** Datos típicos sobre contenidos de humedad para

Residuos domésticos.

TIPOS DE RESIDUOS DOMESTICOS	CONTENIDO EN HUMEDAD, PORCENTAJE EN PESO		
	RANGO		PROMEDIO
	MINIMO	MAXIMO	
<b>ORGANICOS</b>			
Residuos de Comida	50%	80%	65,0%
Papel	4%	10%	7,0%
Cartón	4%	8%	6,0%
Plástico	1%	4%	2,5%
Textil	6%	15%	10,5%
<b>INORGANICO</b>			
Vidrio	1%	4%	2,5%
Aluminio	2%	4%	3,0%

Fuente: Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

**Tabla XIX.** Peso seco de los residuos domésticos.

<b>RESIDUOS DOMÉSTICOS</b>	<b>PESO, KG</b>	<b>PORCENTAJE EN PESO</b>	<b>PESO SECO H MIN, KG</b>	<b>PESO SECO H MAX, KG</b>	<b>PESO SECO H MEDIO, KG</b>
<b>Orgánicos</b>					
Residuos de comida	34,92	74,80%	17,46	6,98	12,22
Papel	1,76	3,77%	1,69	1,58	1,64
Cartón	2,14	4,58%	2,05	1,97	2,01
Plástico	2,27	4,86%	2,24	2,18	2,21
Textil	1,03	2,16%	0,97	0,88	0,92
<b>Inorgánicos</b>					
Vidrio	5,08	10,89%	5,03	4,88	4,96
Aluminio	0,52	1,11%	0,51	0,50	0,50
<b>Total</b>	<b>47,71</b>	<b>100%</b>	<b>29,95</b>	<b>18,96</b>	<b>24,46</b>

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

### 5.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad de los residuos sólidos se puede expresar de dos formas. En el método de medición peso-húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. El primer método se usa más frecuentemente en el campo de la gestión de residuos sólidos, y en forma de ecuación, se expresa de la forma siguiente: (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994)

$$M = \left( \frac{w-d}{w} \right) * 100$$

**Ecuación 4. Contenido de Humedad**

Donde:

M= Contenido de humedad, porcentaje

w= Peso inicial de la muestra según la entrega (kg)

d= Peso de la muestra después de secarse a 105°C (kg)

**Contenido de humedad Min. De la muestra**

$$M = \frac{47,71 - 29,95}{47,71}$$

$$M = 37,23\%$$

**Contenido de humedad Max. De la muestra**

$$M = \frac{46,68 - 18,09}{46,68}$$

$$M = 60,26\%$$

**Contenido de humedad Medio de la muestra**

$$M = \frac{46,68 - 23,53}{46,68}$$

$$M = 48,74\%$$

### **Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos**

El contenido energético de los componentes orgánicos en los residuos sólidos urbanos se puede determinar de las siguientes maneras 1) utilizando una caldera a escala real como calorímetro 2) utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio y 3) por cálculo, si se conoce la composición elemental. Por las dificultades que existen para instrumentar una caldera a escala real, la mayoría de los datos sobre el contenido de energía de los componentes orgánicos de los residuos sólidos urbanos están basados en los resultados de ensayos con una bomba calorímetro. A continuación, se mencionarán algunos de los datos típicos del contenido energético de los componentes de los residuos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994)

**Tabla XX.** Datos típicos de los componentes combustibles en los RSU domésticos.

TIPOS DE RESIDUOS	PORCENTAJE EN PESO (BASE SECA)					
	CARBONO	HIDROGENO	OXIGENO	NITROGENO	AZUFRE	CENIZAS
<b>COMIDA Y PRODUCTOS DE COMIDA</b>						
Restos de Comida (Mezclados)	48,00%	6,40%	37,60%	2,60%	0,40%	5,00%

<b>PRODUCTOS DE PAPEL</b>						
Papel (mezclados)	43,40%	5,80%	44,30%	0,30%	0,20%	6,00%
Cartón	43,00%	5,90%	44,80%	0,30%	0,20%	5,00%
<b>Textiles</b>						
Textil	48,00%	6,40%	40,00%	2,20%	0,20%	3,20%

**Fuente:** Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

1. Construir una tabla de cálculos para determinar la distribución porcentual de los elementos más importantes que componen los residuos. A continuación, se presentan los cálculos necesarios para los constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente descomponibles. El contenido de los constituyentes se extrae de la siguiente tabla.

**Tabla XXI.** Distribución porcentual de los elementos más importantes que componen los residuos, contenido de humedad mínimo.

<b>CONTENIDO HUMEDAD MINIMA</b>								
<b>COMPONENTE</b>	<b>PESO HUMEDADO, KG</b>	<b>PESO SECO, KG</b>	<b>COMPOSICION, KG</b>					<b>CENIZAS</b>
			<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS RAPIDAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Restos de comida	34,92	17,46	8,38	1,12	6,56	0,45	0,07	0,87
Papel	1,76	1,69	0,73	0,10	0,75	0,00	0,003	0,10
Cartón	2,14	2,05	0,88	0,12	0,92	0,01	0,004	0,10

<b>Total</b>	<b>38,82</b>	<b>21,20</b>	<b>10,00</b>	<b>1,34</b>	<b>8,23</b>	<b>0,47</b>	<b>0,08</b>	<b>1,08</b>
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS LENTAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Textil	1,03	0,97	0,46	0,06	0,39	0,02	0,002	0,03
<b>Total</b>	<b>1,03</b>	<b>0,97</b>	<b>0,46</b>	<b>0,06</b>	<b>0,39</b>	<b>0,02</b>	<b>0,002</b>	<b>0,03</b>

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XXII.** Distribución porcentual de los elementos más importantes  
Que componen los residuos, contenido de humedad máxima.

<b>CONTENIDO HUMEDAD MAXIMA</b>								
<b>COMPONENTE</b>	<b>PESO HUMEDO, KG</b>	<b>PESO SECO, KG</b>	<b>COMPOSICION, KG</b>					<b>CENIZAS</b>
			<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS RAPIDAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Restos de comida	34,92	6,98	3,35	0,45	2,63	0,18	0,03	0,35
Papel	1,76	1,58	0,69	0,09	0,70	0,005	0,003	0,10
Cartón	2,14	1,97	0,85	0,12	0,88	0,01	0,004	0,10
<b>Total</b>	<b>38,82</b>	<b>10,53</b>	<b>4,89</b>	<b>0,65</b>	<b>4,21</b>	<b>0,19</b>	<b>0,04</b>	<b>0,54</b>
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS RAPIDAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Textil	1,03	0,88	0,42	0,06	0,35	0,02	0,002	0,03
<b>Total</b>	<b>1,03</b>	<b>0,88</b>	<b>0,42</b>	<b>0,06</b>	<b>0,35</b>	<b>0,02</b>	<b>0,002</b>	<b>0,03</b>

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XXIII.** Distribución porcentual de los elementos más importantes  
Que componen los residuos, contenido de humedad media.

<b>CONTENIDO HUMEDAD MEDIA</b>								
<b>COMPOSICION, KG</b>								

COMPONENTE	PESO HUMEDO, KG	PESO SECO, KG	C	H	O	N	S	CENIZAS
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS RAPIDAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Restos de comida	34,92	12,22	5,87	0,78	4,60	0,32	0,05	0,61
Papel	1,76	1,64	0,71	0,09	0,73	0,005	0,003	0,10
Cartón	2,14	2,01	0,86	0,12	0,90	0,01	0,004	0,10
<b>Total</b>	<b>38,82</b>	<b>15,87</b>	<b>7,44</b>	<b>1,00</b>	<b>6,22</b>	<b>0,33</b>	<b>0,06</b>	<b>0,81</b>
<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS LENTAMENTE DESCOMPONIBLES</b>								
Textil	1,03	0,92	0,44	0,06	0,37	0,02	0,002	0,03
<b>Total</b>	<b>1,03</b>	<b>0,92</b>	<b>0,44</b>	<b>0,06</b>	<b>0,37</b>	<b>0,02</b>	<b>0,002</b>	<b>0,03</b>

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

2. Calcular la composición molar de los elementos depreciando la ceniza.

**Tabla XXIV.** Composición molar del contenido de humedad mínima.

	C	H	O	N	S
<b>g/mol</b>	12,01	1,01	16	14,01	32,06
<b>Total moles</b>					
Rápidamente descomponible	0,8323	1,3232	0,5145	0,0332	0,0024
Lentamente descomponible	0,0387	0,0614	0,0242	0,0015	0,0001

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XXV.** Composición molar del contenido de humedad máxima.

	C	H	O	N	S
<b>g/mol</b>	12,01	1,01	16	14,01	32,06
<b>Total moles</b>					
Rápidamente descomponible	0,4067	0,6483	0,2630	0,0137	0,0011
Lentamente descomponible	0,0350	0,0555	0,0219	0,001375	0,0001

Fuente: Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XXVI.** Composición molar del contenido de humedad media.

	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>
<b>g/mol</b>	12,01	1,01	16	14,01	32,06
<b>Total moles</b>					
Rápidamente descomponible	0,6195	0,9858	0,3888	0,0235	0,0018
Lentamente descomponible	0,0368	0,0584	0,0230	0,001448	0,0001

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

3. Determinar una fórmula química aproximada sin azufre. Construir una tabla de cálculos para determinar las relaciones normalizadas mol.

**Tabla XXVII.** Relaciones normalizadas mol del  
Contenido de humedad mínima.

<b>COMPONENTE</b>	<b>RELACIÓN MOL (NITROGENO=1)</b>	
	<b>RÁPIDAMENTE DESCOMPONIBLE</b>	<b>LENTAMENTE DESCOMPONIBLE</b>
CARBONO	25,1	25,45
HIDRÓGENO	39,9	40,35
OXÍGENO	15,5	15,92
NITRÓGENO	1,0	1,00

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla XXVIII.** Relaciones normalizadas mol del  
Contenido de humedad máxima.

<b>COMPONENTE</b>	<b>RELACIÓN MOL (NITROGENO=1)</b>	
	<b>RÁPIDAMENTE DESCOMPONIBLE</b>	<b>LENTAMENTE DESCOMPONIBLE</b>
CARBONO	29,6	25,45
HIDRÓGENO	47,3	40,35
OXÍGENO	19,2	15,92
NITRÓGENO	1,0	1,00

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla XXIX.** Relaciones normalizadas mol del  
Contenido de humedad media.

COMPONENTE	RELACIÓN MOL (NITROGENO=1)	
	RÁPIDAMENTE DESCOMPONIBLE	LENTAMENTE DESCOMPONIBLE
CARBONO	26,4	25,45
HIDRÓGENO	42,0	40,35
OXÍGENO	16,6	15,92
NITRÓGENO	1,0	1,00

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

Las formulas químicas sin azufre son:

#### **Contenido de humedad mínima**

Rápidamente descomponible =  $C_{25,1}H_{39,9}O_{15,5}N$  (Utilizar

$C_{25}H_{40}O_{15}N$ )

Lentamente descomponible =  $C_{25,45}H_{40,35}O_{15,92}N$  (Utilizar

$C_{25}H_{39}O_{16}N$ )

#### **Contenido de humedad máxima**

Rápidamente descomponible =  $C_{29,6}H_{47,3}O_{19,2}N$  (Utilizar

$C_{30}H_{47}O_{19}N$ )

Lentamente descomponible =  $C_{25,45}H_{40,35}O_{15,92}N$  (Utilizar

$C_{25}H_{41}O_{17}N$ )

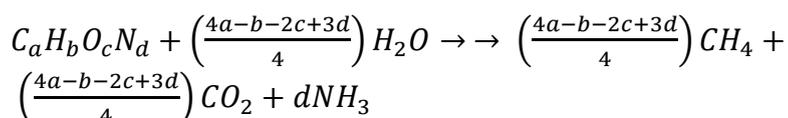
### Contenido de humedad media

Rápidamente descomponible =  $C_{26,4}H_{42,0}O_{16,6}N$  (Utilizar  $C_{26}H_{42}O_{17}N$ )

Lentamente descomponible =  $C_{25,45}H_{40,35}O_{15,92}N$  (Utilizar  $C_{25}H_{41}O_{17}N$ )

4. Estimar la cantidad de gas que puede derivarse de la composición rápida de los constituyentes orgánicos en los residuos sólidos urbanos.

El volumen de gases emitidos durante la descomposición anaeróbica puede estimarse de varias formas. Por ejemplo, si los constituyentes orgánicos individuales en los RSU (Residuos sólidos urbanos) con la excepción de los plásticos se representan de una forma generalizada con la fórmula  $C_aH_bO_cN_d$  entonces se puede estimar el volumen total del gas utilizando la Ecuación 5. Suponiendo la conversión completa de los residuos sólidos orgánicos biodegradables en  $CO_2$  y  $CH_4$ . (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994)

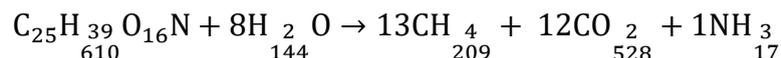


### Ecuación 5. Balance de energía

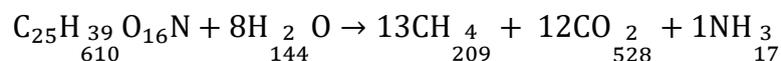
a) Utilizando la Ecuación 5. las ecuaciones resultantes son:

i. Contenido de Humedad mínima

Rápidamente descomponible

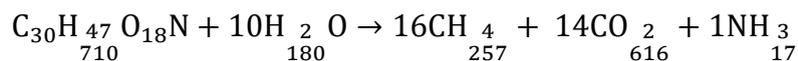


Lentamente descomponible

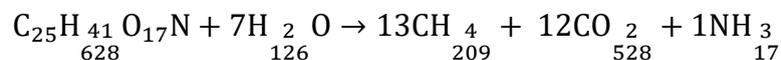


ii. Contenido de Humedad máxima

Rápidamente descomponible

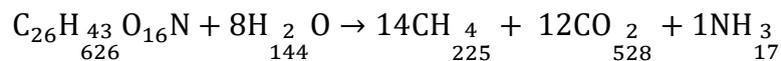


Lentamente descomponible

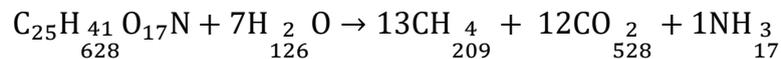


iii. Contenido de Humedad media

Rápidamente descomponible



Lentamente descomponible



b) Determinar el volumen de metano y dióxido de carbono

producido. Los pesos específicos del metano y del dióxido de

carbono son 0,717 y 1,978 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente (Ver Tabla 11.3

del libro Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994)

i. Contenido de Humedad mínima

Rápidamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(209,0)(21,20)}{(610,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 10,14 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(528,0)(21,20)}{(610,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 9,28 \text{ m}^3 \text{ N}$$

Lentamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(209,0)(0,97)}{(610,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 0,5 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(528,0)(0,97)}{(610,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 0,4 \text{ m}^3 \text{ N}$$

ii. Contenido de humedad máxima

Rápidamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(257,0)(10,53)}{(710,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 5,32 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(616,0)(10,53)}{(710,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 4,62 \text{ m}^3 \text{ N}$$

Lentamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(209,0)(0,88)}{(628,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 0,4 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(528,0)(0,88)}{(628,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 0,37 \text{ m}^3 \text{ N}$$

iii. Contenido de humedad media

Rápidamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(225,0)(15,87)}{(626,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 7,96 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(528,0)(15,87)}{(626,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 6,77 \text{ m}^3 \text{ N}$$

Lentamente descomponible

$$\text{Metano} = \frac{(209,0)(0,92)}{(628,0)(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 0,43 \text{ m}^3 \text{ N}$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(528,0)(0,92)}{(628,0)(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 0,39 \text{ m}^3 \text{ N}$$

c) Determinar la cantidad teórica total del gas generado por unidad en peso seco de la materia orgánica destruida.

i. Contenido de humedad mínima

Rápidamente descomponible

$$\text{vol/kg} = \frac{10,14\text{m}^3 + 9,28\text{m}^3}{21,20} = 0,92 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lentamente descomponible

$$\frac{\text{vol}}{\text{kg}} = \frac{0,5\text{m}^3 + 0,4\text{m}^3}{0,97} = 0,93 \text{ m}^3/\text{kg}$$

ii. Contenido de humedad máxima

Rápidamente descomponible

$$\text{vol/kg} = \frac{5,32\text{m}^3 + 4,62\text{m}^3}{10,53} = 0,94 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lentamente descomponible

$$\text{vol/kg} = \frac{0,4\text{m}^3 + 0,37\text{m}^3}{0,88} = 0,88 \text{ m}^3/\text{kg}$$

iii. Contenido de humedad media

Rápidamente descomponible

$$\text{vol/kg} = \frac{7,96 + 6,77}{15,87} = 0,93 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Lentamente descomponible

$$\text{vol/kg} = \frac{0,43\text{m}^3 + 0,39\text{m}^3}{0,92} = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg}$$

### **Generación de gas de vertedero**

Se determinará la distribución de la producción de gas para un vertedero de vida útil de 15 años basándose en las siguientes suposiciones:

1. Vida de vertedero = 15 años
2. La composición de los residuos es tal como se describe en la tabla XVII. para RSU domésticos del cantón Daule, de los que el 88,26 por 100 son orgánicos y el 11,74 por 100 inorgánicos.
3. La fracción orgánica (88,26 por 100) está compuesta por un 4,75 por 100 de plástico (considerado como inerte), un 81,35 por 100 de material rápidamente biodegradable y un 2,16 por 100 de material lentamente biodegradable. Los valores correspondientes para el material rápidamente y lentamente biodegradable basándose en el peso seco son 15,87 y 0,92 por 100 respectivamente.
4. De los residuos orgánicos rápidamente biodegradable, el 78,71 por 100 está disponible para la degradación (es decir, que algunos de los materiales residuales orgánicos que están en bolsas de plástico no serán degradados, parte del material estará demasiado seco como para soportar actividad biológica).
5. De los residuos orgánicos lentamente biodegradable, el 50 por 100 está disponible para la degradación (por las mismas razones citadas anteriormente).
6. La cantidad total de gas de vertedero producido por la fracción biodegradable de los materiales rápidamente y lentamente

biodegradables colocados cada año es de 0,93 y 0,89 m<sup>3</sup>/kg de sólidos secos, respectivamente.

7. El período de tiempo para la descomposición total del material orgánico rápidamente descomponible es 5 años.

8. El período de tiempo para la descomposición total del material orgánico Lentamente descomponible es 15 años.

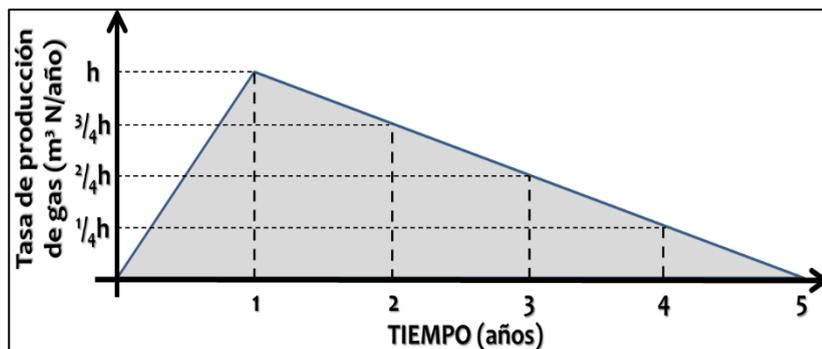
Suponer que la tasa de descomposición del material rápidamente y lentamente descomponible está basada en un modelo triangular de producción de gas donde la tasa más alta de producción de gas se produce el primer y el quinto año, respectivamente, después del comienzo de la producción de gas. Se supone que la producción de gas comienza al final del primer año de explotación.

### **Solución**

1. Determinar la cantidad de gas que se ha producido al final de cada año por kilogramo de material residual orgánico rápidamente y lentamente biodegradable cuando estos materiales se descomponen durante un periodo de cinco y quince años, respectivamente.

a) Residuos rápidamente biodegradables (RRB):

- i. Si se utiliza un modelo triangular de producción de gas, se puede ilustrar gráficamente la producción de gas durante un periodo de cinco años, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.1.** Producción de gas de los RRB.

**Fuente:** Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

- ii. Como el área del triángulo es igual a la mitad de la base multiplicada por la altura, la cantidad total de gas producido es igual a

Total de gas producido,  $m^3 = \frac{1}{2} (\text{base, año}) \cdot (\text{altura, tasa más alta de producción de gas, } m^3/\text{año})$

- iii. Si la cantidad total de gas producido por kg de RRB es igual a 0,93  $m^3$  y la fracción de desechos RB es de 0,125, entonces la tasa máxima de producción de gas por kg de residuos totales, generada al final del primer año en que se produce gas, es igual a

Tasa máxima de producción de gas por kg de residuos totales,

$$\text{m}^3/\text{año} = 0,93 \text{ m}^3 * 0,125 * (2/5 \text{ año})$$

$$= 0,046 \text{ m}^3/\text{año}$$

iv. La cantidad de gas producido durante el primer año en que se produce gas es igual a

Gas producido durante el primer año,  $\text{m}^3 =$

$$= \frac{1}{2} (1,0 \text{ año}) * (0,046 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,023 \text{ m}^3$$

v. La tasa de producción de gas durante el segundo año en que se produce gas es

Tasa de producción de gas,  $\text{m}^3/\text{año} =$

$$= \frac{3}{4} * (0,046 \text{ m}^3/\text{año})$$

$$= 0,035 \text{ m}^3/\text{año}$$

vi. La cantidad de gas producido durante el segundo año en que se produce gas es

Gas producido durante el segundo año =

$$= (0,046 \text{ m}^3/\text{año} + 0,035 \text{ m}^3/\text{año})/2$$

$$= 0,041 \text{ m}^3/\text{año}$$

vii. La tasa y la cantidad de gas producido durante el tercer, cuarto y quinto año se determina de forma similar.

**Tabla XXX.** Cantidades anuales de producción de gas.

<b>Final del año</b>	<b>Tasa de producción de gas, m<sup>3</sup>/año</b>	<b>Volumen de gas, m<sup>3</sup></b>
1	0,00	0,023
2	0,046	0,041
3	0,035	0,029
4	0,023	0,017
5	0,012	0,006
6	0,00	
<b>Total</b>		<b>0,116</b>

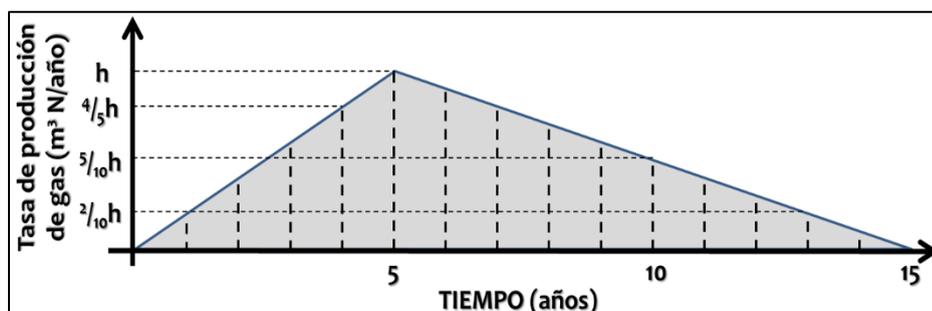
**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

b) Residuos lentamente biodegradables (RLB):

Determinar la cantidad de gas producido al final de cada año por kilogramo de material orgánico biodegradable lentamente

descomponible mientras se descompone durante un periodo de quince años.

i. Utilizando el modelo triangular de producción de gas, la producción de gas durante el periodo de quince años puede mostrarse gráficamente en la figura siguiente.



**Figura 5.2.** Producción de gas de los RLB.

**Fuente:** Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

ii. Si la cantidad de gas de gas producido por kilogramo de RLB es igual 0,89 y la fracción de desechos lentamente biodegradable es 0,005, entonces la tasa máxima de producción de gas es igual a

Tasa máxima de producción de gas, m<sup>3</sup>/año=

$$= 0,93 \text{ m}^3 \cdot 0,005 \cdot (2/15 \text{ año}) = 5,46\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{año}$$

iii. Tasa de producción de gas al final del primer año en que se produce gas es

$$\begin{aligned} \text{Tasa de producción de gas, m}^3/\text{año} &= \\ &= 1/5 * 5,46\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{año} = 1,09\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{año} \end{aligned}$$

iv. La cantidad de gas producido durante el primer año en que se produce gas es

$$\begin{aligned} \text{Gas producido durante el primer año, m}^3 &= \\ &= 1/2 (1,0 \text{ año}) * (1,09\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{año}) = 5,46\text{E-}05 \end{aligned}$$

v. La cantidad de gas producido durante el segundo año en que se produce gas es

$$\begin{aligned} \text{Gas producido durante el segundo año} &= \\ &= \{[(1,09\text{E-}04 \text{ m}^3/\text{año}) + (5,46\text{E-}04 * 2/5)] * 1,0 \text{ año}\} / 2 \\ &= 1,64 \text{ E-}04 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

vi. La cantidad de gas producido durante los trece años restantes se calcula de una forma similar.

**Tabla XXXI.** Cantidades anuales de  
Producción de gas.

<b>Final del año</b>	<b>Tasa de producción de gas, m3/año</b>	<b>Volumen de gas, m3</b>
1	0,00	5,46E-05
2	1,09E-04	1,64E-04
3	2,19E-04	2,73E-04
4	3,28E-04	3,83E-04
5	4,37E-04	4,92E-04
6	5,46E-04	5,19E-04
7	4,92E-04	4,65E-04
8	4,37E-04	4,10E-04
9	3,83E-04	3,55E-04
10	3,28E-04	3,01E-04
11	2,73E-04	2,46E-04
12	2,19E-04	

		1,91E-04
13	1,64E-04	
		1,37E-04
14	1,09E-04	
		8,20E-05
15	5,46E-05	
		2,73E-05
16	0,000	
<b>Total</b>	,	4,10E-03

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

2. Determinar el gas generado por residuos rápidamente y lentamente biodegradable basándose en los residuos totales.

Determinar la cantidad de gas producido al final de cada año por kilogramo de residuos totales mientras se descomponen durante un periodo de cinco años.

**Tabla XXXII.** Cantidad de gas producido por kg de residuos totales.

	<b>Rápidamente Biodegradable</b>		<b>Lentamente Biodegradable</b>		<b>Total (Rápido + Lento)</b>	
Fin al del año o	Tasa de generación m3/año	Volumen de gas, m3	Tasa de generación, m3/año	Volumen de gas, m3	Tasa de generación m3/año	Volumen de gas, m3
0	0,000		0,000		0,000	

		0,000		0,000		0,000
1	0,000		0,000		0,000	
		0,023		5,46E-05		2,32E-02
2	0,046		1,09E-04		4,61E-02	
		0,041		1,64E-04		4,07E-02
3	0,035		2,19E-04		3,52E-02	
		0,029		2,73E-04		2,92E-02
4	0,023		3,28E-04		2,33E-02	
		0,017		3,83E-04		1,78E-02
5	0,012		4,37E-04		1,24E-02	
		0,006		4,92E-04		6,29E-03
6	0,000		5,46E-04		5,46E-04	
		0,000		5,19E-04		5,19E-04
7	0,000		4,92E-04		4,92E-04	
				4,65E-04		4,65E-04

---

8	4,37E- 04	4,37E- 04		
			4,10E -04	4,10E -04
9	3,83E- 04	3,83E- 04		
			3,55E -04	3,55E -04
10	3,28E- 04	3,28E- 04		
			3,01E -04	3,01E -04
11	2,73E- 04	2,73E- 04		
			2,46E -04	2,46E -04
12	2,19E- 04	2,19E- 04		
			1,91E -04	1,91E -04
13	1,64E- 04	1,64E- 04		
			1,37E -04	1,37E -04
14	1,09E- 04	1,09E- 04		
			8,20E -05	8,20E -05

---

15	5,46E-05	5,46E-05	2,73E-05	2,73E-05
16	0,000	0,000		
<b>Total</b>				

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

3. Utilizando los datos de producción de gas determinados en el paso 2, preparar una tabla de cálculo para determinar la cantidad de gas producido. Suponer que en cada año se van a colocar cantidades iguales de residuos en el vertedero. La columna 1 representa el tiempo desde que los residuos fueron aceptados por primera vez en el vertedero. Las columnas anuales corresponden a la tasa total de producción de gas del material residual colocado en el año indicado.

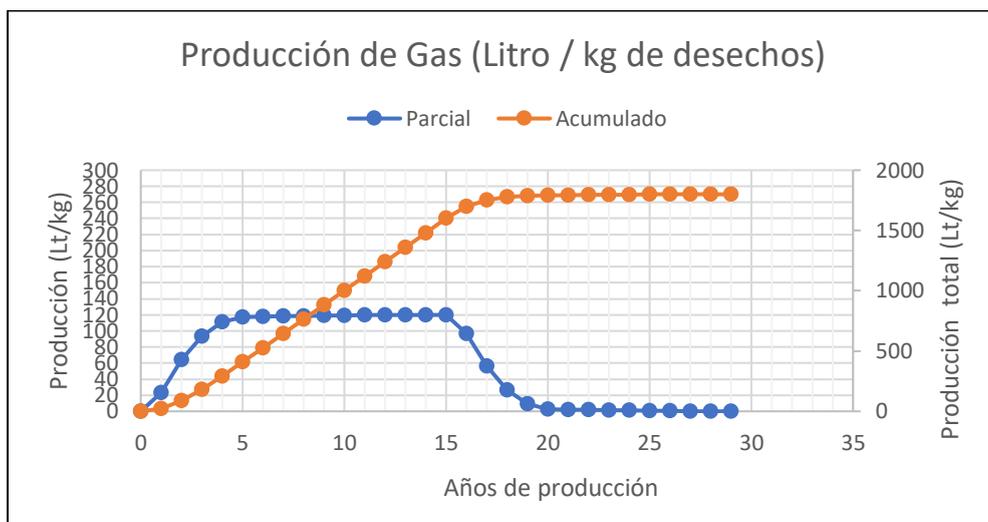




<b>AÑO</b>	<b>GAS PARCIAL (m3/kg basura)</b>	<b>GAS ACUMULADO (m3/kg basura)</b>	<b>GAS PARCIAL (L/ kg basura)</b>	<b>GAS ACUMULADO (L/kg basura)</b>
0	0	0	0	0
1	0,02323	0,02323	23,2	23,2
2	0,06394	0,08717	63,9	87,2
3	0,09318	0,18036	93,2	180,4
4	0,11095	0,29130	110,9	291,3
5	0,11723	0,40854	117,2	408,5
6	0,11775	0,52629	117,8	526,3
7	0,11822	0,64450	118,2	644,5
8	0,11863	0,76313	118,6	763,1
9	0,11898	0,88211	119,0	882,1
10	0,11928	1,00139	119,3	1001,4
11	0,11953	1,12092	119,5	1120,9
12	0,11972	1,24064	119,7	1240,6
13	0,11986	1,36049	119,9	1360,5
14	0,11994	1,48043	119,9	1480,4
15	0,11996	1,60039	120,0	1600,4
16	0,09674	1,69713	96,7	1697,1
17	0,05602	1,75315	56,0	1753,1
18	0,02678	1,77993	26,8	1779,9
19	0,00902	1,78895	9,0	1788,9
20	0,00273	1,79168	2,7	1791,7
21	0,00221	1,79389	2,2	1793,9
22	0,00175	1,79564	1,7	1795,6
23	0,00134	1,79698	1,3	1797,0
24	0,00098	1,79796	1,0	1798,0
25	0,00068	1,79865	0,7	1798,6
26	0,00044	1,79908	0,4	1799,1
27	0,00025	1,79933	0,2	1799,3
28	0,00011	1,79944	0,1	1799,4
29	0,00003	1,79947	0,0	1799,5

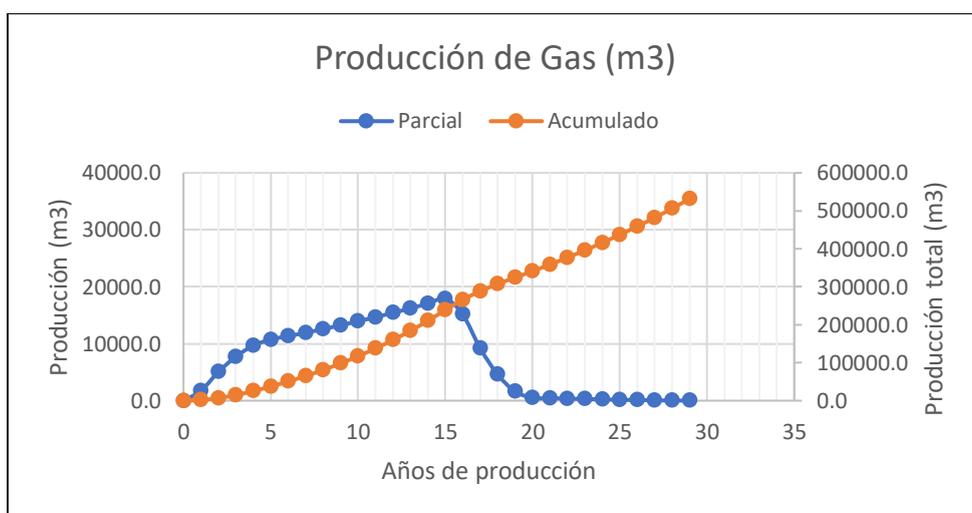
<b>Año</b>	<b>Gas parcial x desecho (L)</b>	<b>Gas acum. x desecho (L)</b>	<b>Gas parcial x desecho (m3)</b>	<b>Gas acum. x desecho (m3)</b>
0	0,00	0,00	0,0	0,0
1	1749985,10	1749985,10	1750,0	1750,0
2	5058485,82	6895970,18	5058,5	6896,0
3	7740130,44	14980899,13	7740,1	14980,9
4	9676295,53	25406239,62	9676,3	25406,2
5	10735679,14	37412230,73	10735,7	37412,2
6	11322382,98	50605225,25	11322,4	50605,2
7	11935400,55	65070887,06	11935,4	65070,9
8	12575620,58	80900051,99	12575,6	80900,1
9	13243941,11	98188995,70	13243,9	98189,0
10	13941267,50	117039712,98	13941,3	117039,7
11	14668510,16	137560208,79	14668,5	137560,2
12	15426582,09	159864801,32	15426,6	159864,8
13	16216396,00	184074437,38	16216,4	184074,4
14	17038861,24	210317020,49	17038,9	210317,0
15	17894880,20	238727751,71	17894,9	238727,8
16	15151530,87	265815670,17	15151,5	265815,7
17	9212876,69	288319330,37	9212,9	288319,3
18	4624385,40	307359682,29	4624,4	307359,7
19	1635015,28	324362681,68	1635,0	324362,7
20	520199,78	341101015,55	520,2	341101,0
21	442429,91	358598496,24	442,4	358598,5
22	367052,96	376895474,01	367,1	376895,5
23	295076,17	396035323,89	295,1	396035,3
24	227630,19	416064720,27	227,6	416064,7
25	165980,35	437033936,63	166,0	437033,9
26	111538,79	458997172,26	111,5	458997,2
27	65877,60	482012908,47	65,9	482012,9
28	30742,88	506144296,77	30,7	506144,3
29	8070,01	531459581,62	8,1	531459,6

4. Preparar un cuadro de las tasas de producción total anual y de la cantidad acumulativa de gas producido de los RRB y RLB colocados en el vertedero durante un periodo de 5 años.



**Figura 5.3.** Gas producido en litro/kg de desechos.

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017



**Figura 5.4.** Gas producido m3.

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

#### 5.4 Producción de lixiviado en el vertedero de Daule

El volumen de lixiviado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

1. Precipitación pluvial en el área del relleno.
2. Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
3. Evapotranspiración.
4. Humedad natural.
5. Grado de compactación.
6. Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los desechos para retener humedad).

Como existen algunos datos con los que no se cuenta y dado las condiciones en las que se encontró los botaderos, se ha considerado que para estimar la cantidad de lixiviados, el método suizo es una buena aproximación mediante la ecuación:

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

**Ecuación 6.** Caudal medio de lixiviado o líquido percolado. Método Suizo

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/s),

$P$  = Precipitación media mensual (mm/mes) e igual a 436,8 mm/mes

$A$  = Área superficial del relleno ( $m^2$ ), en función del área de aporte de cada trinchera

$t$  = Número de segundos en un mes (2.419.200 s/mes)

$K$  = Coeficiente que depende del grado de compactación de los desechos sólidos

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7  $t/m^3$ , se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% ( $k = 0,25$  a  $0,50$ ) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico  $> 0,7$   $t/m^3$ , se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% ( $k = 0,15$  a  $0,25$ ) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

En el caso de Daule, con una compactación de 800  $kg/m^3$  se ha tomado 20%

**Tabla XXXIII.** Estimación de volumen de lixiviados, Lt/s.

Numero de trinchera	Área	Q Lt/s
Trinchera 1	14747,62	0,533
Trinchera 2	20471,74	0,739
Trinchera 3	18511,93	0,668

Trinchera 4	14535,47	0,525
<b>Total</b>	<b>68266,76</b>	<b>2,47</b>

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla XXXIV.** Estimación de volumen de lixiviados, m3.

<b>Numero de trinchera</b>	<b>Área</b>	<b>Q m3/dia</b>
Trinchera 1	14747,62	46,01
Trinchera 2	20471,74	63,87
Trinchera 3	18511,93	57,76
Trinchera 4	14535,47	45,35
<b>Total</b>	<b>68266,76</b>	<b>213,00</b>

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Sin embargo, y sobre la base de las observaciones realizadas en varios rellenos pequeños, se ha encontrado que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente durante los periodos de lluvias y unos cuantos días después, y se interrumpe durante los periodos secos. Por tal razón, se ha creído conveniente una adaptación de este método de cálculo para calcular la generación del lixiviado en función de la precipitación del mes más lluvioso y no de todo el año, por tanto el mes de febrero ha sido considerado de acuerdo a las precipitaciones de 1990 al 2012 para Daule utilizando la estación meteorológica de Milagro.

## 5.5 Drenaje de lixiviados

Para el cálculo del diámetro de las tuberías para la recolección del lixiviado de las diferentes trincheras se utilizó la fórmula de Manning adaptada para secciones circulares parcialmente llenas.

$$Q = \frac{D^{8/3}}{n} * K * S^{1/2}$$

**Ecuación 7.** Manning sección circular parcialmente llena en términos de caudal.

, donde:

Q= Caudal del lixiviado producido en m<sup>3</sup>/s

n= Coeficiente de rugosidad del material

D= Diámetro de la tubería, m

K= Coeficiente de la relación d/D dependiendo del % de llenado

S= Pendiente

Los caudales de las diferentes trincheras se presentan a continuación:

**Tabla XXXV.**  
Estimación de caudales  
en m<sup>3</sup>/s.

	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
Trinchera 1	0.0005326
Trinchera 2	0.0007393

Trinchera 3	0.0006685
Trinchera 4	0.0005249

**Fuente:** Idrovo, K.,  
Pagalo, D., 2017.

La pendiente utilizada será de 3% para asegurar el descenso por gravedad de los lixiviados hasta sus respectivas piscinas.

El coeficiente de Manning depende del material de la tubería a utilizar, en este caso será policloruro de vinilo (PVC) que cuenta con un valor óptimo de 0.009.

El valor K para los cálculos realizados fue de 0.061 representando una tubería de sección circular a un 30% de llenado para las tuberías principales de cada trinchera y la unión de 2 de ellas por efecto de facilidad y empleo de las ecuaciones.

Una vez empleado las fórmulas se determinó el diámetro de cada una de las tuberías principales que transportaran los lixiviados producidos en cada trinchera hasta sus piscinas correspondientes, cabe mencionar que más adelante se detallan el cálculo de diámetros de las tuberías que estarán ubicadas de forma de espina de pescado en la extensión del relleno.

**Tabla XXXVI.** Diámetro de las tuberías principales.

	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>D utilizado (mm)</b>	<b>D utilizado (pulg)</b>
Trinchera 1	0.0558	55.8	100	4
Trinchera 2	0.0630	63.0	100	4
Trinchera 3	0.0607	60.7	100	4
Trinchera 4	0.0555	55.5	100	4

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Dado que a la piscina llegara una sola tubería, es decir existirá un punto antes de llegar donde las tuberías de 2 trincheras se unirán. Basándose que la tubería trabajara al 30% de su diámetro total, se garantiza una amplia capacidad de drenaje de líquidos, no se requiere sobredimensionamiento por motivo de aumento de costos se usa el diámetro mínimo para aguas residuales.

**Tabla XXXVII.** Diámetro de tuberías desde el punto de Unión hasta las piscinas.

	<b>D utilizado (mm)</b>	<b>D utilizado (pulg)</b>
Trinchera 1 y 2	100	4
Trinchera 3 y 4	100	4

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

## 5.6 Forma de Irrigación

La manera propuesta de enviar los lixiviados hacia el relleno para realizar la recirculación es a través de aspersores que estarán distribuidos sobre la superficie de la misma, cabe mencionar que dichos dispositivos no abarcan toda la extensión del relleno con el fin de no saturar el sitio creando charcos que retrasaran el proceso.

**Tabla XXXVIII.** Numero de aspersores colocados en cada trinchera.

	<b>Aspersores</b>
Trinchera 1	8
Trinchera 2	10
Trinchera 3	12
Trinchera 4	9

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

El procedimiento fue escoger dispositivos que cubran una considerable distancia de riego con una boquilla de dimensiones por la cual no se tapone por los lixiviados debido a su viscosidad, pero por efecto de facilidad y rapidez se consideró la viscosidad del lixiviado igual a la del agua. De tal forma con las especificaciones del aspersor elegido se procedió a calcular la potencia de la bomba necesaria para realizar dicho riego y cumplir con el tiempo de funcionamiento necesario para esparcir el lixiviado sin saturar el sitio

considerando: la presencia de lluvias, evaporación, permeabilidad del suelo, caudal de los aspersores para trabajar de manera eficiente.

#### Especificaciones del Aspersor

Aspersor de impacto Senninger Serie 70

#### Características:

Modelo de boquilla simple y doble

Resorte de acero inoxidable y eje de articulación acotado se resisten a la contaminación

Construido en termoplástico de alto impacto para resistencia a la degradación química, acumulación de sarro y efectos de rayos ultra violeta (UV)

Vena para efluentes minimizan el taponamiento causado por materiales de origen hídrico

Boquilla de 5.56mm de diámetro

Caudal 1842 litros/hora

Diámetro de cobertura de riego a una altura de 0.46m: 32.3 m

Garantía de 5 años que el diámetro de la boquilla no será alterado

Conexión macho de 1" rosca cónica americana (NPT) y 1" rosca cónica inglesa (BSPT)

Altura de chorro de 2.6 m



**Figura 5.5.** Aspersor de impacto Senninger Serie 70.

**Fuente:** Senninger Irrigation Inc.

Se calculó el área que cubre cada aspersor utilizando el diámetro de cobertura que posee y empleando la fórmula para el área de un círculo obteniendo un valor de 819.4 m<sup>2</sup>. Del mismo modo se puede obtener el área que abarca todos los aspersores en cada una de las trincheras.

**Tabla XXXIX.** Área de cobertura de riego.

	<b>Aspersores</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>%</b>
		<b>trinchera</b>	<b>aspersores</b>	<b>Cobertura</b>
Trinchera 1	8	14747.62	6555.18	44%
Trinchera 2	10	20471.74	8193.98	40%
Trinchera 3	12	18511.93	9832.78	53%

Trinchera	9	14535.47	7374.58	51%
4				

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

El número de aspersores y por ende el porcentaje de cobertura es necesario para mantener un balance para el funcionamiento de los aspersores a través de bomba tanto en la estación lluviosa como en la seca. Se debe evitar encharcamiento en el sitio, así como controlar la cantidad de lixiviado a recircular para no superar el caudal de entrada y vaciar la piscina ya que de suceder la bomba estaría trabajando al vacío y eso no es recomendado porque afectaría su funcionamiento.

El caudal necesario que se debe aportar a cada trinchera para que los aspersores trabajen de manera eficiente se lo calcula con los datos antes mencionados como el caudal del aspersor que lo encontramos en la información que nos da el proveedor y el número de dispositivos que colocamos en cada trinchera.

**Tabla XL.** Caudal requerido para el funcionamiento  
De los aspersores.

	Q total	
	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>l/s</b>
Trinchera 1	14.736	4.09
Trinchera 2	18.42	5.12
Trinchera 3	22.104	6.14

Trinchera 4	16.578	4.61
-------------	--------	------

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Para saber el tiempo de funcionamiento de los aspersores se debe considerar los meses donde exista mayor y menor precipitación con su correspondiente valor de evaporación, donde dicho valor es por lo general mayor entre los meses de junio a noviembre. En esos meses nuestro sistema de recirculación es más efectivo debido a la considerable cantidad de líquido que se evapora reduciendo así uno de los mayores contaminantes producidos en un relleno sanitario, lixiviados.

**Tabla XLI.** Precipitación mínima y máxima mensual.

Precipitación min (mes) (mm)		Precipitación max (mes) (mm)	
1.6	Agosto	436.8	Febrero
Evaporación (mes) (mm)		Evaporación (mes) (mm)	
96.7	Agosto	97.2	Febrero

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla XLII.** Precipitación mínima y máxima en 24 horas.

Precipitación min (24hr) (mm)		Precipitación max (24hr) (mm)	
0.4	Agosto	95.5	Febrero
Evaporación (24hr) (mm)		Evaporación (24hr) (mm)	
5.4	Agosto	6.6	Febrero

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Además, consideramos la permeabilidad del suelo que se presenta en el sitio, dicha cifra la obtuvimos de la tabla que se presenta a continuación, donde nos propone valores de permeabilidad para distintos tipos de suelo. Es importante conocer la cantidad de absorción de nuestro suelo para determinar el tiempo y periodo de funcionamiento de los aspersores.

**Tabla XLIII.** Coeficientes típicos de permeabilidad para varios suelos.

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de permeabilidad, K</b>	
	<b>m/d</b>	<b>l/m<sup>2</sup>.d</b>
Arena gruesa uniforme	406	405779
Arena mediana uniforme	100	101343
Arena y grava bien graduadas y limpias	100	101343
Arena fina y uniforme	4	4074
Arena de lodo y grava bien graduadas	0.4	392
Arena de lodo	0.1	89.54
Lodo uniforme	0.04	48.84

Arcilla arenosa	0.004	4.8
Arcilla de lodo	10-4	8.9*10-2
Arcilla (tamaños de arcilla del 30 al 50%)	10-5	8.9*10-3
Arcilla coloidal	10-6	8.9*10-5

**Fuente:** Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994.

Para nuestro caso de estudio, el sitio esta mayormente conformado por arcilla arenosa cuyo valor de permeabilidad de acuerdo con la tabla es de 0.004m/día o 4mm/día. Esa cantidad corresponde a nuestro valor máximo de altura de agua que se puede rociar por día para evitar saturación.

Con el caudal y el área de cobertura que tiene el aspersor se obtuvo la altura que aporta este dispositivo cuando está en funcionamiento y ese valor es de 2.25 mm/hora. Con estos datos presentados podemos determinar el tiempo de funcionamiento del aspersor y por ende el de la bomba, cabe destacar que la altura de precipitación ya está considerada como filtración en el cálculo de lixiviados pero debido a redundancias se consideró un 20% de esta

Al momento de determinar el tiempo de funcionamiento se debe tener en cuenta que el volumen de salida no debe superar al de

entrada, en especial en época secas, porque eso haría que la bomba que se verá más adelante este trabajando al vacío y presentaría problemas de mantenimiento. Tomando en cuenta estas consideraciones da como resultado la tabla siguiente donde se consideró los meses de febrero y agosto que son valores extremos, estos valores son iguales para la piscina 1 y 2.

**Tabla XLIV.** Determinación de tiempo y periodo de aspersión.

	Precip. (lt/m <sup>2</sup> )	Evap. (lt/m <sup>2</sup> )	hprec. (mm)	Hpre. Usado (mm)	hevap. (mm)	Hevap. Usado (mm)	tasp. (hr)	Tasp usado (hr)	Periodo (d)	Periodo usado (d)
Febrero	95.5	6.6	95.5	19.1	6.6	5	2.9	4	4.8	5
Agosto	0.4	5.4	0.4	0.1	5.4	5	2.6	2	1.0	3

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

La altura de evaporación utilizado es considerando la situación más desfavorable con un menor valor por cuestiones de dimensionamiento de las piscinas que se verá más adelante. Con los datos mostrados en la tabla anterior se halló el volumen de agua que caerá como lluvia afectando la saturación del sitio y las cantidades de lixiviado que se espera que se evapore en el periodo establecido.

**Tabla XLV.** Evaporación esperada de cada trinchera

	Mes	Evap (mm)	Evap total (m3)	Periodo (d)
Trinchera 1	Febrero	5mm	32.5	5
	Agosto	5mm	32.5	3
Trinchera 2	Febrero	5mm	40.7	5
	Agosto	5mm	40.7	3
Trinchera 3	Febrero	5mm	48.8	5
	Agosto	5mm	48.8	3
Trinchera 4	Febrero	5mm	36.6	5
	Agosto	5mm	36.6	3

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Para los meses secos el periodo pudo haber sido de 1 día, es decir tener un riego diario, pero al hacer esto la altura de lixiviado en la piscina diseñada sería muy baja por debajo de la tubería de succión instalada haciendo que la bomba trabaje al vacío. Para evitar esta situación se realizará la irrigación en los meses secos cada tres días de tal manera que los lixiviados tendrán la altura necesaria y suficiente para poder ser bombeada.

### 5.7 Cálculo potencia de la bomba

Para el cálculo de la potencia de la bomba se necesita saber las cotas mínimas y máximas que existen entre el punto de recolección hasta el de entrega, en otras palabras, la altura desde el punto bajo de la piscina hasta el más alto en donde se encontraran los aspersores considerando que la altura máxima se da cuando el

relleno sanitario está cerca de su totalidad de almacenamiento para el cual ya había sido diseñado como es el caso de 10m de altura.

**Tabla XLVI.** Alturas máximas y mínimas de transporte

Piscina 1 (T1 y T2)	
<b>Cota Min (m)</b>	9
Piscina 2 (T3 y T4)	
<b>Cota Min (m)</b>	9
Trincheras 1	
<b>Cota max (m)</b>	21
Trincheras 2	
<b>Cota max (m)</b>	27
Trincheras 3	
<b>Cota max (m)</b>	21
Trincheras 4	
<b>Cota max (m)</b>	21

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

La fórmula empleada para el cálculo de la potencia de la bomba es la siguiente:

$$PH = \frac{FS * Ht * Q}{76 * n}$$

**Ecuación 8.** Potencia de bomba.

Donde:

FS= factor de seguridad que en este caso es 1.2

Q= gasto (lt/s); caudal que necesitan los aspersores, se colocarán 2 piscinas por donde se distribuirán 9.21 lt/s y 10.75 lt/s respectivamente en la piscina 1 y 2

Ht= Altura manométrica (m); consideraremos el desnivel existente entre los puntos de recolección de la piscina hasta la zona de aspersión, altura de trabajo del aspersor (0.46m), altura de chorro de agua (3m)

N= eficiencia de la bomba (%), usaremos un 65%

**Tabla XLVII.** Cálculo de la potencia de las bombas

Piscinas	Trinchera	Q (L/s)	Ht (m)	P (HP)	PH bomba utilizada
1	1 y 2	9.21	23.31	5.214	5.5
2	3 y 4	10.75	16.71	4.360	5.5

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### Especificaciones de la bomba



**Figura 5.6.** Electrobomba centrífuga sanitaria ECO-MAT 2/55.

**Fuente:** Bombas Hasa, 2013.

Aplicaciones:

Ideales para uso en instalaciones sanitarias

Materiales:

Cuerpo de bomba y turbina en acero inoxidable con acabado electropulido

Eje en acero inoxidable

Cierre mecánico según líquido circulante

Características Técnicas:

Bomba horizontal

Motor cerrado con ventilación externa

Protección IP-54 (protección completa contra contacto, protección contra sedimentaciones de polvo en el interior / Protegido contra agua pulverizada)

Temperatura máxima del agua de 100°C

Viscosidad máxima del fluido: 350 cPs

Aspiración máxima de 6 m con válvula de pie

Todos los motores monofásicos incorporan condensador y protección termoamperimétrica de rearme automático

Potencia: 5.5 HP

Diámetro de aspiración: 2 ½ "

Diámetro de impulsión: 2"

Caudal: 32 m<sup>3</sup>/h – 34 m<sup>3</sup>/h

Altura manométrica: 24 m - 19 m

### **5.8 Diseño de piscinas de almacenamiento**

De acuerdo con los cálculos realizados previamente, se obtuvo un periodo de 5 días en el cual el volumen de agua producto de las precipitaciones logra infiltrarse en el suelo; estos datos corresponden al mes de febrero donde presenta mayor cantidad de lluvias. Las piscinas se diseñaron para el caso más desfavorable para evitar desbordamientos de los lixiviados durante las épocas lluviosas, en el cálculo previo de tiempo de funcionamiento se consideró que se debe evitar el vaciado de la piscina en épocas secas y se presentara además el dimensionamiento de la piscina cuando las condiciones son ideales para fines didácticos.

Para el dimensionamiento se utiliza un balance de masa de los volúmenes de los líquidos que entran y salen de la piscina; en el momento del análisis se considera que la piscina se encuentra llena. Estos volúmenes por considerar en el balance son: volumen entrante de lixiviados proveniente del relleno sanitario, volumen de entrada en forma de lluvia, volumen de salida en forma de evaporación, volumen de salida de lixiviados para aspersión y volumen de salida debido a la infiltración del suelo; este último tendrá un valor de 0 debido a que se usó una geomembrana de 1 mm de

espesor. Adicional la altura de las piscinas será de 1 m debido a la presencia del nivel freático a 2 metros por debajo de la superficie del terreno; además, para el dimensionamiento de la piscina en condiciones desfavorables debido a que la lluvia no se distribuye de forma equitativa entre los días se utilizó el valor de precipitación de 1 mes.

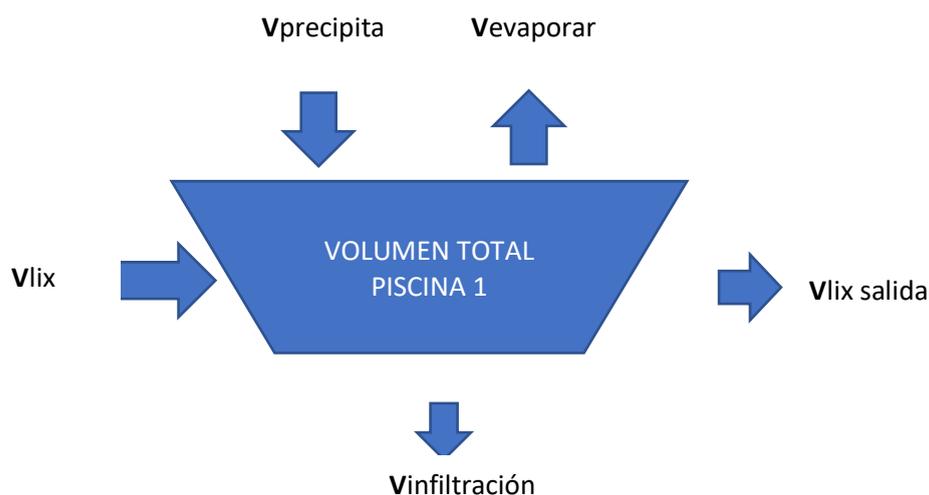
La geomembrana de polietileno de alta densidad (HSPE) de 1.0 mm de espesor, cumple con las siguientes características técnicas:

- Resistencia mínima a la tracción (ASTM D882, franja de 25mm) de 11 kN/m
- Resistencia mínima al punzonamiento (ASTM D4833) de 170 N
- Resistencia mínima al impacto (ASTM D 3993 mod) de 15J
- Resistencia mínima al rasgado (ASTM D 1004 C) de 67 N
- Resistencia mínima al agrietamiento bajo carga constante:
  - NTCL > 100 horas
  - SP-NTCL > 200 horas

- Protección UV para prevenir daños durante la instalación y en las paredes si no se recubre apropiadamente.

**Situación Desfavorable (mes de febrero con 5 días de retención)**

**Piscina 1 (Trinchera 1 y 2)**



$$\mathbf{Volumen\ total} = V_{ent} + V_{prec.} - V_{evap.} - V_{salida} - V_{inf.}$$

Donde:

$$V_{infiltración} = \mathbf{0\ m^3}$$

$$V_{precipitación} = 436.8 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.437 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.437\ m * A}$$

$$V_{\text{evaporación}} = 97.2 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.097 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.097 \text{ m} * A}$$

$$V_{\text{entrada lixiviado}} = 109.89 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 5 \text{ días} = \mathbf{549.43 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{salida lixiviado}} = 33.16 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 4 \text{ horas} = \mathbf{132.62 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{volumen total}} = A * h = A * 1.5\text{m} = \mathbf{1.5 \text{ m} * A}$$

$$\mathbf{Volumen total} = V_{\text{ent}} + V_{\text{prec.}} - V_{\text{evap.}} - V_{\text{salida}} - V_{\text{inf.}}$$

$$1.5 \text{ m} * A = 549.43 \text{ m}^3 + 0.437 \text{ m} * A - 0.097 \text{ m} * A - 132.62 \text{ m}^3 - 0 \text{ m}^3$$

$$1.5 \text{ m} * A - 0.437 \text{ m} * A + 0.097 \text{ m} * A = 549.43 \text{ m}^3 - 132.62 \text{ m}^3$$

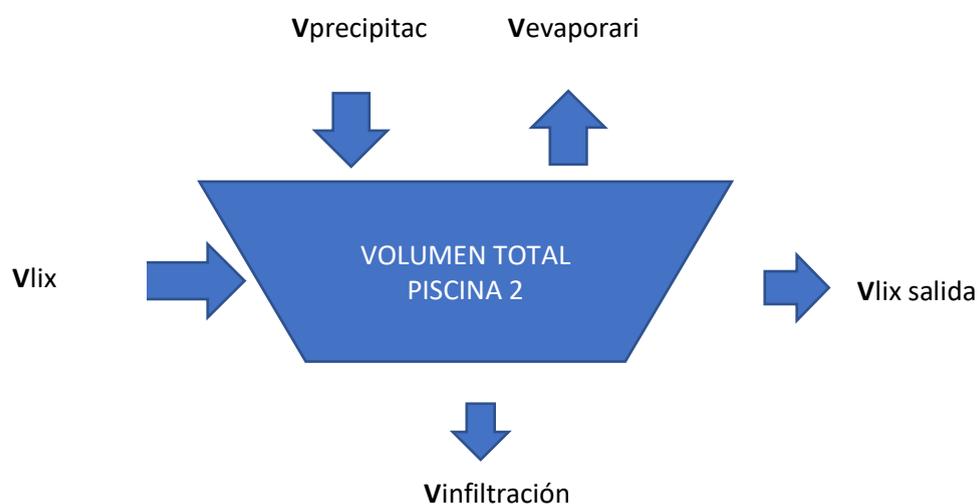
$$1.16 \text{ m} * A = 416.81 \text{ m}^3$$

$$A = 359.32 \text{ m}^2$$

$$V = 538.98 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Dimensiones de la piscina} = 15 \text{ m} * 25 \text{ m} * 1.5 \text{ m}$$

### Piscina 2 (Trinchera 3 y 4)



$$\mathbf{Volumen\ total} = V_{ent} + V_{prec.} - V_{evap.} - V_{salida} - V_{inf.}$$

, donde:

$$V_{infiltración} = \mathbf{0\ m^3}$$

$$V_{precipitación} = 436.8 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.437 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.437\ m * A}$$

$$V_{evaporación} = 97.2 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.097 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.097\ m * A}$$

$$V_{entrada\ lixiviado} = 103.11 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 5\ \text{dias} = \mathbf{515.55\ m^3}$$

$$V_{salida\ lixiviado} = 38.68 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 4\ \text{horas} = \mathbf{154.73\ m^3}$$

$$V_{olumen\ total} = A * h = A * 1.5\text{m} = \mathbf{1.5\ m * A}$$

$$\mathbf{Volumen\ total} = V_{ent} + V_{prec.} - V_{evap.} - V_{salida} - V_{inf.}$$

$$1.5\ \text{m} * A = 515.55\ \text{m}^3 + 0.437\ \text{m} * A - 0.097\ \text{m} * A - 154.73\ \text{m}^3$$

$$- 0\ \text{m}^3$$

$$1.5\ \text{m} * A - 0.437\ \text{m} * A + 0.097\ \text{m} * A = 515.55\ \text{m}^3 - 154.73\ \text{m}^3$$

$$1.16\ \text{m} * A = 360.82\ \text{m}^3$$

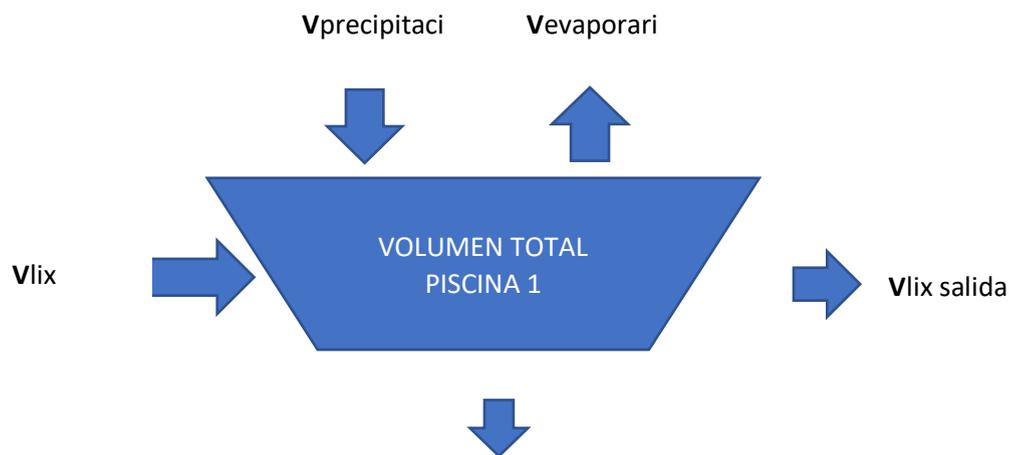
$$A = 311.05\ \text{m}^2$$

$$V = 466.57\ \text{m}^3$$

$$\mathbf{Dimensiones\ de\ la\ piscina} = 13\ \text{m} * 25\ \text{m} * 1.5\ \text{m}$$

### Situación óptima (mes de agosto con un 1 día de retención)

#### Piscina 1 (Trinchera 1 y 2)



$$\mathbf{Volumen\ total} = V_{ent} + V_{infiltraci} \quad vap. - V_{salida} - V_{inf.}$$

, donde:

$$V_{infiltración} = \mathbf{0\ m^3}$$

$$V_{precipitación} = 0.4 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.0004 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.0004\ m * A}$$

$$V_{evaporación} = 5.4 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.0054 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.0054\ m * A}$$

$$V_{entrada\ lixiviado} = 109.89 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 3\ \text{dias} = \mathbf{329.66\ m^3}$$

$$V_{salida\ lixiviado} = 33.16 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 2\ \text{horas} = \mathbf{66.31\ m^3}$$

$$Volumen\ total = A * h = A * 1.5\text{m} = \mathbf{1.5\ m * A}$$

$$\mathbf{Volumen\ total} = V_{ent} + V_{prec.} - V_{evap.} - V_{salida} - V_{inf.}$$

$$1.5 \text{ m} * A = 329.66 \text{ m}^3 + 0.0004 \text{ m} * A - 0.0054 \text{ m} * A - 66.31 \text{ m}^3 - 0 \text{ m}^3$$

$$1.5 \text{ m} * A - 0.0004 \text{ m} * A + 0.0054 \text{ m} * A = 329.66 \text{ m}^3 - 66.31 \text{ m}^3$$

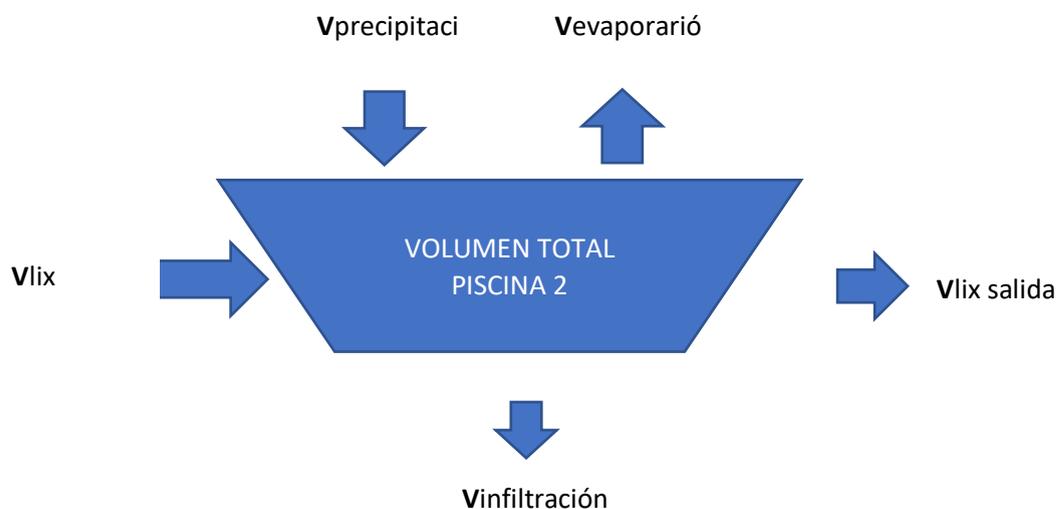
$$1.505 \text{ m} * A = 263.35 \text{ m}^3$$

$$A = 174.98 \text{ m}^2$$

$$V = 262.47 \text{ m}^3$$

**Dimensiones de la piscina = 12 m \* 15 m \* 1.5 m**

### Piscina 2 (Trinchera 3 y 4)



$$\text{Volumen total} = V_{\text{ent}} + V_{\text{prec.}} - V_{\text{evap.}} - V_{\text{salida}} - V_{\text{inf.}}$$

, donde:

$$V_{\text{infiltración}} = \mathbf{0 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{precipitación}} = 0.4 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.0004 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.0004 \text{ m} * A}$$

$$V_{\text{evaporación}} = 5.4 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * A = 0.0054 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * A = \mathbf{0.0054 \text{ m} * A}$$

$$V_{\text{entrada lixiviado}} = 103.11 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 3 \text{ dias} = \mathbf{309.33 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{salida lixiviado}} = 38.68 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 2 \text{ horas} = \mathbf{77.36 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{volumen total}} = A * h = A * 1.5\text{m} = \mathbf{1.5 \text{ m} * A}$$

$$\mathbf{Volumen total} = V_{\text{ent}} + V_{\text{prec.}} - V_{\text{evap.}} - V_{\text{salida}} - V_{\text{inf.}}$$

$$1.5 \text{ m} * A = 309.33 \text{ m}^3 + 0.0004 \text{ m} * A - 0.0054 \text{ m} * A - 77.36 \text{ m}^3 \\ - 0 \text{ m}^3$$

$$1.5 \text{ m} * A - 0.0004 \text{ m} * A + 0.0054 \text{ m} * A = 309.33 \text{ m}^3 - 77.36 \text{ m}^3$$

$$1.505 \text{ m} * A = 231.97 \text{ m}^3$$

$$A = 154.13 \text{ m}^2$$

$$V = 231.19 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Dimensiones de la piscina} = 8 \text{ m} * 12 \text{ m} * 1.5 \text{ m}$$

## 5.9 Resumen de las piscinas

Una vez obtenido las dimensiones de ambas piscinas bajo las 2 condiciones extremas: crítica y óptima; se elige aquella con mayores dimensiones para evitar desbordamientos en los meses de lluvia. Adicional como factor de seguridad se le agregó 10 cm

adicionales a la altura de la piscina como borde libre por cualquier anomalía que pueda suceder dando un incremento en el volumen de lixiviado almacenado en las piscinas.

Con las dimensiones escogidas se garantiza que la altura promedio que alcanza los lixiviados en época seca es aproximadamente de 75 cm que es lo suficiente para mantener en funcionamiento la bomba.

**Tabla XLVIII.** Dimensiones de las piscinas

		<b>Ancho</b>	<b>Largo</b>	<b>Altura</b>	<b>Talud</b>	<b>Área</b>	<b>Volumen</b>
		<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>		<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m<sup>3</sup>)</b>
Piscina 1	Trinchera 1 y 2	15	25	1.60	1:1	375	600
Piscina 2	Trinchera 3 y 4	13	25	1.60	1:1	325	520

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.10 Tuberías de recolección

Para el diseño de las tuberías recolectoras se empleó el mismo criterio de Manning para secciones circulares parcialmente llenas; debido a su función estas tuberías poseen orificios en toda su extensión con la finalidad de atraer la mayor cantidad posible de líquidos en la superficie que le corresponda para posteriormente

enviarla a la red principal de cada trinchera que finalmente llegará a su respectiva piscina.

Con el valor de caudal que tenemos para cada trinchera se procede a dividirlo para el área total de la misma de modo que obtenemos un caudal por cada metro cuadrado de la trinchera que se usará para el dimensionamiento de las tuberías colectoras. Se ubican las tuberías en el relleno dependiendo a la topografía del sitio y se designa un área parcial del relleno que recolectará cada tubería; esa área designada se la multiplica por el caudal por metro cuadrado anterior y obtenemos el caudal para su diseño.

**Tabla XLIX.** Diámetro de las tuberías

Trinchera	Qlix	Qparcial	A	Q	Diámetro Fórmula		Diámetro Usado		
	m <sup>3</sup> /d	(m <sup>3</sup> /d/ m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	(m <sup>3</sup> / d)	m	mm	mm	"	
T1	46.01	0.0031 2	A 206	6.5	0.0267	26.7	100	4	
			1 7.7						
			A 300	9.4	0.0307	30.7	100	4	
			2 0.6						
			A 296	9.3	0.0306	30.6	100	4	
			3 7.8						
			A 376	11.8	0.0334	33.4	100	4	
4 6.1									
T2	63.8731 0034	0.0031 2	A 294	9.2	0.0305	30.5	100	4	
			5 5.3						
			A 278	8.7	0.0298	29.8	100	4	
			1 2.5						

			A	424	13.2	0.0350	35.0	100	4
			2	6.5					
			A	452	14.1	0.0358	35.8	100	4
			3	5.1					
			A	413	12.9	0.0346	34.6	100	4
			4	9.1					
			A	477	14.9	0.0365	36.5	100	4
			5	8.6					
T3	57.7583	0.0031	A	135	4.2	0.0228	22.8	100	4
	6829	2	1	7.3					
			A	325	10.1	0.0316	31.6	100	4
			2	2.3					
			A	716	22.4	0.0425	42.5	100	4
			3	3.7					
			A	673	21.0	0.0416	41.6	100	4
			4	8.7					
T4	45.3515	0.0031	A	282	8.8	0.0300	30.0	100	4
	7858	2	1	2.0					
			A	185	5.8	0.0256	25.6	100	4
			2	6.2					
			A	531	16.6	0.0380	38.0	100	4
			3	7.2					
			A	454	14.2	0.0358	35.8	100	4
			4	0.1					

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.11 Tubería de aspiración / succión

Para el dimensionamiento del diámetro de la tubería a utilizar se basó en la tabla de sumergencia necesaria para evitar la formación de vórtices en la aspiración de las bombas de acuerdo con la velocidad que presenta.

**Tabla L.** Sumergencia necesaria para Evitar la Formación de vórtices

<b>Velocidad</b>	<b>Sumergencia necesaria, S</b>
<b>m/s</b>	<b>m</b>
0.6	0.3
1	0.6
1.5	1
1.8	1.4
2.1	1.7
2.4	2.15
2.7	2.6

**Fuente:** Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas residuales. Alcantarillado y bombeo

Dada la profundidad de las piscinas que son de 1.60m se escogió la velocidad de 1 m/s que requiere 0.6m de sumergencia para evitar la formación de vórtices y trabaje de manera adecuada la bomba y además de cumplir con dicha profundidad en épocas secas donde hay menor generación de lixiviados. La tubería de succión estará ubicada a 15 cm del fondo de la piscina y contara con una canastilla o rejilla que evitara la succión de cualquier solido presente en la zona.

En el manual de hidráulica de Azbedo Netto nos presenta una tabla con las alturas máximas de succión dependiendo a la altitud en

donde nos encontremos, cabe recalcar que estos valores son referenciales porque la altura de un tipo determinado de bomba depende de otras razones como el del fabricante y deberá ser verificado en todo caso.

**Tabla LI.** Alturas máximas de succión

<b>Altitud</b>	<b>Presión</b>	<b>Límite práctico de</b>
<b>m</b>	<b>atmosférica</b>	<b>succión</b>
<b>m</b>	<b>m H<sub>2</sub>O</b>	<b>m</b>
0	10.33	7.60
300	10.00	7.40
600	9.64	7.10
900	9.30	6.80
1200	8.96	6.50
1500	8.62	6.25
1800	8.27	6.00
2100	8.00	5.70
2400	7.75	5.50
2700	7.50	5.40
3000	7.24	5.20

**Fuente:** Manual de hidráulica Azebedo Netto

La altitud media del cantón Daule es de 58 m.s.n.m y de acuerdo con la tabla le corresponde un valor entre 7.60 m a 7.40 como máximo y dado la altura inferior a 2 metros, así como valor máximo

del fabricante de la bomba de 6m se comprobó que está dentro de los límites permitidos.

El mismo manual de Azevedo ofrece una fórmula para el cálculo del diámetro de la tubería de succión en función de la velocidad que hay en él conducto, que es la siguiente:

$$d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

**Ecuación 9.** Diámetro de la tubería de succión.

, donde:

d= diámetro interno de la tubería de succión (m)

Q= caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

v= velocidad media de succión (m/s)

**Tabla LII.** Diámetro tubería de succión

	Q m <sup>3</sup> /s	v m/s	d fórmula		d utilizado	
			m	mm	mm	"
Piscina 1	0.0089	1	0.106	106.4	100	4
Piscina 2	0.0094	1	0.110	109.7	100	4

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Dado a que el diámetro de entrada de la bomba es de 2 ½" se utilizó un reductor concéntrico con el fin de evitar la formación de bolsas de aire; según el texto de Metcalf recomienda que el diámetro de

la tubería de succión e impulsión sea superior al especificado en las especificaciones de la bomba.

Se recomienda verificar la presión que exista en estas tuberías ya que dependiendo de su valor se debe instalar un accesorio en específico; en el caso de presiones positivas instalar una válvula de compuerta y de existir presiones negativas instalar una válvula de retención en su extremo inferior para evitar el cebado.

### 5.12 Tuberías de impulsión

Para el diseño de estas tuberías se recomienda realizar un análisis técnico económico ya que teóricamente se puede utilizar cualquier valor, sin embargo existe un valor para lo cual cumple los criterios antes mencionados.

El cálculo de tuberías de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede emplear utilizando la fórmula de Bresse.

$$D = k\sqrt{Q}$$

**Ecuación 10.** Diámetro tuberías de impulsión que trabajan continuamente, Bresse.

, donde:

D= diámetro económico (m)

K= coeficiente entre 0.9-4.0

Q= caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

De acuerdo con esta fórmula la medición de una línea de impulsión se hace básicamente por imposiciones económicas, por tanto, el valor del coeficiente K es consecuencia del precio de la energía eléctrica, de los materiales y de las máquinas empleadas en las instalaciones, variando por esto con el tiempo y con la región considerada.

Tratándose de instalaciones pequeñas, como son las que existen en el área rural, la fórmula de Bresse puede llevar a un diámetro aceptable. En este proyecto la bomba no estará operando las 24 horas por lo tanto para estaciones que no son operadas las 24 horas del día, el diámetro económico viene dado por la siguiente expresión:

$$D = 1.3 \lambda^{1/4} \sqrt{Q}$$

**Ecuación 11.** Diámetro tuberías de impulsión que trabajan discontinuamente, Bresse.

, donde:

$$\lambda = \frac{\text{Número de horas de bombeo}}{24}$$

Dado que se presenta 2 situaciones correspondiente a época lluviosa y seca, donde el tiempo el tiempo de operación de la bomba se ve afectada; se escogió la situación más desfavorable que es el que tiene mayor tiempo de funcionamiento por la cual el diámetro a obtener será mayor y esta a su vez garantizó que cumple para esta situación como para la más óptima.

**Tabla LIII.** Detalles de las bombas

	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>
Tiempo de funcionamiento (horas)	4	4
$\lambda$	0.167	0.167
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0.0089	0.0094

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla LIV.** Diámetro tuberías de impulsión  
Bomba 1.

<b>Tubería bomba 1 a red principal 1</b>			
<b>Fórmula</b>		<b>Usado</b>	
<b>m</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>Pulg</b>
0.0783	78.3	100	4

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla LV.** Diámetro tuberías de impulsión  
Bomba.

<b>Tubería bomba 2 a red principal 2</b>			
<b>Fórmula</b>		<b>Usado</b>	
<b>m</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>Pulg</b>
0.0807	80.7	100	4

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### **Consideraciones:**

A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.

En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.

Utilizar reducciones excéntricas para unir las tuberías de impulsión con el diámetro de salida de la bomba en caso de ser diferentes los valores de los diámetros.

### **5.13 Ramales de riego**

Las tuberías de impulsión previamente diseñadas que transportarán los lixiviados de la bomba llegarán hasta un punto de concentración del cual saldrán más tuberías con el fin de abarcar la extensión del relleno sanitario dichas tuberías las conoceremos como ramales de riego que distribuirán los lixiviados a través de los aspersores que estarán conectadas a la tubería a través de

accesorios como tes y reducciones esta última en caso de requerirlo.

Para su dimensionamiento se vuelve a utilizar nuevamente la fórmula de Bresse para sistemas de bombeo discontinuos donde el tiempo de operación de las bombas es la misma utilizada en las tuberías de impulsión, pero el caudal se vería afectado dependiendo el número de aspersores que se encuentre en cada ramal.

**Tabla LVI.** Caudal a distribuir por cada ramal de riego

	<b>Q total (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Tubería principal (mm)</b>	<b>Aspersores</b>	<b>Q ramal (m<sup>3</sup>/h)</b>			
Trinchera 1	32.0	80	18	4	7.11		
					4	7.11	
Trinchera 2	34.0	80	21	5	8.89		
						5	8.89
Trinchera 3						4	6.48
				4	6.48		
Trinchera 4				3	4.86		
				3	4.86		
				3	4.86		

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla LVII.** Diámetro tuberías de riego

<b>Tubería de riego (mm)</b>					
	<b>Ramales</b>	<b>Formula</b>	<b>Selección</b>		
		m	mm	mm	"
<b>Trinchera 1</b>	Ramal 1	0.03691	36.9	50	2

	Ramal 2	0.03691	36.9	50	2
<b>Trinchera 2</b>	Ramal 1	0.04127	41.3	60	2 ½
	Ramal 2	0.04127	41.3	60	2 ½
<b>Trinchera 3</b>	Ramal 1	0.03523	35.2	50	2
	Ramal 2	0.03523	35.2	50	2
	Ramal 3	0.03523	35.2	50	2
<b>Trinchera 4</b>	Ramal 1	0.03051	30.5	50	2
	Ramal 2	0.03051	30.5	50	2
	Ramal 3	0.03051	30.5	50	2

---

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

#### 5.14 Pérdidas de carga

Para el cálculo de las pérdidas de carga se utilizó la ecuación de Hazen Williams que es la más utilizada en este aspecto, por muchos fabricantes y proveedores como es el caso de plastigama que ya incluye estos valores en sus catálogos, debido a la sencillez de su fórmula que es fácil de entender y aplicar. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Q = 0.278 CD^{2.63} \left( \frac{hf}{L} \right)^{0.54}$$

**Ecuación 12.** Perdidas de carga, Hazen Williams.

, donde:

C= coeficiente que depende de la rugosidad del material

D= diámetro interior (m)

L= longitud de la tubería (m)

hf= pérdida de carga (m)

**Tabla LVIII.** Valores del coeficiente C de Hazen Williams.

<b>Material</b>	<b>C</b>
Acero galvanizado	125
Acero soldado, tubos nuevos	130
Acero soldado, tubos en uso	90
Fierro fundido, nuevos	130
Fierro fundido, después de 15 o 20 años	100
Fierro fundido, gastados	90
PVC	140
Concreto, con buena terminación	130
Concreto, con terminación común	120

**Fuente:** Manual de Hidráulica, Azevedo Netto.

### 5.15 Tuberías de drenaje de lixiviado

Se utilizó los valores anteriormente hallados de caudal, diámetro, longitud de las tuberías obtenida del programa y un valor de C de

140 correspondiente a material de PVC según la tabla de Azevedo para el realizar el cálculo de las pérdidas de carga.

**Tabla LIX.** Pérdidas de carga tuberías principales de Drenaje de lixiviados

	<b>Caudal</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>Pérdidas Hf</b>
	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
<b>Trinchera 1</b>	0.000532	100	153.32	0.011
<b>Trinchera 2</b>	0.000739	100	223.24	0.031
<b>Trinchera 3</b>	0.000668	100	129.07	0.015
<b>Trinchera 4</b>	0.000524	100	160.24	0.012

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla LX.** Perdidas de carga tubería a las piscinas

	<b>Caudal junto</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Longitud</b>	<b>Pérdidas Hf</b>
	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
Trinchera 1	0.001271	100	76.79	0.029
Trinchera 2				
Trinchera 3	0.001193	100	67.69	0.022
Trinchera 4				

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.16 Tuberías de impulsión

De igual forma se procedió con el cálculo de las pérdidas de carga con las tuberías que van desde la salida de la bomba hasta el punto donde el flujo de lixiviados se distribuirá por los distintos ramales hasta llegar a los aspersores y rociar sobre la superficie del relleno sanitario para su evaporación.

**Tabla LXI.** Pérdidas de carga tuberías de impulsión hasta punto de separación de riego

	<b>Caudal l (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro o (mm)</b>	<b>Longitud d (m)</b>	<b>Pérdidas Hf (m)</b>
Tubería bomba 1 a red principal 1	0.0089	100	212.38	2.89
Tubería bomba 2 a red principal 2	0.0094	100	266.17	4.06

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.17 Ramales de Riego

Con la fórmula de Hazen Williams de hallo las pérdidas de carga de la tubería que va desde el punto de distribución y final de las tuberías de impulsión anteriormente descrita para los aspersores donde la longitud de esas tuberías terminan en el aspersor más alejado.

**Tabla LXII.** Pérdidas de carga en ramales de riego

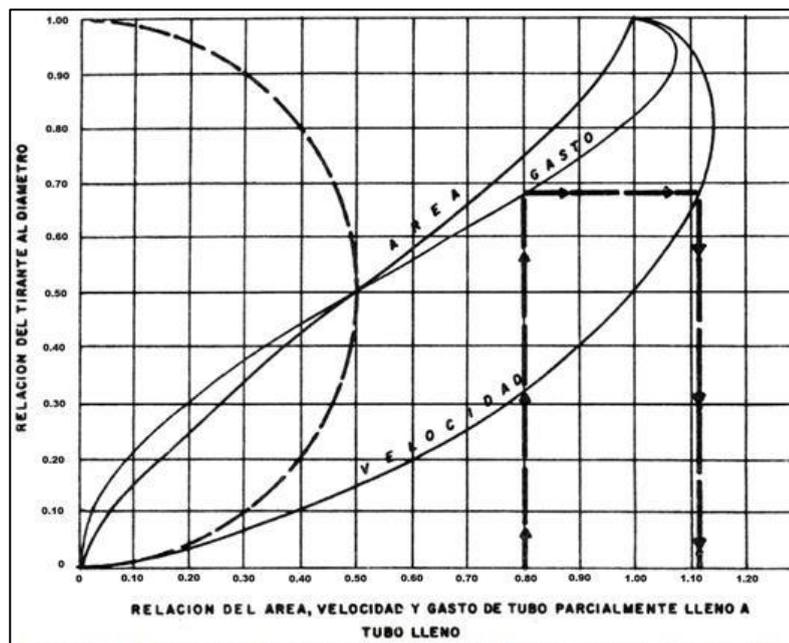
		<b>Q ramal (m<sup>3</sup>/S)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Pérdidas hf (m)</b>
Trinchera 1	Ramal 1	0.001975	50	167.77	4.14
	Ramal 2	0.001975	50	176.12	4.34
Trinchera 2	Ramal 1	0.002469	60	191.36	2.93
	Ramal 2	0.002469	60	205.70	3.15
Trinchera 3	Ramal 1	0.001799	50	151.97	3.15
	Ramal 2	0.001799	50	152.59	3.16
	Ramal 3	0.001799	50	158.19	3.28
Trinchera 4	Ramal 1	0.001349	50	138.83	1.69
	Ramal 2	0.001349	50	139.41	1.70
	Ramal 3	0.001349	50	136.24	1.66

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

### **5.18 Velocidades en tuberías**

Un aspecto importante a verificar una vez dimensionado las tuberías correspondientes son las velocidades para la cual varios autores como Tchobanoglous o Metcalf & Eddy establecen como velocidad mínima 0.6 m/s y 0.3 m/s para tuberías de sección llena como parcialmente llena respectivamente con el fin de evitar acumulación de partículas o sólidos que puedan obstruir o interrumpir el flujo del conducto. De la misma forma se recomienda como velocidad máxima un valor de 3 m/s.

Para verificar las velocidades en tuberías a gravedad parcialmente llenas de cierto modo es algo complejo determinar el área mojada por lo cual en el texto de Metcalf & Eddy se presenta un ábaco donde relaciona áreas, velocidades y caudales de secciones llenas y parcialmente llenas dependiendo de la relación de tirantes de la tubería.



**Figura 5.7.** Elementos hidráulicos de la sección circular.

**Fuente:** Metcalf & Eddy

Con los valores de área obtenidos se utilizó la fórmula de continuidad que relaciona caudal, área y velocidad se obtuvieron las cantidades requeridas para verificó si cumplen con las velocidades mínimas y máximas que se establece.

### 5.18.1 Tuberías de drenaje de lixiviado

**Tabla LXIII.** Velocidades en tuberías de drenaje de lixiviados

	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (mm)	Factor $\frac{A_p}{A_l}$	A llena (m <sup>2</sup> )	A parcial (m <sup>2</sup> )	v (m/s)	Cheque o
Trincher a 1	0.000532 6	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.31	Cumple

Trincher a 2	0.000739 3	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.43	Cumple
Trincher a 3	0.000668 5	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.39	Cumple
Trincher a 4	0.000524 9	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.30	Cumple

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**Tabla LXIV.** Velocidades en tubería hacia las piscinas

	<b>Caudal</b> <b>(m3/s)</b>	<b>Diámetro</b> <b>(mm)</b>	<b>Factor</b> <b>Ap/AI</b>	<b>A</b> <b>llena</b> <b>(m2)</b>	<b>A</b> <b>parcial</b> <b>(m2)</b>	<b>v</b> <b>(m/s)</b>	<b>Cheque</b> <b>o</b>
Trincher a 1	0.001271 8	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.74	Cumple
Trincher a 2							
Trincher a 3	0.001193 4	100	0.22	0.0078 5	0.0017 3	0.69	Cumple
Trincher a 4							

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.18.2 Tuberías de impulsión

**Tabla LXV.** Velocidades en tuberías de impulsión

	<b>Caudal</b> <b>(m3/s)</b>	<b>Diámetro</b> <b>(mm)</b>	<b>Área</b> <b>(m2)</b>	<b>Velocidad</b> <b>(m/s)</b>	<b>Chequeo</b>
Tubería bomba 1 a red principal 1	0.0089	100	0.00785	1.13	Cumple

---

Tubería bomba 2 a red principal 2	0.0094	100	0.00785	1.20	Cumple
---	--------	-----	---------	------	--------

---

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

### 5.18.3 Ramales de riego

**Tabla LXVI.** Velocidades en ramales de riego

		<b>Q ramal</b> <b>(m<sup>3</sup>/S)</b>	<b>Diámetr</b> <b>o</b> <b>(mm)</b>	<b>Área</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocida</b> <b>d</b> <b>(m/s)</b>	<b>Cheque</b> <b>o</b>
Trinchera 1	Ramal 1	0.00197 5	50	0.0019 6	1.01	Cumple
	Ramal 2	0.00197 5	50	0.0019 6	1.01	Cumple
Trinchera 2	Ramal 1	0.00246 9	60	0.0028 3	0.87	Cumple
	Ramal 2	0.00246 9	60	0.0028 3	0.87	Cumple
Trinchera 3	Ramal 1	0.00179 9	50	0.0019 6	0.92	Cumple
	Ramal 2	0.00179 9	50	0.0019 6	0.92	Cumple
	Ramal 3	0.00179 9	50	0.0019 6	0.92	Cumple
Trinchera 4	Ramal 1	0.00134 9	50	0.0019 6	0.69	Cumple

---

---

Ramal 2	0.00134 9	50	0.0019 6	0.69	Cumple
Ramal 3	0.00134 9	50	0.0019 6	0.69	Cumple

---

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

**CAPITULO 6**  
**Estudio de Impacto Ambiental**

## **6.1 Antecedentes**

El estudio ambiental del proyecto que se realizó fue para evaluar el impacto que ocasiona cada una de las actividades en sus fases constructivas y operativas hacia el medio ambiente para tomar medidas correspondientes a través de los planes de manejo ambiental con el fin de garantizar la preservación de área de estudio.

El objetivo primordial es identificar los efectos negativos de cada actividad en los recursos naturales más primordiales como lo son; agua, aire, suelo incluyendo a la flora y fauna. Así como la afectación en medios socio económicos de la zona a intervenir con el proyecto

### **Actividades por evaluar**

Son todas las actividades necesarias para la ejecución del proyecto, estas actividades pueden ser de carácter constructivo como de operación. A continuación, se detallan las actividades a ejecutarse.

### **Fase Constructiva**

- A. Limpieza y desbroce
- B. Colocación de geomembranas en trincheras

- C. Colocación de capa de arcilla en trincheras
- D. Compactación de arcillas
- E. Excavación en la zona para las tuberías
- F. Colocación e instalación de tuberías
- G. Relleno de zonas excavadas para tubería
- H. Excavación en zona de las piscinas
- I. Colocación de geomembrana en piscinas
- J. Colocación de tuberías de aspiración
- K. Instalación de las bombas
- L. Cerramiento de la zona de bombas
- M. Colocación de tuberías de impulsión
- N. Colocación de aspersores

### **Fase Operativa**

- A. Mantenimiento de tuberías
- B. Mantenimiento de Bombas
- C. Mantenimiento de aspersores

## 6.2 Valoración de impacto ambiental

Se procederá a la formación de las matrices de impacto ambiental, se analizará las actividades constructiva y operacional citadas en el punto anterior, se incluirá los resultados de las matrices finales.

En la elaboración de las matrices de impacto ambiental se conforma de la siguiente manera:

**Matriz de Intensidad:** Se evaluará la actividad dependiendo del grado de impacto del mismo, se calificará dentro de un intervalo de 1 a 10, siendo “1” de menor intensidad posible y “10” la mayor intensidad prevista, en casos donde no existiere un impacto o a su vez sea leve se lo evaluara como “0”.

**Matriz de Extensión:** Parámetro que determina la magnitud en términos de extensión, para impactos puntuales será calificado con “1”, “5” para impactos locales e impactos regionales con “10”, así mismo se evaluara con “0” si el impacto es leve y no afecta al medio ambiente.

**Matriz de Duración:** Se calificará de “0” para proyectos de impacto leve, “1” para impacto ambientales menores a 5 años, se evaluará con “5” para impactos de duración de 5 a 10 años y finalmente “10” para actividades mayores a 10 años.

**Matriz Signo:** Su finalidad es analizar cuáles son los impactos ambientales de aspectos negativos, positivos o neutros, por lo cual se calificará de -1, +1 o 0, sucesivamente de acuerdo con el impacto señalado.

**Matriz de Magnitud:** Es el resultado de las matrices de intensidad, duración y extensión, donde por medio de una formula se podrá obtener el resultado final de dicha matriz. Para el proceso es necesario conocer los valores de las matrices antes mencionadas y que son:

- Factor de intensidad: 0.5
- Factor de Extensión: 0.3
- Factor de duración: 0.2

$$M = (M. intensidad * Factor int. ) + (M. extensión * factor ext. ) \\ + (M. duración * factor dur. )$$

### **Ecuación 13.** Matriz de magnitud

**Matriz de Reversibilidad:** Estudia el nivel de reversibilidad que pueda tener una actividad que cause daño al ecosistema, su sistema de evaluación varía de la escala del 1 al 10, donde “0” en casos donde no se aplica, “1” para impactos reversibles en su totalidad, “5” para impactos parcialmente reversible, “8” en impactos reversibles a largo plazo y “10” para casos que no son reversibles.

**Matriz de Riesgo:** Se analiza el peligro que se pueda ocasionar en cualquier actividad constructiva, su valor varía de 0 a 10, el cual “1 ” para situaciones de baja ocurrencia, “5” en casos de media ocurrencia, “10” para impactos de alta probabilidad y “0” cuando no aplica ningún riesgo.

**Matriz de Valoración de Impacto Ambiental:** Matriz conformada por las matrices magnitud, riesgo y reversibilidad, además de un factor asignado para el cálculo del mismo, la finalidad de dicha matriz es en conocer las actividades son las más afectadas para posteriormente elaborar planes de manejo ambiental.

Donde:



	Interés Humano	Paisaje	M	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	1.8
		Histórico	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	1.2
			2.5	1.3	1.3	2.3	3.4	1.2	1.7	3.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2	1.1	

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Con la matriz anterior identificamos cuales son las actividades que generan mayor impacto ambiental y conociendo la fuente del problema se pueden establecer los respectivos planes ambientales para resolver esta situación. De acuerdo con la matriz, las actividades que mayor impacto ambiental tienen son las excavaciones tanto para las tuberías como las piscinas.

**Tabla LXVIII. Matriz de valoración etapa operativa**

MEDIO	COMPONENTES	PARAMETROS	A	B	C	
Físico	Agua	Superficial	M	B	B	2.7
		Subterráneo	M	B	B	2.2
	Suelo	Calidad del Suelo	M	B	B	2.2
		Aire	Calidad	B	B	B
		Ruido/Vibraciones	M	M	B	3.6
Biología	Flora	Alteración del Habitad	M	M	M	4.3
	Fauna	Alteración del Habitad	M	M	M	4.3
Socio Económico	Economía	Empleo	M	B	B	2.4
	Social	Salud	B	B	M	2.8
		Seguridad	M	M	B	3.0
	Interés Humano	Paisaje	B	B	B	1.8
		Histórico	B	B	B	1.4
			3.7	2.4	2.0	

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017.

Basándonos con la matriz de valoración de la fase operativa nos indicó que la actividad con mayor impacto es el mantenimiento de las tuberías y los parámetros más afectados entre las actividades son las alteraciones de los hábitats de flora y fauna junto con la contaminación del aire de la zona.

### 6.3 Principales impactos ambientales

**Tabla LXIX.** Principales impactos ambientales en el relleno sanitario de Daule.

<b>Principales Impactos Ambientales</b>			
<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Ambiental</b>	<b>Positivo / Negativo</b>	<b>Etapas del Proyecto</b>
Contaminación del aire	Generación de material particulado	Negativo	
	Generación de gases de combustión	Negativo	
	Generación de malos olores	Negativo	
	Generación de emisiones de CO <sub>2</sub> a la atmosfera	Negativo	
Contaminación acústica	Generación de ruido	Negativo	
	Generación de ruido y vibraciones	Negativo	

Contaminación del suelo	Generación de desechos contaminados y peligrosos por mantenimiento de maquinaria	Negativo	Construcción
	Generación de desechos comunes	Negativo	
Contaminación del agua	Generación de desechos contaminados con hidrocarburos	Negativo	
Afectación a los moradores del área de influencia	Generación de empleo	Positivo	
Afectación a la Salud física y	Accidentes laborales	Negativo	

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

**Tabla LXX.** Principales impactos ambientales en el relleno sanitario de Daule.

<b>Principales Impactos Ambientales</b>			
<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Impacto Ambiental</b>	<b>Positivo / Negativo</b>	<b>Etapas del Proyecto</b>
Psicológica de los Trabajadores			

---

Contaminación acústica	Generación de ruido y vibraciones por operación con	Negativo	
Contaminación del suelo	Generación de desechos en la	Negativo	Operación
Afectación a los moradores del área de	Generación de empleo	Positivo	
Afectación a la Salud física y psicológica de los Trabajadores	Mejoramiento de Accidentes laborales	Negativo	
Calidad del paisaje	Mejoramiento	Positivo	
Mejora calidad	Reforestación	Positivo	Cierre
Mejora calidad de vida de la comunidad	Mejoramiento calidad de aire y del paisaje	Positivo	

---

**Fuente:** Idrovo, K., Pagalo, D., 2017

#### 6.4 Plan de Manejo Ambiental

En base al Acuerdo Ministerial 031 emitido el 17 de mayo del 2012 por el Ministerio del Ambiente se procedió a la realización de los Planes de Manejo Ambiental para la Celda Emergente del Cantón Daule, provincia del Guayas.

**Tabla LXXI.** Plan de prevención y mitigación de impactos

<b>PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Desarrollar medidas que permitan la prevención y mitigación de los impactos negativos que generan las actividades asociadas con la construcción, operación y cierre de la celda emergente del cantón Daule.					<b>PPM-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Daule.					
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIOS DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO (meses)</b>

<b>Calidad de aire</b>	Contaminación del aire por emisiones	Mantener el suelo húmedo	Existencia de polvo en la atmosfera en el área del cierre.	Verificar el riego a una tasa de aplicación entre 0.90 y 3.5 l/m2. Registrado en Libro de Obra. Fotografías	Diario
	Afectación por material particulado, malos olores	Proporcionar al personal el equipo de protección personal adecuado para realizar las actividades dentro del sitio. Ver Plan de Operación y Mantenimiento	EPP entregado al personal durante construcción celda emergente	Registro de compra y entrega de equipo de protección personal  Registro Fotográfico de personal utilizando el equipo de protección personal	Conforme se requiera

---

	Emisiones maquinaria	Mantenimiento de la maquinaria	Número de camiones/ maquinaria sometida a mantenimiento	Registro de mantenimiento de toda la maquinaria operando en el proyecto. Fotografías	Trimestral
<b>Nivel Sonoro</b>	Afectación a la comunidad y a la fauna de la zona por construcción, operación y cierre celda emergente	Medición de equipos a una distancia de 50 m y verificar que los niveles de ruido se hallen bajo los 75 dB. Caso contrario mantenimiento de la maquinaria	Niveles de ruido superiores a los 75 DB	Registro de monitoreo de ruido mediante la utilización de sonómetro. Fotografías	Trimestral

---

---

<b>Calidad del suelo</b>	Contaminación, erosión y compactación del suelo	Prevenir y evitar derrames de hidrocarburos, aceites, grasas, y otras sustancias contaminantes, construyendo cubetos de contención alrededor de los depósitos	Verificación del estado de los cubetos construidos	Registro de mantenimiento y revisión de cubetos. Fotografías	Mensual
		A todo el suelo que no esté siendo utilizado por la infraestructura, colocar cobertura vegetal	% de hectáreas no utilizadas para disposición final que han sido cubiertas con vegetación	Registro de flora comprada para sembrar. Fotografías	Conforme se requiera

---

---

<b>Calidad de agua</b>	Contaminación de fuentes hídricas	Evitar derrames accidentales de sustancias contaminantes	% de derrames o accidentes que han ocurrido	Registro de resultados del laboratorio que realizó el monitoreo de agua, verificando el cumplimiento de la norma ambiental vigente	semestral
<b>Manejo de flora</b>	Dstrucción de las especies de flora del área del proyecto	Delimitar con estacas y marcas bien definidas la zona de trabajo para que el daño a la vegetación no sobrepase los límites del proyecto	Metraje total delimitado con cerramiento	Registro de compra de estacas o marcas para cerramiento. Fotografías	Trimestral

---

---

<b>Paisaje</b>	Degradación estética del ambiente.	Prohibir descargas o acumulación de materiales en las afueras del terreno del proyecto	Número de letreros/ señalización colocada	Registro de compra de elementos de señalización. Fotografías	Cada 6 meses
<b>Funcionamiento de Campamento y Bodegas</b>	Derrames de combustibles, control sanitario, incendios	Colocar cubetos para material que deba ser guardado y proporcionar extintores en todas los campamentos y bodegas	Unidades instaladas/previstas	Registro de compra de extintores. Fotografías	Cada 6 meses

---

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

Tabla LXXII. Plan de manejo de desechos

<b>PLAN DE MANEJO DE DESECHOS PROGRAMA DE MANEJO DE DESECHOS</b>					
<b>OBJETIVO:</b> Implantar normas operativas para el manejo y disposición adecuada de los desechos que se generen en el interior de la instalación de la celda emergente, a fin de prevenir accidentes, enfermedades ocupacionales e impactos ambientales negativos significativos.					
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					<b>PMD-01</b>
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO / PERIODO (meses)</b>
	Degradación de aire, suelo, agua, visual Afectación a la población, trabajadores, flora y fauna del área del proyecto por mal	Se verificará visualmente y a diario que no se realice el vertido ilegal de desechos en la vía de acceso y en lugares prohibido su descarga	No aplica	Registro fotográfico	Permanente

<b>Generación de desechos</b>	manejo de desechos, Generación de vectores de enfermedades,	Mantener limpia el área circundante y caminos de acceso a la celda emergente.	No aplica	Registro fotográfico	Permanente
		Utilización de letrinas por parte del personal trabajando en el proyecto	Número de unidades (letrinas) proporcionadas	Registro de compra de letrinas. Fotografías	Diaria
	Riego de accidentes.	Todos los desechos peligrosos generados en la etapa de construcción y operación de la celda emergente se gestionaran en base al Acuerdo Ministerial 026: procedimientos para registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de	Área Remanente de la celda de desechos peligrosos Volúmenes de aceites, grasas acumulados	Registro fotográfico del área de almacenamiento de desechos peligrosos Documento: Manifiesto único de entrega.	Permanente

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

**Tabla LXXIII.** Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental

<b>PLAN DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL PROGRAMA DE COMUNICACIÓN, CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Certificar que todo el personal involucrado en la construcción, operación y cierre de la celda emergente esté debidamente informado y conozca a detalle los procedimientos de ejecución, cumplimiento y responsabilidad en las diferentes actividades.					<b>PCC-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO (meses)</b>

<b>Riesgos de accidentes a los trabajadores</b>	Accidentes e Incidentes laborales	Se capacitará al personal administrativo y operativo de la celda emergente en los siguientes temas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difusión del contenido del PMA y del Manual de Operación y Mantenimiento.</li> <li>• Implementación de procedimientos de salud y seguridad.</li> <li>• Identificación de riesgos.</li> <li>• Temas relacionados con respuesta a emergencia</li> </ul>	No. de capacitaciones realizadas.	Registro de capacitación sobre los temas impartidos. Comprobación de conocimiento a través de pruebas.	Mensual
		Realizar inducciones sobre seguridad y ambiente antes de empezar los trabajos diarios.	No. de inducciones realizadas.	Registros de asistencia.	Diariamente
		Todas las actividades de capacitación, planificadas o no, serán registradas.	No aplica	Registros de capacitación.	Permanente

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

**Tabla LXXIV.** Plan de relaciones comunitarias

<b>PLAN DE RELACIONES COMUNITARIAS PROGRAMA DE RELACIONES COMUNITARIAS</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Conservar las buenas relaciones con la comunidad del área en donde se encuentra la celda emergente.					<b>PRC-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO (meses)</b>
<b>Falta de información y conocimiento del proyecto</b>	Desconocimiento del proyecto para la población	Se realizara una reunión informativa para dar a conocer el contenido del estudio ambiental y del proyecto, a las personas del área de influencia de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Autoridad Ambiental	% de la población cercana al proyecto informada	Informe de socialización	Al inicio de la construcción

---

	Quejas en el proceso de construcción de la celda emergente	Implementar un sistema de recepción de consultas, comentarios, quejas, denuncias y solicitudes de la comunidad del área de influencia, en el cual se debe detallar las acciones tomadas en cada caso.	No. de consultas, comentarios, quejas, denuncias, solicitudes receptadas	Registro de consultas, comentarios, quejas, denuncias y	Permanente
<b>Personal desinformado durante la construcción, operación y cierre de la celda emergente.</b>	Falta de conocimiento de medidas de seguridad	Realizar en forma periódica capacitación ambiental y de seguridad ocupacional para el personal. Dar a conocer el Plan de Operación y mantenimiento.	% del personal capacitado en temas ambientales	Registros de capacitación	Trimestral

---

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

Tabla LXXV. Plan de contingencia

<b>PLAN DE CONTINGENCIAS PROGRAMA DE CONTINGENCIAS</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Prevenir y controlar sucesos no planificados, impredecibles y describir la capacidad y las actividades de respuesta inmediata para controlar cada una de las emergencias identificadas de manera oportuna y eficaz durante la construcción, operación y cierre de la celda emergente.					<b>PDC-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICA</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO (meses)</b>
<b>Riesgos naturales y accidentes de trabajo</b>	Accidentes e Incidentes laborales	<u>Procedimientos de Notificación</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quien identifique la emergencia comunicará de inmediato al Jefe de la construcción de la celda emergente</li> </ul>	No. de emergencias suscitadas	Informe de emergencias presentadas	Permanente

---

<b>Riesgos naturales y accidentes de trabajo</b>	Accidentes e Incidentes laborales	La forma de notificación en caso de emergencia se realizará mediante comunicación por celular o radio, para lo cual se ubicará en un lugar visible del área administrativa, los principales números de teléfono y los nombres del personal a ser notificado para emprender una acción inmediata de transporte, socorro, dirección y coordinación de las medidas a tomar.	No. de emergencias suscitadas	Informe de emergencias presentadas	Permanente
		<p align="center"><u>Grupos de Apoyo Externo</u></p> <p>En caso de que la emergencia requiera de apoyo externo, este será solicitado a entidades externas, para lo cual se mantendrán en lugares de fácil acceso, el número de emergencia es el Ecu 911.</p>	No aplica	Números de teléfono publicados Registro fotográfico	Permanente

---

---

Disposiciones en caso de incendios

- Quien observa el conato de incendio deberá tratar de apagar el incendio con el extintor si es factible combatirlo.
- Si no es posible combatir el fuego, llamar a los bomberos.
- Si es necesario evacuar, siga las indicaciones explicadas en la capacitación.

Luego de atendida la contingencia, el jefe de operación de la celda emergente realizara un informe del mismo con: causas, acciones tomadas, personal, equipos e infraestructura afectados y dar aviso a las entidades de emergencia se ser necesario.

Número de accidentes e incidentes ocurridos	Registro de accidentes e incidentes ocurridos	de e Permanent e
--	--	---------------------------

---

---

Eventos naturales	<p><u>Disposiciones en caso de Emergencias</u></p> <p>El Administrador de la celda emergente: recibe y centraliza la información; asume o delega funciones y orienta a los miembros; instruye la movilización general del personal y equipo; evalúa la magnitud del problema; planifica e instruye las acciones a seguir; establece la situación (composición del lugar); informa a los empleados sobre la situación de emergencia; recopila la documentación referente a la emergencia para respaldar el informe final.</p> <p>Guardia: el guardia será el encargado de evacuar a todo el personal en situaciones</p>	No aplica	Registro de Capacitaciones	2 meses (luego de aprobado el PMA)
-------------------	--	-----------	----------------------------	------------------------------------

---

---

Disposiciones en caso de desastres naturales: Antes de la ocurrencia del desastre natural

- Los sistemas de drenaje de aguas domésticas, lluvia deberán ser verificados periódicamente para garantizar su buen funcionamiento.

Durante la ocurrencia del desastre natural

---

Número de  
accidentes e  
incidentes  
ocurridos

Registro de  
accidentes e  
incidentes ocurridos

Permanente

- 
- Parar la operación.
  - Mantener la calma.
  - Evacuar.
  - Acudir al punto de encuentro.

Después de la ocurrencia del desastre natural

- Identificación y atención inmediata de las personas accidentadas.
- El personal deberá mantenerse en zonas de seguridad.

Luego de atendida la contingencia, se deberá realizar un informe del mismo con: causas, acciones tomadas, personal, equipos e infraestructura afectados.

Disposiciones en caso de emergencias médicas:

Cualquier empleado que tome conocimiento de una emergencia médica debe llamar e informar de inmediato al

Número de accidentes e incidentes ocurridos

Registro de accidentes e incidentes ocurridos

Permanente

---

---

Administrador de la celda emergente para proceder de forma adecuada ante la emergencia como brindar los primeros auxilios si es necesario.

- En caso de ser necesario se movilizará a la víctima hasta el centro médico más cercano.
- En caso de ser necesario se localizará a los familiares de la víctima.
- El Administrador la celda emergente realizará la investigación de las causas y el reporte interno de las acciones tomadas.

El Administrador de la celda emergente realizará el informe y respectiva notificación al IESS.

Se deberá llevar un registro de accidentes e incidentes ocurridos en el cierre técnico de la celda emergente.

Número de Registro de accidentes e incidentes ocurridos e Permanent e

---

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

**Tabla LXXVI.** Plan de seguridad y salud ocupacional

<b>PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL PROGRAMA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Establecer las medidas respecto a la prevención de riesgos de accidentes, y posibles enfermedades profesionales derivadas de los trabajos durante la construcción, operación y cierre de la celda emergente.					<b>PSS-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICA</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACION</b>	<b>PLAZO (meses)</b>
<b>Salud Ocupacional</b>	Enfermedades relacionadas con	Campañas de vacunación y registro de enfermedades. Ver Plan de Operación y Mantenimiento	% de trabajadores vacunados	Registro de vacunas	Permanente
	Riesgo de	Utilización de equipos de protección personal. Ver Manual de Operación y Mantenimiento.	% de trabajadores con equipos de protección	Registros, fotografías	Permanente

<b>Seguridad de trabajadores en</b>	afectaciones a la salud	Se prohíbe la contratación de menores de edad para que laboren dentro del proyecto.	NA	Inspección / contratos	Permanente
		<p>Obligaciones del empleador</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brindar un buen ambiente de trabajo.</li> <li>• Cumplir con todas las obligaciones de ley como empleador.</li> </ul> <p>Proveer de los equipos de protección personal a los trabajadores.</p>	% de incumplimiento a las obligaciones / normativa	Auditoría realizada por la autoridad competente	Permanente

---

En caso de accidentes:

- Se deberá seguir un protocolo de seguridad para que se registre el accidente y conocer cualquier dato de interés como lugar del accidente, testigos, fecha, hora, circunstancias, etc.
- Todo accidente, por pequeño que sea, deber ser informado al jefe de sección para que esté registrado.
- Dependiendo de la gravedad del accidente, se deberá asistir inmediatamente y llevarle al centro médico más cercano.

En caso de ser necesario, se debe realizar una investigación de la causa del accidente y seguimiento del estado del trabajador herido.

Implementar y mantener la señalización en todas las áreas conforme la NTE INEN – ISO 3864-1:2013. Ver Manual de Operación y Mantenimiento.

No. de  
accidentes  
ocurridos

Registro de  
accidentes

Permanent  
e

Número de  
señales  
colocadas

Inspección en el  
sitio, registro  
fotográfico,  
facturas de  
compra

Permanent  
e

---

---

Obligaciones de los empleados	% de incumplimiento a las obligaciones por cada empleado	Memos de llamados de atención	Permanente
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se deberá ingerir alimentos o bebidas durante la ejecución del trabajo</li> <li>• No se permitirá fumar y consumir bebidas alcohólicas</li> <li>• Es obligatorio el uso de la ropa de trabajo y equipos de protección de personal</li> </ul> <p>Se deberán mantener los registros de vacunas conforme lo descrito en el Manual de Operación y Mantenimiento.</p>			
Se dotará de agua para el consumo humano.	NA	Facturas / registro de recepción	Cuando lo requiera

---

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

Tabla LXXVII. Plan de monitoreo y seguimiento

<b>PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO PROGRAMA DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO</b>					
<b>OBJETIVOS:</b> Comprobar a través de muestreos, mediciones e inspecciones la implementación y eficacia de las medidas ambientales descritas en el presente Plan de Manejo Ambiental de la celda emergente.					<b>PMS-01</b>
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>PLAZO (meses)</b>
<b>Generación de Ruido.</b>	Contaminación acústica.	Realizar monitoreos internos (proponente) con un laboratorio acreditado, para ruido ambiente generado por las actividades de las maquinarias y vehículos que se utilicen en la construcción, operación y cierre de la celda emergente.	# de monitoreos realizados / # de monitoreos obligatorios	Informes de laboratorio	Semestral

---

<b>Emisión de gases a la atmosfera</b>	Contaminación atmosférica.	Realizar un monitoreo de gases al iniciar la fase de construcción de las maquinarias y vehículos que serán utilizados.	# de monitoreos realizados / # de monitoreos obligatorios	Informes de laboratorio	Semestral
<b>Generación de lixiviados</b>	Contaminación hídrica	Realizar un monitoreo de caracterización de lixiviados, conforme lo indicado en el Plan de Operación y mantenimiento.	# de monitoreos realizados / # de monitoreos obligatorios	Informe de laboratorio	Semestral
Plagas y Roedores.	Presencia de roedores y plagas en la zona del proyecto.	Monitoreo de presencia de plagas y roedores.	Presencia de plagas y roedores en la zona	Registro de plagas y roedores	Mensual

---

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

Tabla LXXVIII. Plan de rehabilitación

PLAN DE REHABILITACIÓN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN					
<b>OBJETIVOS:</b> Rehabilitar las áreas de la celda emergente una vez finalizado la operación y realizado el cierre para formación de áreas verdes.					
<b>LUGAR DE APLICACIÓN:</b> Terreno para la celda emergente del Cantón Daule					<b>PR-01</b>
<b>RESPONSABLE:</b> Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule					
ASPECTO	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	PLAZO (meses)
AMBIENTAL		Desarrollar campañas de reforestación a lo que culmine el proyecto, en las áreas de mayor afectación.	Nº de especies sembradas	Registro de campañas de reforestación Fotografías	Al final del proyecto

---

<b>Recuperación de la vegetación de la zona.</b>	Desforestación a causa de la celda emergente	Realizar actividades mensuales de riego y cuidado de las especies sembradas.	Nº de especies regadas	Registro de las actividades de riego. Fotografías	Mensual
		Realizar un mantenimiento y control de las especies sembradas.	Nº de especies en control	Registro de las actividades de control de las especies sembradas Fotografías	Trimestral
<b>Recursos Naturales</b>	Contaminación de recursos agua y suelo.	Aislar las áreas en las cuales exista presencia de combustible y/o químicos derramados, con cintas o estacas y colocar letreros de seguridad.	Áreas aisladas o específicas para maquinaria que use gasolina o químicos	Registro de áreas Específicas. Fotografías.	Trimestral

---

Contaminación ambiental	Realizar el almacenamiento temporal de residuos de acuerdo a lo estipulado en el Plan de manejo de Desechos.	Área para el almacenamiento temporal.	Registro de área. Fotografías	Trimestral
-------------------------	--	---------------------------------------	-------------------------------	------------

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.

**Tabla LXXIX.** Plan de Cierre, Abandono y Entrega del Área

**PLAN DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA PROGRAMA DE CIERRE, ABANDONO Y ENTREGA DEL ÁREA**

**OBJETIVOS:** Establecer las actividades necesarias para el retiro de infraestructura y maquinarias que fueron empleadas durante la construcción, operación y cierre de la celda emergente

**POCA-01**

**LUGAR DE APLICACIÓN:** Terreno para la celda emergente del Cantón Daule

**RESPONSABLE:** Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio del Cantón Daule

<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO IDENTIFICADO</b>	<b>MEDIDAS PROPUESTAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MEDIO DE VERIFICA</b>	<b>PLAZO (meses)</b>
--------------------------	-----------------------------	---------------------------	--------------------	--------------------------	----------------------

<b>Limpieza del área del proyecto</b>	Contaminación de recursos naturales por presencia de maquinaria y desechos sólidos y líquidos	Informar a la Autoridad Ambiental con 15 días de anticipación el cierre de la celda emergente	No aplica	Comunicación realizada	15 días antes del cierre de la celda emergente
		Se limpiará toda el área de intervención de la celda emergente y evitar que puedan implementarse labores de ocupación. Recolección de residuos, limpieza general del terreno.	Área totalmente despejada de equipos y facilidades de obra.	Registro fotográfico	Luego del cierre de la celda emergente
<b>Restauración del medio.</b>	Integración del área al paisaje.	Se deberá realizar un seguimiento al área de la celda emergente detectando, escurrimientos, posibles hundimientos y/o deslizamientos, y en el caso que se detecte alguno, se deberá presentar un plan de rehabilitación.	No aplica	Registro fotográfico	Al tercer año de la reforestación.

**Fuente:** Municipio de Daule, 2014.



## **CAPITULO 7**

### **Presupuesto del proyecto**

**Obra:** Sistema de tratamiento de Lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Daule

**PRESUPUESTO REFERENCIAL DE TRINCHERA 1 Y 2**

<b>Rubro</b>	<b>Descripción</b>	<b>U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
<b>RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS</b>					<b>10.245,83</b>
1	Replanteo y nivelación de ejes	km	0,16	219,24	35,08
2	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	59,09	7,97	470,95
3	Relleno compactado con vibro-apisonador	m3	19,7	5,61	110,52
4	Tubería PVC rig. Desague 4"x3ml, 110 mm para dren	u.	1	13,15	13,15
5	Tubería PVC rig. Desague 4"x3ml, 110 mm para drenaje subterráneo	u.	1	13,15	13,15
6	Sum. e Inst. Tubería PVC rig. Desague 4"x3ml, 110 mm para dren	ml	453	12,11	5485,83
7	Sum. e Inst. Tubería PVC rig. Desague 4"x3ml, 110 mm para drenaje subterráneo	ml	308	12,11	3729,88

8	Sum. y colocación Piedra para Dren	m3	15,99	24,22	387,28
				<b>SUCCIÓN</b>	<b>153,70</b>
9	Tubería Flex b/d 4" x 57 psi	mt	1	14,24	14,24
10	Suministro y colocación de Tubería Flex b/d 4" x 57 psi	ml.	7,8	12,11	94,46
11	Instalación de rejilla para evitar paso de solidos	u.	1	45	45,00
				<b>CUNETAS DE CORONACIÓN</b>	<b>2.772,94</b>
1	Replanteo y nivelación de ejes	km	0,15	219,24	32,886
2	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	75,84	7,97	604,4448
12	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, 0 a 2 m	m3	7,58	15,47	117,2626
13	Suministro e Instalación Geomembrana 1 mm	m2	247,65	8,15	2018,348
				<b>LINEA DE IMPULSIÓN</b>	<b>3018,47</b>
12	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, 0 a 2 m	m3	15,12	15,47	233,91

9	Tuberías Flex b/d 4" x 57 psi	m	9	14,24	128,16
10	Suministro y colocación de Tuberías Flex b/d 4" x 57 psi	ml	212,38	12,11	2571,92
3	Relleno compactado con vibro- apisonador	m3	15,06	5,61	84,49
<b>PISCINA DE LIXIVIADOS</b>					<b>20.657,23</b>
2	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	600,00	7,97	4782,00
14	Nivelación de Subrasante	m2	375	5,69	2133,75
15	Compactación de fondo Con plancha vibratoria	m2	375	0,95	356,25
16	Conformación y compactación con arcilla 0.10m	m2	375	2,93	1098,75
13	Suministro e Instalación Geomembrana 1 mm	m2	660	8,15	5379,00
17	Transporte de material hasta 2 km ( incluye retro excavadora )	m3	197,67	3,2	632,54

	Suministro e instalación de				
18	Bomba de 5,5 HP para lixiviados	u	2	3137,47	6274,94
<b>SISTEMA DE EVAPORACIÓN ( ASPERSORES )</b>					<b>7747,795</b>
19	Suministro y colocación de Aspersores	u	10	10,86	108,6
20	Suministro y colocación de red de tubería para aspersores	ml	740,95	10,31	7639,195
<b>TOTAL TRINCHERA 1 Y 2</b>					<b>44.595,97</b>

---

**PRESUPUESTO REFERENCIAL DE TRINCHERA 3 Y 4**

---

Rubro	Descripción	U.	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS</b>					<b>9.136,80</b>
1	Replanteo y nivelación de ejes	km	0,16	219,24	35,08
2	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	59,09	7,97	470,95
3	Relleno compactado con vibro- apisonador	m3	19,7	5,61	110,52
4	Tubería PVC rig. Desague 4"x3ml, 110 mm para dren	u.	1	13,15	13,15

	Tubería PVCrig. Desague				
5	4"x3ml, 110 mm para drenaje subterráneo	u.	1	13,15	13,15
	Sum. e Inst. Tubería PVC rig. Desague	ml	357	12,11	4323,27
6	4"x3ml, 110 mm para dren				
	Sum. e Inst. Tubería PVC rig. Desague	ml	312,42	12,11	3783,41
7	4"x3ml, 110 mm para drenaje subterráneo				
	Sum. y colocación Piedra para Dren	m3	15,99	24,22	387,28
8					
					<b>SUCCIÓN</b>
					<b>168,71</b>
9	Tubería Flex b/d 4" x 57 psi	mt	1	14,24	14,24
	Suministro y colocación de Tubería Flex b/d 4" x 57 psi	ml.	9,04	12,11	109,47
10					
	Instalación de rejilla para evitar paso de solidos	u.	1	45	45,00
11					
					<b>CUNETAS DE CORONACIÓN</b>
					<b>2.772,94</b>
	Replanteo y nivelación de ejes	km	0,15	219,24	32,886
1					

	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	75,84	7,97	604,4448
2					
	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, 0 a 2 m	m3	7,58	15,47	117,2626
12					
	Suministro e Instalación Geomembrana 1 mm	m2	247,65	8,15	2018,348
13					
<b>LINEA DE IMPULSIÓN</b>					<b>3698,35</b>
	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, 0 a 2 m	m3	15,12	15,47	233,91
12					
	Tuberías Flex b/d 4" x 57 psi	m	11	14,24	156,64
9					
	Suministro y colocación de Tuberías Flex b/d 4" x 57 psi	ml	266,17	12,11	3223,32
10					
	Relleno compactado con vibro- apisonador	m3	15,06	5,61	84,49
3					
<b>PISCINA DE LIXIVIADOS</b>					<b>19.541,13</b>
	Excavación Mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m	m3	520	7,97	4144,40
2					
	Nivelación de Subrasante	m2	325	5,69	1849,25
14					

15	Compactación de fondo Con plancha vibratoria	m2	325	0,95	308,75
16	Conformación y compactación con arcilla 0.10m	m2	325	2,93	952,25
13	Suministro e Instalación Geomembrana 1 mm	m2	660	8,15	5379,00
17	Transporte de material hasta 2 km ( incluye retro excavadora )	m3	197,67	3,2	632,54
18	Suministro e instalación de Bomba de 5,5 HP para lixiviados	u	2	3137,47	6274,94
<b>SISTEMA DE EVAPORACIÓN ( ASPERSORES )</b>					<b>9185,421</b>
19	Suministro y colocación de Aspersores	u	13	10,86	141,18
21	Suministro y colocación de red de tubería para aspersores	ml	877,23	10,31	9044,241
<b>TOTAL TRINCHERA 3 Y 4</b>					<b>44.503,36</b>
<b>TOTAL DEL PRESUPUESTO</b>					<b>89.099,33</b>

El presupuesto referencial es de \$ 89.099,33 (ochenta y nueve mil noventa y nueve con 33/100), de la alternativa seleccionada como solución del proyecto. Los análisis de precio unitario están reflejados en el anexo C - Presupuesto.

Los materiales y la metodología para la ejecución de la obra, será estimado por el proyectista y el ingeniero constructor.

## **CAPITULO 8**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

El sistema de tratamiento de lixiviados diseñado cumplió con los estándares propuestos por diferentes autores en sus respectivos manuales para el diseño de la obra, en donde se consideró factores como producción de desechos, cantidades de precipitación, cantidades de evaporación, topografía del sitio, calidad del suelo, población a usar el servicio y características de los desechos para obtener los respectivos valores de cantidad de gases, lixiviados, volumen de piscina y diámetros de tuberías. Adicional la alternativa escogida es viable para su ejecución debido a su bajo costo

Se analizó las condiciones topográficas del sitio en donde se realizará la implantación de la propuesta, a través de datos existentes proporcionados por el departamento ambiental del municipio de Daule y complementado a través de cartas topográficas del Instituto geográfico militar se ubicó un lugar apropiado y regular para la excavación de las piscinas y colocación de tuberías sin recurrir a excesivos movimientos de tierra al ser las faldas de una montaña apropiado para las obras relacionadas a la propuesta, exceptuando la zona donde están ubicadas las trincheras que corresponde a parte del cerro.

Se tomó y analizó una muestra de lixiviados provenientes de la piscina actual con la que cuenta el relleno sanitario, el mismo que está habilitado para la primera de cuatro trincheras a utilizar. Junto al TULSMA se comparó los límites permisibles que existen para descargas de aguas residuales a cuerpos de agua dulce evaluando parámetros como DBO, PH, DQO entre otros; se obtuvieron valores excediendo estos límites siendo esta la justificación de que los contaminantes de este relleno deben ser tratado para minimizar el impacto ambiental que tendría en la zona.

Durante la investigación de los diferentes tratamientos de lixiviados, se hizo una selección de tres alternativas que fueron: Recirculación de lixiviados, lagunas de estabilización y zeolita. Al comparar estas tres alternativas pudimos observar sus diferentes ventajas y desventajas, de manera que tomamos la más económica y eficiente para tratar el lixiviado generado en dicho relleno sanitario. Dicho esto pudimos concluir que la mejor opción era la de recirculación ya que esta no necesita de equipos ni personal especializado así como también es de bajo costo.

Al seleccionar la alternativa más económica y eficiente se realizó un análisis de presupuesto, tomando en cuenta las diferentes actividades realizadas durante la construcción y operación de dicho tratamiento de lixiviados, del cual obtuvimos un valor de ochenta y nueve mil noventa y nueve con treinta y tres centavos. Estos rubros fueron basados en las características y dimensiones de las piscinas, tuberías, aspersores y bombas utilizadas al momento de desarrollar los cálculos de la alternativa seleccionada.

### **Recomendaciones**

Obtener la producción de lixiviados a través del método de Tchobanoglous que pese a ser una forma laboriosa y poco utilizada en los trabajos relacionados al tema, muestra el comportamiento más cercano a la realidad dando como resultado una curva de generación de lixiviado donde se puede saber hasta que año hay producción de la sustancia junto con los puntos mínimos y máximos.

Realizar el levantamiento topográfico con equipo de precisión para abarcar cada detalle que exista en la zona evitando así cualquier contratiempo al momento de colocar las obras necesarias para el proyecto. La topografía obtenida a través de programas presenta un

porcentaje de error que dependiendo del grado de ejecución del proyecto puede ser aceptable o no, dado que el presente trabajo es a nivel de prefactibilidad fue aceptable este método de obtención de datos del sitio.

Al momento de realizar el análisis de presupuesto se debe tener experiencia en el mercado laboral, además de conocer las actividades que se van a realizar en dicho proyecto para así obtener un adecuado rendimiento y de esta manera evitar alcanzar costos muy alejados a la realidad, ya que esto también influye en el éxito del proyecto. Dado que si realizamos un buen presupuesto podríamos adquirir un cronograma detallado, el cual nos ayudará para tener un buen seguimiento de la obra, así como cumplir cada una de las actividades que se realizaran en un determinado tiempo en caso de ejecutarse.

Debemos tomar en cuenta al momento de dimensionar las tuberías que diámetro tiene cada una de ellas para así verificar si en la tubería podría producirse un golpe de ariete, es decir si la tubería tiene un diámetro menor no debemos preocuparnos por este fenómeno pero sino debemos analizarlo, ya que este además de dañar seriamente

la tubería puede producir daños perjudiciales en la vida de las personas.

## **Bibliografía**

- AECOM. (2014). *Feasibility Study leachate recirculation system landfill of north Iowa*. Iowa.
- Amaya, R., & Molina, I. (2017). *Diseño del Relleno Sanitario de las mancomunidades de Montañita, Olón, Curia y las Nuñez*. Guayaquil.
- Anzules, J., & Oviedo, J. (2016). *Diseño del nuevo relleno sanitario de Babahoyo, vinculado al control de inundaciones*. Guayaquil.
- Azevedo, N. (1998). *Manual de Hidráulica*. Sao Paulo: Edgar Blucher Ltda.
- Bombas HASA. (2015). *Catálogo Bombas*.
- Chica Toro, F., Londoño Benitez, L. M., & Álvarez Herrera, M. I. (1 de Enero de 2006). *La zeolita en la mitigación ambiental*. Obtenido de Lasallista de investigación: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69530106.pdf>
- Corena Luna, M. D. (2008). *Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Sincelejo.
- Environment Agency. (2009). *Technical assessment of leachate recirculation*.
- Inamhi. (1990). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- Inamhi. (1991). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- Inamhi. (1992). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- Inamhi. (1993). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (1994). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (1995). *Anuario Meteorológico* . Quito.

Inamhi. (1996). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (1997). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (1998). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (1999). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2000). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2001). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2002). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2003). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2004). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2005). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2006). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2007). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2008). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2009). *Anuario Meteorológico*. Quito.

Inamhi. (2010). *Anuario Meteorológico*. Quito.

- Inamhi. (2011). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- Inamhi. (2012). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- INEC. (2010). *Ficha de datos generales Daule*.
- Jaramillo, J. (2002). *Guía de para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Lima.
- Lindao, D., & Quisnancela, E. (2014). *Aprovechamiento y potencial energético de los desechos sólidos*. Guayaquil.
- Metcalf & Eddy Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Sistema de alcantarillado y bombeo*. Madrid: McGraw - Hill.
- Morante Carballo, F. E. (2004). LAS ZEOLITAS DE LA COSTA DE ECUADOR (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Municipio Cantón Daule. (2014). *Memoria Técnica Relleno Sanitario Daule*.
- Municipio cantón Daule. (2015). *Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Daule 2015-2025*.
- Organización Panamericana de Salud. (2002). *Análisis sectorial de residuos sólidos*.

Organización Panamericana de salud. (2004). *Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua potable*. Lima.

Organización Panamericana de Salud. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima.

Rolim Mendonca, S. (2000). *Sistemas de Lagunas de estabilización*. Bogotá: McGraw-Hill interamericana, S.A.

Romero Rojas, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales*.

Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de Aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw - Hill.

TULSMA. (s.f.). *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos*.

TULSMA. (s.f.). *Norma de calidad ambiental y de descarga de afluentes: recurso agua*.

Viridian Colombia. (s.f.). *Recirculación de lixiviados*. Obtenido de Viridian Colombia:

[http://www.viridiancolombia.com/soluciones/manejo\\_lixiviados/recirculacion\\_lixiviados/](http://www.viridiancolombia.com/soluciones/manejo_lixiviados/recirculacion_lixiviados/)

# Anexos

Anexo A. Planos del proyecto

Anexo B. Presupuesto del proyecto

Anexo C. Registro fotográfico del proyecto

Anexo D. Catálogo de tuberías

Anexo E. Ubicación del Sitio