



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS  
DEL CANTÓN LA CONCORDIA DE LA PROVINCIA DE SANTO  
DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: JASMIN VALERIA DAVALOS PARRAGA**

**TUTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA**

Riobamba - Ecuador

2018

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## FACULTAD DE CIENCIAS

### ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que, el presente trabajo de titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS DEL CANTÓN LA CONCORDIA DE LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS” a responsabilidad de la señorita Jasmin Valeria Davalos Parraga ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mayra Zambrano Vinuesa

\_\_\_\_\_

16/02/2018

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

**DE TITULACIÓN**

Dra. Janneth Jara Samaniego

\_\_\_\_\_

16/02/2018

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, **Jasmin Valeria Davalos Parraga**, soy responsable de las ideas y resultados expuestos, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

Jasmin Valeria Davalos Parraga

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jasmin Valeria Davalos Parraga, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales .Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 16 de Febrero del 2018

Jasmin Valeria Davalos Parraga

Cédula de Identidad: 1718880493

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado primero a Dios por ser mi motor, mi guía, la fuerza para seguir adelante y no desmayar en el camino y poder alcanzar todos mis sueños y metas.

A mis padres y hermanos por su infinito amor y su apoyo incondicional, ellos son mi inspiración y motivación.

**Jasmin**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por todas sus bendiciones, por instruir mi caminar y hacer posible todos mis anhelos y metas, permitirme llegar hasta donde estoy hoy; seguir creciendo como persona y ahora también como profesional.

A mis padres Alberto y Camila por todos los sacrificios que han hecho a lo largo de mi carrera para que pueda seguir adelante y cumplir con este sueño que más que solo mío es de ustedes también , por su palabras de aliento en momentos de desánimo que me ayudaron a superar las adversidades .

A mis hermanos por su amor y comprensión, ellos son mis ganas de salir adelante y mi luz.

A los profesionales que han estado presentes y dispuestos a colaborar en todo lo que he necesitado infinitamente gracias, en especial mis tutoras y demás profesores que han estado predispuesto con su tiempo y conocimiento.

Al GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA por la apertura y facilidades brindadas, a las personas dentro del mismo las cuales estuvieron prestas a brindar la mano.

A todas las personas que fueron de bendición en toda esta etapa de mi vida, sobre todos los amigos que llegan a convertirse en una segunda familia.

**Jasmin**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

|                        |                                                  |
|------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>%</b>               | Porcentaje                                       |
| <b>°C</b>              | Grados Centígrados                               |
| <b>ARA</b>             | Ancho del tanque (Reactor aerobio)               |
| <b>ATR</b>             | Ancho del tanque (Tanques de recepción)          |
| <b>AM</b>              | Acuerdo Ministerial                              |
| <b>DBO</b>             | Demanda Bioquímica de Oxígeno                    |
| <b>DQO</b>             | Demanda Química de Oxígeno                       |
| <b>d</b>               | Días                                             |
| <b>ESPOCH</b>          | Escuela Superior Politécnica de Chimborazo       |
| <b>GAD</b>             | Gobierno Autónomo Descentralizado                |
| <b>H<sub>TR</sub></b>  | Altura del tanque (Tanques de recepción)         |
| <b>H<sub>TRA</sub></b> | Altura total del tanque (Reactor aerobio)        |
| <b>INEC</b>            | Instituto Nacional de Estadística y Censo        |
| <b>INEN</b>            | Servicio Ecuatoriano de Normalización            |
| <b>L</b>               | Longitud                                         |
| <b>L<sub>TR</sub></b>  | Longitud del tanque (Tanques de recepción)       |
| <b>L<sub>RA</sub></b>  | Longitud del tanque (Reactor aerobio)            |
| <b>N<sub>TR</sub></b>  | Número de tanques (Tanques de recepción)         |
| <b>P<sub>RA</sub></b>  | Profundidad del tanque (Reactor Aerobio)         |
| <b>P<sub>obs</sub></b> | Producción observada (Reactor Aerobio)           |
| <b>P<sub>dnl</sub></b> | Producción diaria neta de lodo (Reactor Aerobio) |
| <b>P<sub>s</sub></b>   | Potencia del soplante                            |
| <b>PAC</b>             | Policloruro de Aluminio                          |

|                       |                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>PVC</b>            | Cloruro de polivinilo                                       |
| <b>pH</b>             | Potencial de Hidrógeno                                      |
| <b>Q</b>              | Caudal de Lixiviados                                        |
| <b>RAS</b>            | Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable               |
| <b>T</b>              | Temperatura                                                 |
| <b>t<sub>rh</sub></b> | Tiempo de retención hidráulica (Reactor aerobio)            |
| <b>TULSMA</b>         | Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente |
| <b>V</b>              | Volumen                                                     |
| <b>V<sub>TR</sub></b> | Volumen total requerido (Tanques de recepción)              |
| <b>V<sub>IT</sub></b> | Volumen de cada tanque (Tanques de recepción)               |
| <b>V<sub>RA</sub></b> | Volumen del reactor (Reactor aerobio)                       |

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN .....                                                                                               | xv        |
| ABSTRACT.....                                                                                               | xvi       |
| <br>                                                                                                        |           |
| <b>CAPITULO I</b>                                                                                           |           |
| <b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>                                                       | <b>1</b>  |
| 1.1 Identificación del problema .....                                                                       | 1         |
| 1.2 Justificación del proyecto .....                                                                        | 3         |
| 1.3 Línea base del proyecto .....                                                                           | 4         |
| <i>1.3.1 Descripción del estado actual de la celda emergente donde se generan los<br/>lixiviados.....</i>   | <i>4</i>  |
| <i>1.3.2 Estudios para el Sistema de Tratamiento.....</i>                                                   | <i>8</i>  |
| <i>1.3.3 Metodología.....</i>                                                                               | <i>12</i> |
| <i>1.3.4 Caudal de Lixiviados.....</i>                                                                      | <i>22</i> |
| 1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....                                                               | 24        |
| <br>                                                                                                        |           |
| <b>CAPÍTULO II</b>                                                                                          |           |
| <b>2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>                                                                        | <b>25</b> |
| 2.1 Objetivo General.....                                                                                   | 25        |
| 2.2 Objetivos Específicos .....                                                                             | 25        |
| <br>                                                                                                        |           |
| <b>CAPÍTULO III</b>                                                                                         |           |
| <b>3 ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR.....</b>                                                                    | <b>26</b> |
| 3.1 Localización del proyecto .....                                                                         | 26        |
| <i>3.1.1 Ubicación específica - Nuevo relleno sanitario y sistema de tratamiento de<br/>lixiviados.....</i> | <i>26</i> |
| 3.2 Ingeniería del Proyecto.....                                                                            | 28        |
| <i>3.2.1 Terminología .....</i>                                                                             | <i>28</i> |
| <i>3.2.2 Alternativas de tratamiento de lixiviados .....</i>                                                | <i>34</i> |
| <i>3.2.3 Elección del tratamiento a efectuar .....</i>                                                      | <i>39</i> |
| <i>3.2.4 Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento .....</i>                                      | <i>39</i> |

|              |                                                                                |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.2</b>   | <b>Cálculos para el Dimensionamiento del sistema de tratamiento .....</b>      | <b>61</b> |
| <b>3.3.1</b> | <b><i>Cálculo de los tanques de recepción .....</i></b>                        | <b>61</b> |
| <b>3.3.2</b> | <b><i>Cálculos del reactor biológico de tipo aerobio .....</i></b>             | <b>61</b> |
| <b>3.3.3</b> | <b><i>Cálculos para el sedimentador secundario .....</i></b>                   | <b>71</b> |
| <b>3.3.4</b> | <b><i>Cálculos del tanque de recolección de lodos .....</i></b>                | <b>73</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Resultados.....</b>                                                         | <b>75</b> |
| <b>3.4.1</b> | <b><i>Resultados de la tratabilidad .....</i></b>                              | <b>75</b> |
| <b>3.4.2</b> | <b><i>Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento .....</i></b> | <b>78</b> |
| <b>3.6</b>   | <b>Presupuesto.....</b>                                                        | <b>82</b> |
| <b>3.7</b>   | <b>Análisis y Discusión de Resultados.....</b>                                 | <b>84</b> |
|              | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                                      | <b>86</b> |
|              | <b>RECOMENDACIONES .....</b>                                                   | <b>87</b> |
|              | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                                            |           |
|              | <b>ANEXOS</b>                                                                  |           |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1-1</b> Resumen Histórico de Precipitaciones .....                                   | 8  |
| <b>Tabla 1-2.</b> Producción Residuos sólidos .....                                           | 12 |
| <b>Tabla 1-3.</b> Composición típica de los Lixiviados .....                                  | 13 |
| <b>Tabla 1-4.</b> Parámetros a caracterizar .....                                             | 14 |
| <b>Tabla 1-5.</b> Parámetros Fisicoquímicos muestra Lixiviados .....                          | 15 |
| <b>Tabla 1-6.</b> Parámetros Microbiológicos de Muestra Lixiviados.....                       | 16 |
| <b>Tabla 1-7</b> Parámetros que no cumplen con la Normativa .....                             | 17 |
| <b>Tabla 1-8</b> Datos de turbiedad y color finales luego de la dosificación. Tratamiento 1 . | 18 |
| <b>Tabla 1-9</b> Eficiencia de remoción para la aplicación de coagulantes. Tratamiento 1....  | 18 |
| <b>Tabla 1-10</b> Datos de turbiedad y color finales .Tratamiento 2 .....                     | 20 |
| <b>Tabla 1-11</b> Eficiencia de remoción en la aplicación de coagulantes. Tratamiento 2.....  | 20 |
| <b>Tabla 1-12</b> Resultados métodos para la estimación del caudal.....                       | 23 |
| <b>Tabla 3-1.</b> Coordenadas “San Daniel” .....                                              | 27 |
| <b>Tabla 3-2</b> Criterios de diseño para Reactor aerobio.....                                | 42 |
| <b>Tabla 3-3</b> Características de los procesos aerobios.....                                | 47 |
| <b>Tabla 3-4</b> Criterios de diseño para demanda teórica de oxígeno .....                    | 48 |
| <b>Tabla 3-5</b> Criterios de diseño para la cantidad de aire teórico necesario.....          | 48 |
| <b>Tabla 3-6</b> Criterios de diseño para la potencia del soplante .....                      | 50 |
| <b>Tabla 3-7</b> Criterios de diseño para difusores .....                                     | 51 |
| <b>Tabla 3-8</b> Datos para activación de microorganismos .....                               | 52 |
| <b>Tabla 3-9</b> Características para sedimentadores secundarios .....                        | 55 |
| <b>Tabla 3-10</b> Características de los lodos .....                                          | 59 |
| <b>Tabla 3-11</b> Resultados del tratamiento físico-químico. Tratamiento 1.....               | 75 |
| <b>Tabla 3-12</b> Resultados de la aireación. Tratamiento 2.....                              | 76 |
| <b>Tabla 3-13</b> Resultados del tratamiento físico-químico. Tratamiento 2.....               | 77 |
| <b>Tabla 3-14</b> Resultados de la aplicación de microorganismos. Tratamiento 3 .....         | 77 |
| <b>Tabla 3-15</b> Resultados del dimensionamiento de los tanques de recepción .....           | 78 |
| <b>Tabla 3-16</b> Resultados del dimensionamiento del Reactor biológico de tipo aerobio...    | 78 |
| <b>Tabla 3-17</b> Resultados del dimensionamiento del Tanque Sedimentador Secundario ..       | 80 |
| <b>Tabla 3-18</b> Resultados del Dimensionamiento del Tanque Recolector de lodos.....         | 80 |
| <b>Tabla 3-19</b> Presupuesto para el Sistema de Tratamiento para Lixiviados .....            | 82 |
| <b>Tabla 3-20</b> Presupuesto Activación de Microorganismos .....                             | 83 |

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fotografía 1-1</b> Estado actual de la celda emergente .....                | 4  |
| <b>Fotografía 3-1</b> Ingreso al lugar de disposición final “San Daniel” ..... | 26 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gráfico 1-1</b> Proceso de Generación de Lixiviados .....                              | 6  |
| <b>Gráfico 1-2</b> Vista lateral planos de piscinas de almacenamiento de lixiviados ..... | 6  |
| <b>Gráfico 1-3</b> Vista superior Planos de piscinas de almacenamiento de lixiviados..... | 7  |
| <b>Gráfico 1-4</b> Resumen histórico de precipitaciones .....                             | 9  |
| <b>Gráfico 1-5</b> Resumen Histórico Precipitación Anual Acumulada.....                   | 9  |
| <b>Gráfico 3-1</b> Geometría del sitio de disposición final .....                         | 27 |
| <b>Gráfico 3-2</b> ELGO DOSIFICADOR D500.....                                             | 69 |
| <b>Gráfico 3-3</b> INCUPADORA/ACTIVADOR para microorganismos .....                        | 69 |
| <b>Gráfico 3-4</b> Sistema de Tratamiento para Lixiviados .....                           | 81 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1-1</b> Datos Informativos Celda emergente .....                              | 5  |
| <b>Cuadro 1-2</b> Características Estación Hidrológica La Concordia.....                | 10 |
| <b>Cuadro 3-1</b> Datos informativos Sistema de Tratamiento para Lixiviados .....       | 27 |
| <b>Cuadro 3-2</b> Propiedades de la zona del Sistema de tratamiento de lixiviados ..... | 28 |

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento para los lixiviados generados en el cantón La Concordia de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas para minimizar la contaminación. Para el desarrollo del mismo se realizó una caracterización inicial para establecer los parámetros que se encontraban fuera de norma, los cuales fueron DQO, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno Amónico, Sólidos totales suspendidos, Sólidos totales, Coliformes fecales y totales. En primer lugar se calculó el índice de biodegradabilidad obteniéndose un valor de 0,226 lo que me define un tratamiento Físico Químico, por esta razón se llevó a cabo tres tratamientos. Los cuales constan Tratamiento 1 de carácter físico-químico, Tratamiento 2 combinado aireación previa seguida del físico-químico y Tratamiento 3 aplicación de microorganismos en un reactor aerobio. El porcentaje de remoción obtenido del tratamiento 1 fue: para el DQO 2,38% y DBO<sub>5</sub> un 50%, Tratamiento 2 un DQO con 8,04% y un DBO<sub>5</sub> con un 31,87 %, finalmente el Tratamiento 3 se observó una remoción del 92,86% para el DQO y 77,63% para el DBO<sub>5</sub>. De acuerdo a lo descrito se escogió el tercer tratamiento como el más eficiente y adecuado para realizar el diseño. Para la aplicación de los microorganismos se empleó una concentración del 5% de EM-1 en estado latente, 5% melaza, 90% agua para su activación. De esta solución se dosificó una dosis óptima de 1: 1000 ml a los lixiviados en el tanque aerobio. Finalmente se escogió los parámetros de diseño y se estableció de la siguiente forma: tanques de recepción para el almacenamiento y distribución del lixiviado, un reactor biológico de tipo aerobio, un sedimentador secundario y un tanque de recolección de lodos.

**Palabras Claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS> <CARACTERIZACIÓN> <MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)><PORCENTAJE DE REMOCIÓN> <TRATAMIENTO BIOLÓGICO>

## ABSTRACT

A treatment system for the lixiviads for the La Concordia Canton of the Santo Domingo de los Tsáchilas was designed to minimize contamination. For its development, an initial characterization was carried out to establish the parameters not considered in the norm, which were DQO, DBO5, ammonium nitrogen, total solids, faecal and total coliforms. In the first place the biodegrading index was calculated, with a 0.226 value which defines a Physical and Chemical treatment; for this reason three treatments were carried out, which consist of: treatment 1, of physical-chemical character; treatment 2, combined previous aeration followed by the physical-chemical and, treatment 3, application of microorganisms in an aerobic reactor. The removal percentage was: for the DQO 2.38% and DBO5 a 50%, treatment 2 a DQO with 8.04% and DBO5 with 31.87%. Finally treatment 3, a 92.86% removal for the DQO and 77.63% for the DBO5 were observed. According to the above the third treatment was chosen as the most efficient and adequate to conduct the design. For the application of the microorganisms a 5% concentration of EM-1 in latent state, 5% molasses, 90% water for its activation was carried out. From this solution an optimum dosage of 1:1000 ml was given to the lixiviads in the aerobic tank. Finally the design parameters were chosen in the following way: reception tanks for storage and distribution of lixiviads, a aerobic type biological reactor, a secondary sedimenter and mud collection tank.

**Key Words:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECNOLOGY> <LIXIVIAD TREATMENT> <CHARACTERIZATION> <EFFICIENT MICROORGANISMS (EM)> <REMOVAL PERCENTAGE> <BIOLOGICAL TREATMENT>.

## CAPÍTULO I

### 1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del problema

La Concordia es un cantón que pertenece a la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuenta con una población de 42.924 habitantes que representa un 8,7% respecto a la provincia a la cual pertenece, según datos procesados del último “Censo de Población y Vivienda” del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

El paulatino incremento de su población, trae consigo la generación de desechos sólidos; sin embargo, el problema radica en que no se cuenta con un adecuado sistema de gestión de residuos sólidos ya que éstos terminan en un botadero a cielo abierto, incumpliendo la normativa actual vigente.

Se presume que se estén emanando al ambiente grandes cantidades de gas metano, el cual resulta perjudicial para el ambiente debido a que éste es un potente gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático; además es considerado un gas 23-25 veces más potente que el CO<sub>2</sub> por lo que su poder contaminante es superior. (CORTEZ, 2013)

Las características y condiciones que presenta el actual botadero acarrearán consigo efectos negativos que son perjudiciales para salud de las personas que se encuentran dentro del área de influencia directa e indirecta, así como también al sistema agrícola de la zona y los consumidores finales de los productos.

Además, para el correcto manejo de los desechos sólidos se debe tomar en cuenta las condiciones de la región, ya que al ser ésta de tipo tropical se debe contar con una

frecuencia de recolección adecuada para controlar el contenido de desechos y la presencia de lixiviados.

Generalmente para realizar la clasificación de los residuos que llegan al botadero se cuenta con Estaciones de Transferencia que facilitan este trabajo y permiten que los residuos que se trasladen al mismo sean los adecuados, haciendo que las condiciones de los lixiviados sean las óptimas para el Sistema de Tratamiento.

Para el caso del Municipio de La Concordia hasta la actualidad no se cuenta con una Estación de Transferencia; sin embargo, según información proporcionada por el GAD Municipal en los próximos meses entrará en funcionamiento una de ellas.

También se ha llegado a conocer, mediante la observación de campo y recopilación de información que al no efectuarse la recolección de lixiviados existe la posibilidad de éstos se estén filtrando al suelo, contaminando, a más de este recurso, las aguas superficiales y subterráneas causando graves daños al ambiente.

Sin embargo como ya se había mencionado anteriormente, al no contar con un sistema de gestión adecuado, se facilita la proliferación de vectores de enfermedades que pueden causar impactos desfavorables en la salud de la población tanto en el área de influencia directa e indirecta; además existe una elevada presencia de carroñeros (gallinazos) lo que aumenta el riesgo de contagio de enfermedades a la población ya que éstos al trasladarse de un lugar a otro, son capaces de esparcir y transportar gérmenes patógenos por medio de sus garras, pico y plumas.

La presencia de aguas superficiales en los alrededores genera un potencial problema de contaminación ya que éstas pueden estar contaminadas y recorrer grandes extensiones de terreno hasta desembocar en el afluente más cercano, el río Blanco que atraviesa las comunidades aledañas afectando a sus habitantes.

Las celdas emergentes están creadas de manera que su vida útil no deberá ser menor a un año ni mayor a dos años de acuerdo a lo establecido en el artículo 4 del Acuerdo Ministerial 052 del 17 de mayo del 2013.

## **1.2 Justificación del proyecto**

De acuerdo al *CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN* (COOTAD) en su artículo 55 se establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales son “los responsables directos del manejo de sus desechos sólidos”...., por tanto deben ser ellos quienes provean un adecuado Sistema de Gestión de Residuos Sólidos para salvaguardar la salud y bienestar de su población. (MINISTERIO DEL AMBIENTE-COOTAD, 2010)

Además en el artículo 61 del acuerdo ministerial 028 publicado en el registro especial 270 del 13 de febrero del 2015 establecen las Responsabilidades de los Gobiernos los cuales “garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia”....

El diseño para el tratamiento de lixiviados se realizará en base a la cantidad y composición de los residuos generados y dispuestos en el cantón La Concordia ya que de ellos depende el tipo de lixiviados con que se trabajará, que serán identificados mediante la respectiva caracterización; también se debe tomar en consideración que actualmente se cuenta sólo con una celda provisional donde se realiza la disposición final.

Otra de las condiciones que se consideran relevantes es que, al no existir una presencia significativa de industria, se espera que no exista contaminación de desechos peligrosos; La cantidad de materia orgánica es de alrededor de un 82,92%. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA , 2016)

Con base en lo mencionado, se establece que el Cantón La Concordia no cuenta con un apropiado Sistema de Gestión de Residuos Sólidos ya que el que se encuentra actualmente operando no cumple con lo establecido en la Legislación Ambiental vigente. Cabe indicar que el municipio ha contratado una consultoría para que realicen el diseño del relleno sanitario sin embargo no harían el sistema de tratamiento de lixiviados por lo tanto se propone la realización del “Diseño de un Sistema de Tratamiento de Lixiviados para el cantón La Concordia de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas”, con el fin de alcanzar un adecuado Sistema de Gestión.

Con la realización de este proyecto se pretende lograr un impacto positivo que beneficie a la población de la zona, garantizando salud y bienestar, así como la minimización de la contaminación ambiental que se genera como producto del inadecuado manejo de los desechos sólidos peligrosos y no peligrosos.

### **1.3 Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1 Descripción del estado actual de la celda emergente donde se generan los lixiviados***

El cantón La Concordia cuenta con una celda emergente la cual se encuentra funcionando desde julio del 2013 hasta el año 2018 habiendo cumplido su ciclo de vida útil de acuerdo a lo establecido en el artículo 4 del Acuerdo Ministerial 052 del 17 de mayo del 2013 que establece hasta un máximo de 2 años, por lo que debe ser realizado su cierre técnico, sin embargo se siguen depositando los desechos en la misma ya que no se dispone de otro lugar para realizarlo es por ello se ha ordenado de manera apremiante la realización del diseño del nuevo relleno y del sistema de tratamiento para lixiviados. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)

El Diseño del sistema de tratamiento para lixiviados se realizará para el nuevo relleno sanitario el cuál se ubicará en el sector San Daniel del Cantón La Concordia, sin embargo para la caracterización de los lixiviados se realizará con los generados en la celda emergente actual, ya que los desechos sólidos que se depositan en ésta serán los mismos que irán al nuevo relleno y por ende al sistema de tratamiento. Estos valores resultantes se tomarán como referencia para el diseño.



**Fotografía 1-1** Estado actual de la celda emergente  
Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017

### ***1.3.1.1 Ubicación Celda emergente***

Ubicada en el sector de la Mina Santa Isabel como se indica en el cuadro 1-1, el acceso a la misma puede realizarse por el sector 6 de la Nueva Concordia saliendo por la vía que conduce al by pass para dirigirse a puertoquito en dirección al camal del cantón La Concordia y después de la entrada a la pista privada familia Ocampo, pasando el camal existe un largo camino de tierra que recorre más de 1,5 km hasta llegar a la celda emergente.

**Cuadro 1-1** Datos Informativos Celda emergente

|                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Provincia</b>            | Santo Domingo de los Tsáchilas |
| <b>Cantón</b>               | La Concordia                   |
| <b>Parroquia</b>            | La Concordia                   |
| <b>Sector</b>               | Mina Santa Isabel              |
| <b>Coordenadas IGM</b>      | E ( 79° 23´ 45” W)             |
|                             | N (00° 24´ S)                  |
| <b>Área Celda Hectáreas</b> | 0,4                            |

**Fuente:** (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017

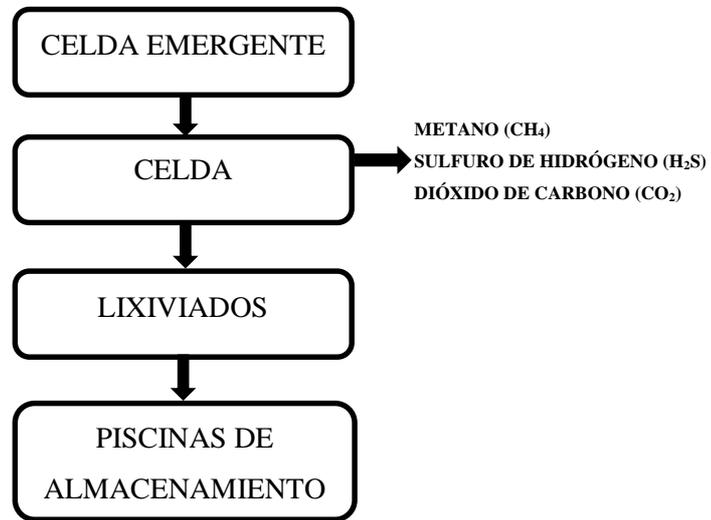
### ***1.3.1.2 Celda emergente***

Se realizó el reconocimiento visual para verificar el estado actual de la celda emergente la cual se encuentra sobrepasando su capacidad de almacenamiento de desechos sólidos, además de haber ya cumplido su vida útil.

El área de la celda es de 0,4 ha con las medidas correspondientes 40,0 m x 100,0 m x 6,0 m este último es la profundidad, de la cual 1m corresponde a la capa impermeable y posee una pendiente del 1%.

Los lixiviados son arrastrados por el agua lluvia hacia el fondo de la celda, diseñada para recogerlos en drenes tipo espina de pescado con tubería bajo NORMA INEN 2059 y depositarlos en dos piscinas estáticas con un tiempo de estancamiento entre 6 a 8 meses ya que el caudal no es constante y ha ido decreciendo en función de la vida útil; inicialmente estaba proyectada para un recoger un mayor caudal con menor tiempo de estancamiento. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)

Al momento ya no se realiza compactación de la basura, en los inicios de la celda se realizaba compactación electromecánica manual con coberturas diarias de 0,08 m; las chimeneas para evacuación de gases tóxicos como el metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) o el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), no poseen quemadores para los mismos. (Valtueña, 2012)

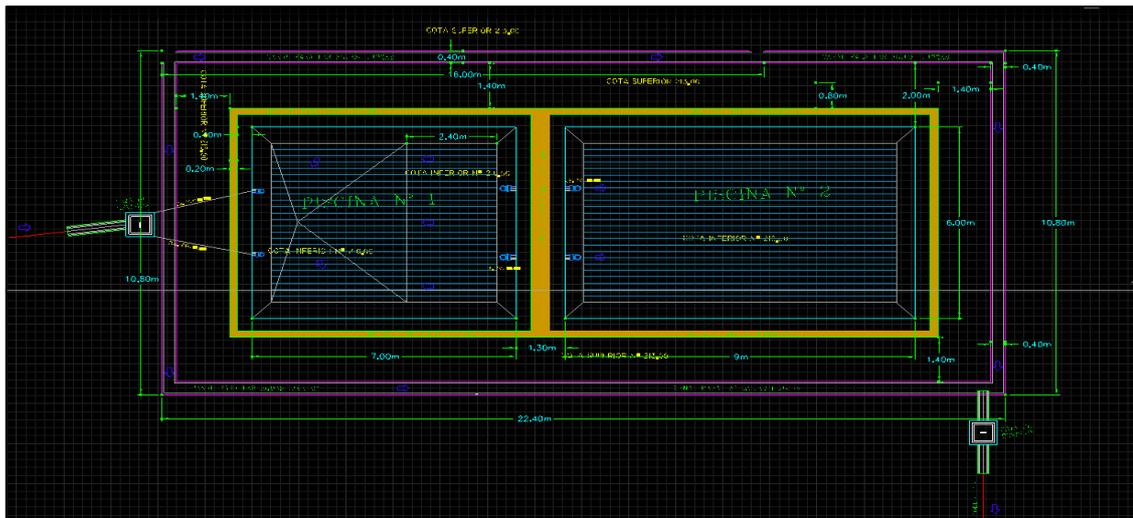


**Gráfico 1-1** Proceso de Generación de Lixiviados  
Realizador por: Dávalos Jasmin, 2017

Las piscinas de almacenamiento de lixiviados constan de las siguientes medidas para la piscina uno sus dimensiones son 7,0 m x 6,0 m x 2,5 m, mientras que para la piscina número dos se tiene 9,0 m x 6,0 m x 2,5 m mismas que corresponden al largo, ancho y profundidad respectivamente como se muestra en os gráficos 1-2 y 1-3.



**Gráfico 1-2** Vista lateral planos de piscinas de almacenamiento de lixiviados  
Fuente: (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)



**Gráfico 1-3** Vista superior Planos de piscinas de almacenamiento de lixiviados  
 Fuente: (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)

### 1.3.1.3 Geología de la Celda emergente

De acuerdo con lo expuesto en la MEMORIA TÉCNICA DE LOS CIERRE TECNICO DE LAS CELDAS PROVISIONALES PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS DEL CANTON LA CONCORDIA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS (2013), para el estudio geológico se tiene lo siguiente:

El área donde se encuentra ubicada la celda emergente según el estudio realizado presenta suelos de tipo arenosos del orden entisol suborden Psamments los cuales poseen una textura franco arenosa fina o más grosera, además el lugar donde se encuentra la celda emergente es conocida como mina Santa Isabel, “NO propenso a cambios de volúmenes (expansión) y pérdida de capacidad portante ante los cambios de humedad en toda la profundidad estudiada”...

No existen antecedentes de fallas geológicas, ninguna activa en la actualidad o afectaciones por actividad volcánica o sísmica. Esta área no se encuentra propensa a deslizamientos, derrumbes, avalanchas, erosión, inundaciones, etc. (Gisbert, y otros)

Finalmente la localización de la celda corresponde a una distancia mayor a 1.5 km, de distancia horizontal, con respecto al límite del área urbana o suburbana, incluyendo zonas de expansión y crecimiento urbanístico. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2013)

### 1.3.2 Estudios para el Sistema de Tratamiento

Existen algunos estudios que deben ser realizados para el diseño de un relleno sanitario y que sirven como fundamento para el diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados. Para este último la información proporcionada permite conocer cuáles son las características iniciales con las que se deberá empezar a trabajar en el diseño del sistema de tratamiento así como limitaciones, condiciones de la zona y demás consideraciones.

La información que se detallará a continuación contiene datos de la zona en general, así como estudios específicos del lugar donde se ubicará el sistema de tratamiento de lixiviados.

#### 1.3.2.1 Estudio Hidrogeológico

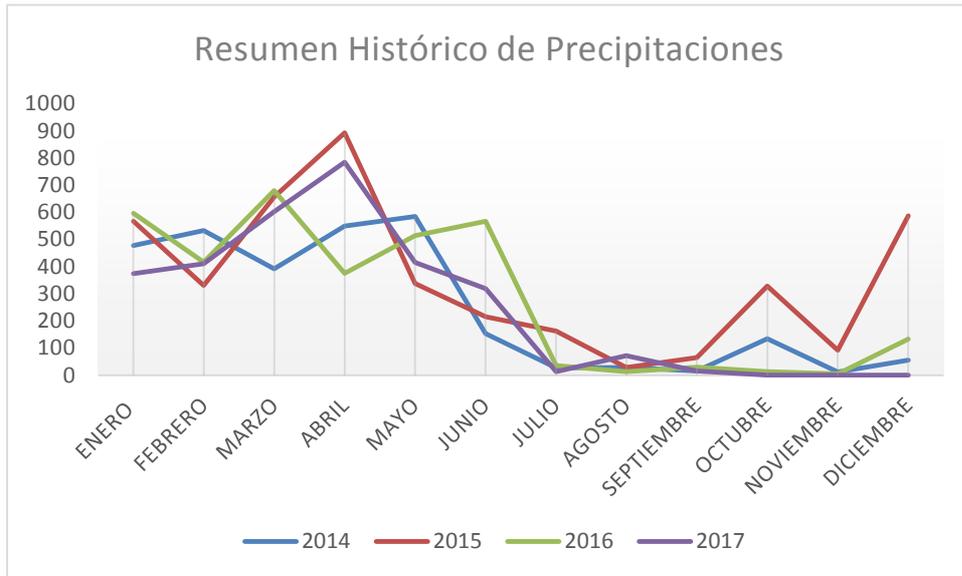
- **Datos Meteorológicos**

**Pisos climáticos del cantón La Concordia:** Tropical Lluvioso y Tropical Megatérmico muy húmedo. Estos pisos climáticos se diferencian esencialmente en la cantidad de precipitación, siendo mayor en el tropical lluvioso, donde éstas pueden sobrepasar los 3000 mm anuales, mientras que en el piso tropical megatérmico muy húmedo fluctúa entre los 2000 y 3000 mm anuales. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 3)

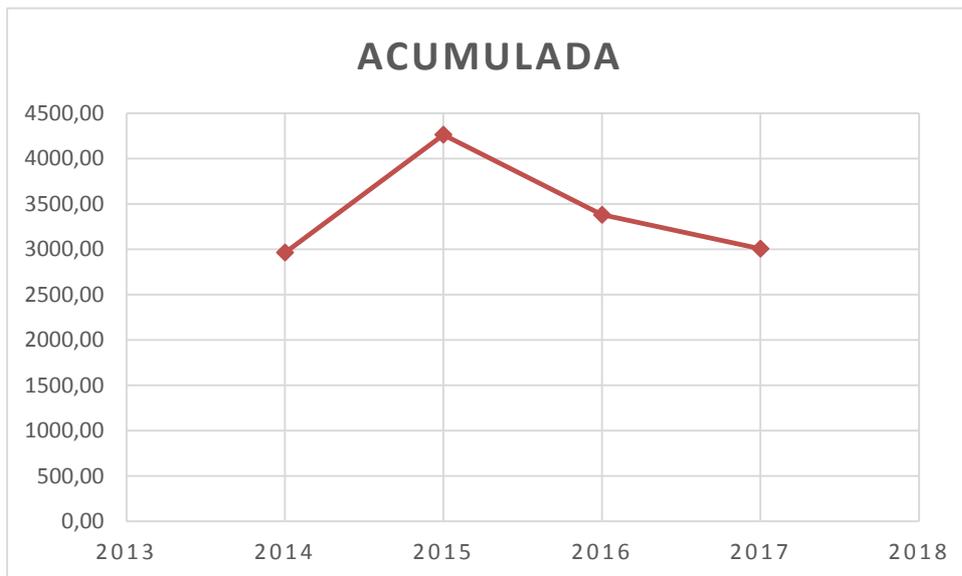
**Tabla 1-1** Resumen Histórico de Precipitaciones

|                    | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>ENERO</b>       | 478,2       | 566,8       | 596,9       | 374         |
| <b>FEBRERO</b>     | 532,6       | 330,6       | 416,6       | 410,7       |
| <b>MARZO</b>       | 392,1       | 656,2       | 680,6       | 602,9       |
| <b>ABRIL</b>       | 549,9       | 892,8       | 375,4       | 785,1       |
| <b>MAYO</b>        | 584,8       | 338,5       | 514,3       | 415,7       |
| <b>JUNIO</b>       | 153,2       | 215,8       | 567         | 319,1       |
| <b>JULIO</b>       | 27,8        | 163,1       | 35,2        | 13,2        |
| <b>AGOSTO</b>      | 28,3        | 28,5        | 13,8        | 71,8        |
| <b>SEPTIEMBRE</b>  | 16,2        | 64,8        | 30,2        | 15,3        |
| <b>OCTUBRE</b>     | 134         | 328,1       | 13,7        | -           |
| <b>NOVIEMBRE</b>   | 12,3        | 91,9        | 5,2         | -           |
| <b>DICIEMBRE</b>   | 55,7        | 587,1       | 133,7       | -           |
| <b>ACUMULADA</b>   | 2965,10     | 4264,2      | 3382,6      | 3007,8      |
| <b>MEDIA ANUAL</b> | 247,09      | 355,35      | 281,88      | 334,2       |

Fuente: Estación meteorológica La Concordia-INAHMI



**Gráfico 1-4** Resumen histórico de precipitaciones  
**Fuente:** Estación meteorológica La Concordia-INAHMI



**Gráfico 1-5** Resumen Histórico Precipitación Anual Acumulada  
**Fuente:** Estación meteorológica La Concordia-INAHMI

- **Hidrología**

El cantón La Concordia se encuentra dentro de la cuenca del río Cocola en los orígenes y es parte de la Macro Cuenca del río Esmeraldas. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 2)

La estación hidrológica de correlación en la cuenca del Río Blanco presenta las siguientes características:

**Cuadro 1-2** Características Estación Hidrológica La Concordia

|                       |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Nombre                | Blanco DJ Toachi (DTE UNICOOP) |
| Código                | H0138                          |
| Cuenca                | 08 Esmeraldas                  |
| Zona Climática        | Subtropical-Perhúmedo          |
| Demarcación           | Esmeraldas                     |
| Cuenca                | Esmeraldas                     |
| Subcuenca             | Río Blanco                     |
| Provincia             | Santo Domingo                  |
| Institución que opera | INAHMI                         |
| Longitud              | 79° 16' 47" Occidental         |
| Latitud               | 00° 5' 2" Sur                  |
| Altitud               | 283 msnm                       |

Fuente: (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA , 2016)

- **Geología del lugar para el sistema de tratamiento para lixiviados**

De acuerdo a la carta geológica de Santo domingo el proyecto se encuentra ubicado en su mayoría por Formación Borbón, la cual es descrita como un depósito detrítico extendido por la cordillera costera del ecuador y está compuesta por limo, arcilla, arenisca arcillosa, arenisca, ocasional y localmente conglomerado. (Ramírez, y otros, 2011 pág. 1)

Sin embargo en el cantón se encuentran otras tres formaciones geológicas que son: Baba, Balzar y San Tadeo.

BABA: consiste de bancos potentes de conglomerados de bloques mayores y gruesos, en matriz areno-guijarrosa, flujos de lodos, capas de tobas aglomeráticas y cenizas generalmente de color café amarillento. (Santamaría, y otros, 1979)

BALZAR: a lo largo del flanco este de la cuenca de Manabí secuencia bien estratificada de conglomerados, limos y arcillas. (Huaco, y otros, 1977)

SAN TADEO: a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Occidental, la secuencia consiste en piroclastos, conglomerados y material heterogéneo, propiamente de derrubio que lubricados con enormes cantidades de agua corrieron cuesta abajo por los cauces de los ríos, rellenando superficies pre-existentes y saliendo de los cauces cubriendo el terreno circundante. (Longo, 1975)

- **Prospección geofísica**

Existen en total 5 estratos identificados de la siguiente manera:

Estrato (A), de cobertura superficial: limo-arcilla de color café claro.

Estrato (B), constituido de arenisca, limo y arcilla húmedos.

Estrato (C), conformado por limo-arcilla húmedo.

Estrato (D), conforma el acuífero 1: predominio de arenisca, arenisca arcillosa, probablemente con conglomerado. Con saturación de agua. Permeabilidad baja a media.

Estrato (E), conforma el acuífero 2: Arenisca arcillosa, arenisca. Con saturación. Permeabilidad baja.

De estos sólo los tres primeros cubren el probable nivel freático, de acuerdo a la información recolectada se concluye que el tipo de suelo que se encuentra conformando el área donde se diseñará el relleno garantiza la estabilidad y posee una permeabilidad media lo que determina que no existirá infiltración de fluidos ya se agua o lixiviados, esto acompañado de una geomembrana reforzada.

Estos datos permiten garantizar que el área donde se ubicará el sistema de tratamiento de lixiviados cuenta con las mismas condiciones del suelo. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 págs. 40-41)

### ***1.3.2.2 Producción per cápita de los residuos***

Se realizó una estimación de la producción per cápita de acuerdo al número de habitantes por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal La Concordia.

La densidad de los desechos estabilizados en el relleno sanitario con compactación mecanizada se ha calculado en 0,627 ton/m<sup>3</sup>, para el material de cobertura se requiere un 17-20 % adicional en volumen. El estudio arrojó los siguientes datos:

**Tabla 1-2.** Producción Residuos sólidos

|                                                     | <b>Valores</b> | <b>Unidad</b>    |
|-----------------------------------------------------|----------------|------------------|
| <b>Producción total de basura per cápita (ppc):</b> | 0,755          | kg/(persona*día) |
| <b>Residuos recolectados (promedio 15 años)</b>     | 31,79          | ton/día          |
| <b>Materia Orgánica Degradable (82,92%)</b>         | 26,26          | Ton/día          |
| <b>Densidad de la basura colocada y compactada:</b> | 0,627          | t/m <sup>3</sup> |

Fuente: GAD Municipal LA CONCORDIA

### ***1.3.3 Metodología***

#### ***1.3.3.1 Muestreo***

Se recolecta la muestra compuesta en forma manual y se realiza la homogenización adecuadamente. Se sella, etiqueta, conserva bajo refrigeración para su transporte al laboratorio.

Las muestras son tomadas en las piscinas de almacenamiento. Se utilizan las normas técnicas:

NTE INEN 2176:2013 AGUA.CALIDAD DEL AGUA.MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.

NTE INEN 2169:2013 AGUA.CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

### 1.3.3.2 Caracterización del Lixiviado

Para determinar el grado de contaminación de los lixiviados y el estado inicial en que se encuentran, deben ser analizados en base a lo siguiente:

#### 1.3.3.2.1 Composición típica de los lixiviados

De acuerdo con la edad de los mismos:

**Tabla 1-3.** Composición típica de los Lixiviados

| COMPONENTE                          | UNIDADES | RELLENO NUEVO (<2 años) |        | RELLENO MADURO (>10 años) |
|-------------------------------------|----------|-------------------------|--------|---------------------------|
|                                     |          | Intervalo               | Típico |                           |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno       | mg/L     | 2000-30000              | 10000  | 100-200                   |
| Carbono Orgánico Total              | mg/L     | 1500-20000              | 6000   | 80-160                    |
| Demanda Química de Oxígeno          | mg/L     | 3000-60000              | 18000  | 100-500                   |
| Sólidos Totales Suspendidos         | mg/L     | 200-2000                | 500    | 100-400                   |
| Nitrógeno Orgánico                  | mg/L     | 10-800                  | 200    | 80-120                    |
| Nitrógeno Amoniacal                 | mg/L     | 10-800                  | 200    | 20-40                     |
| Nitrato                             | mg/L     | 5-40                    | 25     | 5-10                      |
| Fósforo Total                       | mg/L     | 5-100                   | 30     | 5-10                      |
| Fósforo en orto fosfatos            | mg/L     | 4-80                    | 20     | 4-8                       |
| Alcalinidad en CaCO <sub>3</sub>    | mg/L     | 1000-10000              | 3000   | 200-1000                  |
| Potencial Hidrógeno                 |          | 4,5-7,5                 | 6      | 6,6-7,5                   |
| Dureza total como CaCO <sub>3</sub> | mg/L     | 300-10000               | 3500   | 200-500                   |
| Calcio                              | mg/L     | 200-3000                | 1000   | 100-400                   |
| Magnesio                            | mg/L     | 50-1500                 | 250    | 50-200                    |
| Potasio                             | mg/L     | 200-1000                | 300    | 50-400                    |

|              |      |          |     |         |
|--------------|------|----------|-----|---------|
| Sodio        | mg/L | 200-2500 | 500 | 100-200 |
| Cloruro      | mg/L | 200-3000 | 500 | 100-400 |
| Sulfato      | mg/L | 50-1000  | 300 | 20-50   |
| Hierro Total | mg/L | 50-1200  | 60  | 20-200  |

Fuente: Tchobanoglous, et. al., 1994.

### 1.3.3.2.2 Parámetros para caracterización inicial

**Tabla 1-4.** Parámetros a caracterizar

| Parámetros                           | Clasificación   | Métodos                  | Unidades   |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|------------|
| pH                                   | Físicos         | 4500-B                   | -          |
| Turbiedad                            | Físicos         | 2130-B                   | NTU        |
| Conductividad                        | Físicos         | 2510-B                   | µS/cm      |
| Color                                | Físicos         | 2120-C                   | Units PtCo |
| Temperatura                          | Físicos         | 2550-B                   | °C         |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos)       | Físicos         | 2540-C                   | mg/L       |
| TSS(Sólidos Totales Suspendidos)     | Físicos         | 2540-D                   | mg/L       |
| Sólidos Totales                      | Físicos         | 2540-B                   | mg/L       |
| Nitrógeno Amoniacal                  | Químicos        | 4500-NH <sub>3</sub> -C  | mg/L       |
| Nitratos                             | Químicos        | HACH 351                 | mg/L       |
| Nitritos                             | Químicos        | 4500-NO <sub>2</sub> -B  | mg/L       |
| Sulfatos                             | Químicos        | 4500 SO <sub>4</sub> - E | mg/L       |
| Fosfatos                             | Químicos        | 4500-P-D                 | mg/L       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | Químicos        | 5210-B                   | mg/L       |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | Químicos        | 5220-C                   | mg/L       |
| Coliformes Totales                   | Microbiológicos | 9222 – B                 | UFC/100 mL |
| Coliformes fecales                   | Microbiológicos | 9222 – B                 | UFC/100 mL |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

### 1.3.3.2.3 Caracterización inicial

Se realizó la misma en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias.

**Tabla 1-5.** Parámetros Fisicoquímicos muestra Lixiviados

| Parámetros                           | Unidades   | Valor de la muestra | *Valor límite permisible para descargar |
|--------------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------------------|
| pH                                   | -          | 8,70                | 6-9                                     |
| Turbiedad                            | NTU        | 300                 | -                                       |
| Conductividad                        | µS/cm      | 5400                | -                                       |
| Color                                | Units PtCo | 5540                | -                                       |
| Temperatura                          | °C         | 20,4                | -                                       |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos)       | mg/L       | 2800                | -                                       |
| TSS (Sólidos Totales Suspendedos)    | mg/L       | 580                 | 130                                     |
| Sólidos Totales                      | mg/L       | 7452                | 1600                                    |
| Nitrógeno Amoniacal                  | mg/L       | 70                  | 30                                      |
| Nitratos                             | mg/L       | 460                 | -                                       |
| Nitritos                             | mg/L       | 0,48                | -                                       |
| Sulfatos                             | mg/L       | 300                 | 1000                                    |
| Fosfatos                             | mg/L       | 22,8                | 10                                      |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L       | 380                 | 100                                     |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | mg/L       | 1680                | 200                                     |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH-Tabla 9 Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce TULSMA

**Tabla 1-6.** Parámetros Microbiológicos de Muestra Lixiviados

| <b>Parámetros</b>  | <b>Unidades</b> | <b>Valor de la muestra</b> | <b>*Valor límite permisible para descargar</b> |
|--------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| Coliformes Totales | UFC/100 mL      | 10000                      | -                                              |
| Coliformes fecales | UFC/100 mL      | 10000                      | 2000                                           |

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH- \*Tabla 9 Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce TULSMA

Se analizan primero los resultados en base a los valores típicos de lixiviados especificados en la tabla 1-2, para comprobar si las características corresponden a los mismos, cabe recalcar que existe una observación en particular en cuanto a los resultados de la caracterización y hace referencia a los parámetros de Demanda bioquímica de oxígeno y Demanda química de oxígeno cuyos valores se encuentran muy por debajo de los establecidos para Lixiviados.

Se generan algunas especulaciones sobre las causas que podrían haber provocado esta situación y se menciona lo siguiente:

- La finalización del ciclo de vida útil influyen en la calidad del lixiviado, así como las inadecuadas condiciones de la celda emergente, ya que la composición de los mismos no solo dependen de las características de los residuos sólidos sino también de las condiciones que preste el medio donde se generan.
- Las precipitaciones son elevadas en esta zona lo que puede ocasionar que se estén diluyendo los lixiviados, ya que las lluvias a más de influir en la producción del lixiviado en el relleno como es el proceso normal, están incidiendo directamente sobre los lixiviados como tal originando su dilución ya que estos actualmente son recolectados en piscinas sin ningún tipo de cobertura.

Se calcula la relación  $DBO_5/DQO$  para determinar la biodegradabilidad de los mismos obteniéndose un valor de 0,226. El valor calculado revela una baja biodegradabilidad, lo que sugiere que se debe trabajar con procesos físico-químicos, sin embargo cuando se

trata de lixiviados es necesario determinar el tipo de tratamiento a utilizar por medio de la tratabilidad o parte experimental.

Posterior a ello se realiza una comparación de los valores con respecto a los establecidos en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097 publicado en registro oficial 387 del 4 de noviembre del 2015 Libro VI de la Calidad Ambiental de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce para establecer aquellos que se encuentran fuera de rango sobre los cuales se enfocará la tratabilidad.

Los parámetros que se encuentran fuera de rango y que están incumpliendo la normativa se encuentran detallados a continuación:

**Tabla 1-7** Parámetros que no cumplen con la Normativa

| <b>Parámetros</b>                    | <b>Unidades</b> | <b>Valor de la muestra</b> | <b>*Valor límite permisible para descargar</b> |
|--------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| TSS (Sólidos Totales Suspendidos)    | mg/L            | 580                        | 130                                            |
| Sólidos Totales                      | mg/L            | 7452                       | 1600                                           |
| Nitrógeno Amoniacal                  | mg/L            | 70                         | 30                                             |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L            | 380                        | 100                                            |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | mg/L            | 1680                       | 200                                            |
| Coliformes Totales                   | UFC/100 mL      | 10000                      | -                                              |
| Coliformes fecales                   | UFC/100 mL      | 10000                      | 2000                                           |

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH- \*Tabla 9 Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce TULSMA

### ***1.3.3.3 Tratabilidad***

Una vez identificados los parámetros fuera de norma se procede a realizar los ensayos para obtener los valores de remoción lo más altos posibles para ello se desarrolló experimentalmente tres alternativas de tratamiento:

### 1.3.3.3.1 Tratamiento 1

#### Tratamiento Físico-químico

Se realizó por medio de pruebas de jarra utilizando tres coagulantes los cuales fueron sulfato de aluminio, cloruro férrico y policloruro de aluminio (PAC), donde se buscó obtener la dosis adecuada y el coagulante idóneo para una remoción eficiente.

Las dosis que a continuación se detallan fueron aplicadas en vasos de precipitación con un volumen de muestra de 1 litro para cada dosificación.

El valor inicial de la turbiedad y color es de 300 NTU y 5540 Units PtCo respectivamente.

**Tabla 1-8** Datos de turbiedad y color finales luego de la dosificación. Tratamiento 1

| Dosis<br>mL | Sulfato de aluminio<br>10% |                        | Cloruro férrico<br>10% |                        | PAC<br>10%       |                        |
|-------------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------------|
|             | Turbiedad<br>NTU           | Color<br>Units<br>PtCo | Turbiedad<br>NTU       | Color<br>Units<br>PtCo | Turbiedad<br>NTU | Color<br>Units<br>PtCo |
| 10          | 8,01                       | 2475                   | 17,8                   | 3000                   | 50,2             | 3825                   |
| 14          | 6,84                       | 2445                   | 21,7                   | 2490                   | 32,2             | 3275                   |
| 16          | 7,77                       | 2425                   | 20,8                   | 2315                   | 30,6             | 2900                   |
| 20          | 8,52                       | 1805                   | 19,3                   | 2140                   | 31,9             | 2140                   |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

**Tabla 1-9** Eficiencia de remoción para la aplicación de coagulantes. Tratamiento 1

| Dosis<br>Aplicada<br>(mL) | Remoción %                 |       |                        |       |            |       |
|---------------------------|----------------------------|-------|------------------------|-------|------------|-------|
|                           | Sulfato de aluminio<br>10% |       | Cloruro Férrico<br>10% |       | PAC<br>10% |       |
|                           | Turbiedad                  | Color | Turbiedad              | Color | Turbiedad  | Color |

|    |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 97,33 | 55,32 | 94,07 | 45,85 | 83,27 | 30,96 |
| 14 | 97,72 | 55,87 | 92,77 | 55,05 | 89,27 | 40,88 |
| 16 | 97,41 | 56,23 | 93,07 | 58,21 | 89,80 | 47,65 |
| 20 | 97,16 | 67,42 | 93,57 | 61,37 | 89,37 | 61,37 |

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017

Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

Los resultados arrojan que el coagulante con mayor eficiencia alcanzada en general es el Sulfato de aluminio para el cual se escogió como dosis óptima 14 mL , ya que además de proporcionar una buena remoción también se quiere evitar el consumo de cantidades elevadas de coagulante ya esto implica mayores costos económicos en el tratamiento y no es conveniente.

A la muestra tratada con la dosis elegida 14 mL se realizó una prueba de demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, los valores obtenidos (ver resultados tabla 3-11) son aproximadamente los mismos que la muestra inicial, lo que indica que se le debe realizar un tratamiento previo y luego se deberá aplicar el método químico de esta manera habrá menor consumo de coagulantes reduciendo así los costos.

### **1.3.3.3.2 Tratamiento 2**

#### **Tratamiento combinado – Pre tratamiento con aireación seguido de tratamiento Físico-químico**

La aireación permite purificar el agua por medio de la interacción íntima del aire con la misma lo que permite que se produzca un incremento en la cantidad de oxígeno, se reduce contenido de CO<sub>2</sub>, y existe remoción de metano, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos volátiles que son responsables del color y olor de un agua contaminada. (Valera, y otros, 2012)

Este proceso se realizó como tratamiento previo para la muestra cruda antes de ingresar al tratamiento físico-químico, para ello se colocó en dos recipientes 10 litros de muestra cruda en cada uno, se ubicó en los mismos un equipo de aireación casera (bomba de agua para acuario), se mantuvo por lapso de 5 días. El principio de funcionamiento se basa en lo siguiente la bomba genera el movimiento del agua hacia la superficie, haciendo que

ésta interactúe con el aire (aireación) esto permite que se libere el CO<sub>2</sub> hacia el aire y la absorción del oxígeno en el agua.

Se tomó las muestras del proceso resultante y analizaron con el fin de determinar los porcentajes de remoción alcanzados. Se realizó un promedio de las muestras. (Ver en resultados tabla 3-12)

Seguido de la aireación se realizó el tratamiento físico-químico. Donde se observa una disminución en el consumo de coagulantes y además se logró reducir los valores en la mayoría de los parámetros, se estableció la dosis óptima de 8 ml de sulfato de aluminio al 10%. Los valores iniciales de turbiedad y color son 64,9 NTU y 2320 respectivamente.

**Tabla 1-10** Datos de turbiedad y color finales .Tratamiento 2

| Dosis<br>mL | Sulfato de aluminio<br>10% |                     | Cloruro férrico 10% |                     | PAC 10%          |                        |
|-------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------------|
|             | Turbiedad<br>NTU           | Color<br>Units PtCo | Turbiedad<br>NTU    | Color<br>Units PtCo | Turbiedad<br>NTU | Color<br>Units<br>PtCo |
| 4           | 8,53                       | 2290                | 7,53                | 2150                | 8,56             | 2240                   |
| 8           | 6,77                       | 1650                | 8,28                | 2120                | 10,5             | 1870                   |
| 14          | 14,9                       | 1750                | 15,8                | 1760                | 12               | 950                    |

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017  
Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

**Tabla 1-11** Eficiencia de remoción en la aplicación de coagulantes. Tratamiento 2

| Dosis<br>Aplicada<br>(mL) | Remoción %                 |       |                        |       |            |       |
|---------------------------|----------------------------|-------|------------------------|-------|------------|-------|
|                           | Sulfato de aluminio<br>10% |       | Cloruro Férrico<br>10% |       | PAC<br>10% |       |
|                           | Turbidez                   | Color | Turbidez               | Color | Turbidez   | Color |
| 4                         | 86,86                      | 1,29  | 88,40                  | 7,33  | 86,81      | 3,45  |
| 8                         | 89,57                      | 47,84 | 87,24                  | 15,95 | 83,82      | 19,40 |
| 14                        | 77,04                      | 24,57 | 75,65                  | 24,14 | 81,51      | 30,60 |

**Elaborado por:** Dávalos Jasmin, 2017  
Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

### 1.3.3.3.3 Tratamiento 3

#### MICROORGANISMOS

Generalmente estos son utilizados como un tratamiento secundario, para ello se utilizan lo que se conoce como tecnología probiótica; su nombre comercial EM<sup>TM</sup> Effective Microorganisms que quiere decir microorganismos eficaces.

El producto específico es el EM•1® que es “un **PRODUCTO NATURAL** elaborado con microorganismos eficientes que aceleran la descomposición natural de materias orgánicas”.... (TECNOLOGIA EM)

Los microorganismos presentes en el EM•1® están en estado de latencia, por lo que deben ser activados antes de su uso, el PORTAL OFICIAL de la TECNOLOGÍA EM en AMÉRICA LATINA menciona lo siguiente:

**ACTIVACIÓN:** utilizar en cantidades de (1) parte de EM•1® (5%) , (1) parte de melaza (5%) de melaza, en dieciocho partes de agua correspondientes al 90%. Para llevar a cabo este proceso se deben utilizar envases plásticos que se encuentren limpios y con sus respectivas tapas para un cierre hermético y evitar la entrada de aire.

Para un determinado volumen, realizar los siguientes pasos:

- A. Con las medidas especificadas llenar en un envaso primero con 9 partes de agua.
- B. Luego coloque 1 parte de EM•1® y 1 parte de melaza de caña.
- C. Agitar para mezclar de forma homogénea y añadir las otras 9 partes de agua.
- D. Cerrar herméticamente el recipiente para evitar la entrada de aire.
- E. Conservar en un sitio con una temperatura entre 25 a 40°C, de 4 a 7 días para dar paso a la respectiva fermentación.
- F. A partir del 2º día, se empieza a producir gas por lo que se debe estar pendiente de eliminar el exceso, para ello se debe abrir la tapa del recipiente lo suficiente para eliminarlo. Revisar esporádicamente.

- G. Una vez transcurrido el tiempo necesario, revisar el pH de la solución que debe rodear un valor 4,0, o un olor agrídulce agradable y exista un cambio de color de café-oscuro a café-anaranjado, indicadores de que se han activado correctamente los microorganismos.
- H. Los microorganismos activados se deben emplear dentro de los subsiguientes 35 días, ya que cumplido este período deja de hacer efecto.
- I. Si se presentan olor podrido y no es agrídulce y agradable, o si el pH no está abajo de 4,0, entonces hubo contaminación y la solución con el producto debe ser desechado.

En la experimentación se preparó un volumen de 2 litros para la activación del producto, una vez finalizada esta etapa se procede a la aplicación de los mismos.

Se trataron 20 litros de muestra de lixiviados para conocer el equivalente de producto preparado a utilizar se realizó una relación 1:1000 es decir por cada 1000 ml de lixiviado se agregó 1 ml de EM1 dando un total de 20 ml para la muestra total a tratar. Una vez aplicado se deja reposar un mes.

Una vez finalizado el periodo de espera se procedieron a evaluar los parámetros para conocer las eficiencias. Ver en resultados tabla 3-14.

#### ***1.3.4 Caudal de Lixiviados***

Para realizar un diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados se debe emplear las condiciones de salida del relleno sanitario al cual se va a complementar.

Para ello se muestran los resultados tabla 1-11 de los métodos empleados en el diseño del relleno ya que con ellos se realizará la implementación del mismo y por ende serán los que ingresarán en el sistema de tratamiento.

**Tabla 1-12** Resultados métodos para la estimación del caudal

| <b>Método Suizo simplificado</b> | <b>Método de Eva Roben</b> | <b>Método de Balance Hídrico</b> | <b>Método Suizo Modificado</b> | <b>Método Corenostos</b> |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| L/s                              | L/s                        | L/s                              | L/s                            | L/s                      |
| 1,30                             | 1,98                       | 4,37                             | 0,034 a 0,038                  | 0,025 a 0,132            |

Fuente: (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 63)

Elaborado por: GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA

### **1.3.4.1 Análisis de métodos para la definición del caudal**

**Método Suizo Simplificado:** se realiza en función de la precipitación, área del relleno y el coeficiente que establece la proporción de precipitación que se puede convertir en lixiviado. No toma en consideración que el área del relleno empleada varía en función del avance de la celda diaria y tiempo de utilidad y se obtiene el valor expresado en la tabla 1-8. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 63)

**Método de Eva Roben:** toma en cuenta las variables de precipitación, área del relleno, modo de operación- compactación y el tipo de residuos sólidos. En este caso al igual que el anterior el valor representa un caudal constante. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 63)

**Método Balance Hídrico:** valora las modificaciones de disponibilidad del agua en el suelo, movimiento y salida en una zona determinada, lo que se conoce como una microcuenca. Incorpora parámetros de precipitación, evaporación, los cambios de humedad del suelo, la infiltración y la escorrentía.

También toma en cuenta la superficie y la topografía del terreno, lo cual le permite establecer cuando se presenta escases o exceso de agua en el suelo; otro parámetro es la evapotranspiración. En el cálculo se asume el área total del relleno para todo el período de vida útil. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 63)

**Método Suizo Modificado:** la diferencia con método simplificado es la utilización del área superficial que se va a utilizar cada año. Se obtiene el caudal anual de lixiviados para el período de diseño. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 64)

**Método Corenostos:** este método es más complejo ya que permite hacer una simulación del proceso del relleno y estimar no sólo el caudal de lixiviados sino también el volumen que se generará de biogás proyectado a los años de vida útil. Utiliza porcentajes de la fracción orgánica de los residuos depositados, la humedad, la generación de residuos, valores mensuales de lixiviados durante el período de vida útil del relleno sanitario. Los resultados de los métodos se encuentran detallados en la tabla 1-8.

Considerando los parámetros utilizados, las características y condiciones, las cuales deben permitir obtener los valores más acertados a la realidad, se considera como el más apropiado al método de Corenostos por su complejidad y forma de análisis. (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017 pág. 64)

En conclusión el caudal que se utilizará para el sistema de tratamiento para lixiviados será de 0, 132 L/s.

#### **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

La realización del diseño del Sistema de Tratamiento para Lixiviados tendrá como directos beneficiarios a la población general de la zona que abarca los 42.924 habitantes de acuerdo al censo del año 2010 realizado por el INEC y que se ha ido incrementando hasta la actualidad, así como al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón La Concordia, ya que con este proyecto se pretende lograr un impacto positivo garantizando la salud y bienestar de la población mejorando la calidad de vida debido a la minimización de los impactos ambientales causados por los desechos.

Como resultado del proyecto se beneficiarán indirectamente el sector agrícola de la zona ya que al realizar un buen diseño de la planta y una vez implementada la misma, se evitarán filtraciones futuras de lixiviados que puedan contaminar el suelo y los afluentes cercanos, que son los principales recursos para este sector.

## **CAPÍTULO II**

### **2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 Objetivo General**

Diseñar un Sistema de Tratamiento para los lixiviados generados en el cantón La Concordia de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización de los lixiviados y comparar los parámetros encontrados con los límites máximos permitidos en la Normativa legal vigente referenciada con el Acuerdo Ministerial 097 del Libro VI de la Calidad Ambiental.
- Definir el tipo de tratamiento para los lixiviados en base al tipo de relleno sanitario y la línea base del sector.
- Identificar las variables del proceso y realizar los cálculos de ingeniería para el sistema de tratamiento para lixiviados.
- Validar técnica y económicamente el diseño del sistema de tratamiento para lixiviados del Cantón La Concordia.

## CAPÍTULO III

### 3 ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

#### 3.1 Localización del proyecto

El Cantón La Concordia, se encuentra ubicado al Noroccidente de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas a 217 msnm en la zona noroccidental del Ecuador, a una distancia de unos 35 km de la Ciudad de Santo Domingo de los Colorados y a 162 km a la Ciudad de Quito por la ruta A loag Santo Domingo, una de las zonas con mayor pluviosidad y riqueza hidrológica del País y una zona climática lluviosa tropical. Su temperatura habitual es de unos 20 a 35°C en verano. (GAD MUNICIPAL, 2016)

##### *3.1.1 Ubicación específica - Nuevo relleno sanitario y sistema de tratamiento de lixiviados*

El relleno sanitario se ubicará en el sector San Daniel, del cantón La Concordia. La entrada se muestra en la fotografía 3-1.



**Fotografía 3-1** Ingreso al lugar de disposición final “San Daniel”  
Fuente: GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017

**Cuadro 3-1** Datos informativos Sistema de Tratamiento para Lixiviados

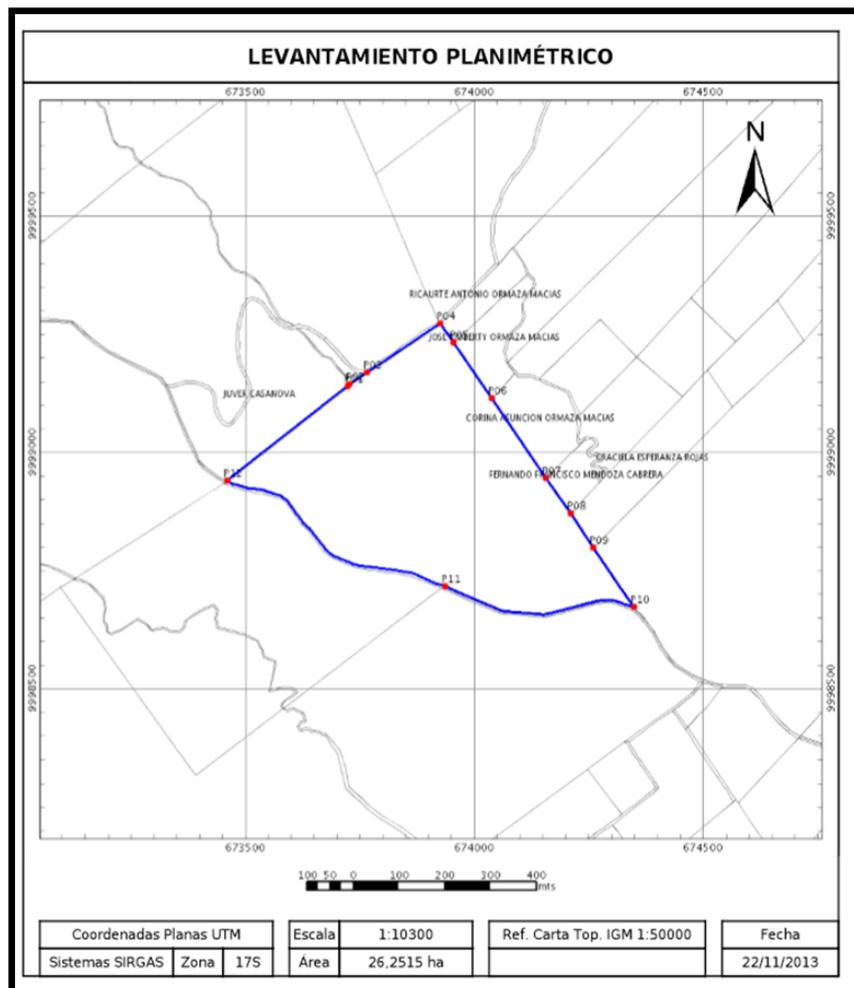
|                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Provincia</b>        | Santo Domingo de los Tsáchilas |
| <b>Cantón</b>           | La Concordia                   |
| <b>Parroquia</b>        | La Concordia                   |
| <b>Sector</b>           | San Daniel                     |
| <b>Área total</b>       | 26,2515 Ha                     |
| <b>Área del relleno</b> | 11,899                         |

Fuente: GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2017

**Tabla 3-1.** Coordenadas “San Daniel”

| VÉRTICE | Coordenadas planas<br>UTM WGS84 |         | H   | REFERENCIA                   |
|---------|---------------------------------|---------|-----|------------------------------|
|         | X                               | Y       |     |                              |
| 1       | 0674169                         | 9998672 | 495 | VÍA EXTRACTORA<br>SAN DANIEL |

Fuente: (GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA , 2016 pág. 21)



**Gráfico 3-1** Geometría del sitio de disposición final

Fuente: GAD MUNICIPAL LA CONCORDIA, 2016

**Cuadro 3-2** Propiedades de la zona del Sistema de tratamiento de lixiviados

| <b>Parámetro</b>                                           | <b>Valor</b>                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de suelo                                              | Suelos del orden Inceptisol.                                                                                                             |
| Cuerpos de agua cercanos                                   | Estero sin nombre                                                                                                                        |
| Inundabilidad del terreno                                  | El territorio de La Concordia, no tiene mayores riesgos de inundación. Esta zona se considera con moderada susceptibilidad a inundación. |
| Eficiencia del drenaje superficial                         | Bueno, existe suficiente pendiente                                                                                                       |
| Tipo de relleno a implantar                                | Mecanizado                                                                                                                               |
| Uso cercano del suelo                                      | Tierra agropecuaria                                                                                                                      |
| Distancia a la población más cercana                       | Única casa a 39,2 metros. Casas esporádicas entre los 50 y 370 metros.                                                                   |
| Distancia a la mina para material de cobertura más cercana | En el mismo sitio (laderas de terrenos aledaños)                                                                                         |
| Distancia con el cuerpo de agua más cercano al terreno     | Estero sin nombre a 655 metros.                                                                                                          |
| Distancia total al sitio                                   | 18,2 Km.                                                                                                                                 |
| Distancia al sitio en carretera de primer orden            | Av. Villegas a 1,26 Km.                                                                                                                  |
| Distancia al sitio en ruta de segundo o tercer orden       | Vía segundo orden, 370 metros.                                                                                                           |
| Clima                                                      | Tropical Lluvioso                                                                                                                        |
| Fuerza del viento                                          | No existen fuentes considerables, el 75% del tiempo no existen vientos.                                                                  |
| Impacto visual                                             | Plantaciones de Palma<br>Plantaciones de Plátano<br>Cultivos de Maíz<br>Presencia de un cuerpo de Agua                                   |
| Tipo de topografía                                         | Son superficiales moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada                                                               |

Fuente: (GRUPO CONSULTOR VICTORIA, 2016)

## 3.2 Ingeniería del Proyecto

### 3.2.1 Terminología

#### 3.2.1.1 Lixiviado

Es aquel líquido que resulta de la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos el cual percola a través de los mismos, y que puede aumentar su volumen debido

a las aguas pluviales que atraviesan las capas de basura. Este líquido es maloliente y presenta un color negro-marrón. (Jaramillo, 2002)

### **3.2.1.2 Formación de lixiviados**

Tchobanoglous, (1994) define al lixiviado como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión. El lixiviado primario proviene de la disolución de sales solubles o de materiales orgánicos solubles que existen en el relleno original. La materia orgánica disuelta dará al lixiviado su color marrón-negruzco.

Los vertederos se convierten rápidamente en reactores anaerobios, que es un ambiente químicamente de naturaleza reductora. Esto induce a los iones de sales férricas a ser reducidos al estado ferroso.

El sulfato en los residuos puede ser reducido bioquímicamente a sulfuros, lo que puede conducir a la generación de pequeñas cantidades de sulfuros de hidrógeno o a que este se mantenga con otros metales altamente insolubles dentro del vertedero. Los sólidos suspendidos y la turbidez pueden estar presentes en el lixiviado debido al lavado de los materiales sólidos finos en los residuos. (ATEGRUS, 2010)

Su composición varía en función de la edad y condiciones en la zona de generación, la biodegradabilidad varía con el tiempo y puede ser verificada mediante la relación de DBO5/DQO. Cuando se obtienen valores en un rango entre 0,4 a 0,6 es un indicador de que la materia orgánica en el lixiviado es fácilmente biodegradable.

En el caso de vertederos viejos los valores se encuentran en un rango de 0,05 a 0,2; esto se debe a que en el caso de estos últimos existe contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables. (Tchobanoglous, y otros, 1994 págs. 471-472)

### 3.2.1.3 Parámetros

#### pH

En general se define como la medida de acidez o alcalinidad de una sustancia, para lixiviados se obtendrá un pH bajo en caso de recoger la muestra durante lo que se conoce como fase ácida mientras que si lo realiza en la fase de fermentación del metano resultará en un rango entre 6,5 a 7,5. Este depende no solo de la concentración de los ácidos presentes sino también de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas de vertedero. (Tchobanoglous, y otros, 1994 pág. 471)

Se encuentra relacionado con la conductividad y la solubilidad de ciertos metales, el pH debe encontrarse entre 6 y 8, considerándose la calidad del agua mala más allá de 5,5 o de 8,6.

#### CONDUCTIVIDAD

“La conductividad de una sustancia se define como *"la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido"*. Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición SI”.....

Depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo. También es considerada como un indicador de que existe contaminación es decir a un mayor valor de la conductividad existe mayor contaminación, generalmente el agua dulce posee entre 30 y 40 µS/cm, pero las actividades humanas incrementan la cantidad de iones disueltos. (Infoagro, 2016)

#### SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES - TDS

Son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea la molécula de agua pura (H<sub>2</sub>O) y sólidos en suspensión; la concentración de sólidos disueltos totales es la suma de los cationes (carga positiva) y aniones (cargado negativamente) iones en el agua.

Los sólidos disueltos totales se diferencian de los sólidos suspendidos totales (SST), en que este último no puede pasar a través de un tamiz de dos micrómetros y aún están suspendidos indefinidamente en solución. (Sólidos Disueltos Totales(TDS) & Electroconductividad)

## **TURBIDEZ**

Se considera como turbidez a la falta de transparencia de una sustancia como consecuencia de la presencia de partículas en suspensión, es un buen indicador de la calidad del agua, es decir a mayor turbidez menor calidad. Entre algunas de las sustancias que provocan turbidez se encuentran materia orgánica, fitoplancton, arcillas, coloides o sedimentos.

Influye en el oxígeno disuelto provocando una disminución del mismo ya que las partículas en suspensión absorben calor extra provocando calentamiento en el agua, además el impedimento del traspaso de la luz baja la tasa fotosintética que es proporcional a la producción de oxígeno. (Proyecto Río Henares, 2013)

## **COLOR**

“El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentren disueltas, como de las partículas que se encuentren en suspensión. Se clasifica como “color verdadero” al que depende solamente el agua y sustancias disueltas, mientras el “aparente” es el que incluye las partículas en suspensión (que a su vez generan turbidez). El color aparente es entonces el de la muestra tal como la obtenemos en el sistema a estudiar. Para determinar el color verdadero, sería necesario filtrarla para eliminar todas las partículas suspendidas”. (MAPSA, 2007)

## **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES-SST**

Son partículas o sustancias que ni se disuelven ni se asientan en el agua, son visibles y regularmente flotan entre la superficie y el fondo; pueden ser tratados mediante medios físicos o mecánicos ya sea por sedimentación o filtración. (Sólidos Disueltos Totales(TDS) & Electroconductividad)

Están constituidos en su mayoría por desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua, además las partículas de materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en su superficie.

(Argandoña, y otros, 2013)

## **SÓLIDOS TOTALES**

Son aquellos que incluyen toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. Los sólidos totales se definen como la materia que permanecen como residuos después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). (Torres, 2006)

## **SULFATOS**

Se encuentran en la naturaleza y en todo tipo de aguas, pueden provenir de la oxidación bacteriana de sulfuros, procesos industriales como la disolución de yesos, entre otros. Su concentración fluctúa entre 20-50 mg/L. Una ventaja de ellos es que cuando existe alta concentración de sulfatos estos insolubilizan los metales pesados de esa manera reducen la toxicidad, sin embargo tiene una dosis letal de 45 g para humanos, como sal de potasio o de zinc, en este caso no se ha definido si la toxicidad se debe al sulfato o al ión asociado. (Sancha, 2013)

Aguas con una concentración mayor de 600 mg/l pueden tener efectos laxantes. El límite de concentración de sales de sulfatos que generan sabor en las aguas está entre 250 y 500 mg/L. (Martínez, 2010)

## **NITRATOS**

Compuestos nitrogenados como producto del ciclo del nitrógeno donde las bacterias nitrosomonas y nitrobacterse transforman el amoníaco en sustancias menos tóxicas que son los nitratos; estos generalmente provienen de la actividad agrícola y son una fuente de contaminación. El nitrógeno es un nutriente para las plantas y su presencia en el agua puede acelerar el crecimiento excesivo del fitoplancton produciendo eutrofización de las aguas.

Las aguas sin contaminación normalmente presentan unos niveles de nitratos inferiores a 4 mg/L. Si la concentración de nitratos es superior a 25 mg/L se considera que el estado de la masa de agua es malo. (Proyecto Río Henares, 2013)

## **NITRITOS**

Cuando se encuentran estos compuestos en el agua es un indicar que ha existido recientemente contaminación de carácter fecal. Aguas subterráneas sometidas a un ambiente reductor y/o pobre en oxígeno, pueden contener nitritos, mientras que aguas profundas tienen concentraciones mayores a las superficiales. Su toxicidad se basa en su capacidad de transformar hemoglobina de la sangre en metahemoglobina incapaz de fijar el oxígeno y hacer correctamente la respiración celular. (Sancha, 2013)

## **FOSFATOS**

La entrada de iones fosfatos en exceso puede provocar contaminación en el agua, una de las principales fuentes de estos compuestos son las derivadas de fertilizantes. Funciona como un nutriente limitante para el crecimiento de algas, cuando estas se descomponen se agota el oxígeno disuelto y hace que el agua se vuelva mal oliente, verde y viscosa.

Para su eliminación, se realiza generalmente por precipitación de su sal de calcio,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . Una parte del fósforo se elimina en la etapa de tratamiento secundario, ya que los microbios lo incorporan como nutriente para su crecimiento.

## **NITRÓGENO AMONIACAL**

Una elevada cantidad de nitrógeno amoniacal causa problemas en las aguas principalmente industriales. El nitrógeno es un nutriente esencial para la vida sin embargo una excesiva presencia en medios acuáticos genera problemática la principal la eutrofización seguida de la muerte de pescados por anoxia.

Para el caso de los lixiviados de vertedero, donde existen concentraciones extremas de nitrógeno y muy poca materia orgánica biodegradable. La eliminación de este nitrógeno mediante los procesos convencionales de las depuradoras dispara el consumo energético

y de reactivos incrementando los costes del tratamiento. (Campus Euromediterráneo del turismo y del agua)

## **DBO**

La prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un procedimiento experimental, que permite medir el oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos al degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Permite determinar la calidad del agua, en cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica más oxígeno requerirán los microorganismos para degradarla. Este proceso debe ser realizado con una duración de cinco días, indica la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente. (Andreo)

## **DQO**

La demanda química de oxígeno (DQO) determinar la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente toda la materia orgánica que se pueda encontrar presente en la muestra, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Difiere de la DBO en que en esta última prueba solo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable. En la determinación de DQO todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador. (METCALF & EDDY, 1996)

### ***3.2.2 Alternativas de tratamiento de lixiviados***

Existen diferentes alternativas de tecnologías para los sistemas de tratamientos, las cuales se pueden clasificar de acuerdo con varias características ya sea los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

### **3.2.2.1 Tratamientos biológicos**

#### **3.2.2.1.1 PROCESOS ANAEROBIOS**

Cuando se trata de Materia Orgánica Fácilmente Biodegradables (MOFBD) puede considerarse ideal un proceso de este tipo basado en reducciones de DBO que muestran altas eficiencias, estos son procesos simples y que no generan mayor producción de lodos; mientras que en términos de rentabilidad representan costos menores por inversión, operación y mantenimiento. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

**Mecanismo:** también existe la posibilidad de que la materia orgánica sufra una descomposición en ausencia de oxígeno, pero esta es mucho más lenta que en presencia de este. Ésta se da cuando se acaba el aire retenido en medio del relleno y generalmente en el fondo. Como resultado de la transformación inicialmente genera ácidos orgánicos, después metano y dióxido de carbono, mientras se lleva a cabo la desnitrificación y la reducción de los diversos componentes, sobre todo de los sulfatos. (Vasquez, 2001)

#### **3.2.2.1.2 PROCESOS AEROBIOS**

Estos procesos abarcan desde piscinas aireadas hasta complejos sistemas unidos a reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas. Están indicados en los casos donde se ha pedido obtener una baja concentración de DBO en los efluentes.

Para este caso los costos son superiores que en los procesos anaerobios en la situación de que los lixiviados, por lo que generalmente se utilizan como post-tratamiento de estos últimos o para lixiviados viejos. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

**Mecanismo:**

Cuando existe oxígeno, los microorganismos afines a éste que se encuentran ya sea en los residuos o el ambiente, permiten que se dé la descomposición de la materia orgánica

presente. Esto se da gracias a que en medio del relleno se encuentra aire retenido en tanto que la parte superior recibe aire del ambiente; para este proceso es muy importante la variable humedad que como requerimiento óptimo debe encontrarse en alrededor del 60%. Como resultado de este proceso se tiene CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), NH<sub>3</sub> (Amoníaco) y H<sub>2</sub>O, entre otros. (Vasquez, 2001)

### **3.2.2.2 *Sistemas naturales***

“Son aquellos que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos” (García, y otros, 2008)

Aquí se encuentran también las lagunas y humedales artificiales, estos emulan a los humedales naturales y su función es depurar los lixiviados, tienen operaciones simples y alcanzan diferentes niveles de tratamiento desde pre tratamientos hasta tratamientos terciarios. En cuanto a costos es muy competitiva en comparación con otras alternativas.

### **3.2.2.3 *Evaporación***

Este sistema es nuevo y consiste en utilizar la energía del biogás obtenido en el relleno para evaporar el lixiviado por calentamiento, mientras que los lodos que resultan se colocan de nuevo en el relleno. En sitios con alta pluviosidad se realiza el almacenamiento de los lixiviados cubiertos de una geomembrana en época de invierno para evitar el ingreso de las aguas de lluvia; mientras que en época de verano son descubiertos. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

### **3.2.2.4 *Recirculación de lixiviados***

Se conoce su empleo como tecnología del relleno biorreactor que consiste en convertir al mismo relleno en un gran biorreactor anaerobio donde se logra la conversión a metano de los ácidos grasos de los lixiviados; con la recirculación de los lixiviados se logra un aumento en la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez genera un aumento de la

tasa de producción de gas metano en el relleno. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

### **3.2.2.5 Sistemas de membranas**

Dentro de las aplicaciones de este sistema se encuentran micro filtración, ultrafiltración, ósmosis inversa, ósmosis directa e inclusive la pervaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de proceso de tratamiento. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

- **ULTRAFILTRACIÓN**

El principio de micro y ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Para la eliminación completa de los virus, se requiere la ultrafiltración. Los poros de las membranas de ultrafiltración pueden retirar de los fluidos partículas de 0.001 – 0.1  $\mu\text{m}$ .

- **PERVAPORACIÓN**

“La per vaporación se reconoce como un proceso de separación en que se separa una mezcla líquida binaria o multicomponente por vaporización parcial a través de una membrana densa, es un método basado en membrana para la separación de líquidos por vaporización parcial a través de una membrana no porosa”.... (MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR PERVAPORACIÓN: UNA REVISIÓN, 2015)

- **BIORREACTORES CON MEMBRANA (MBR)**

Se utilizan igual que los sistemas biológicos de tratamiento, lo que se diferencia es la sustitución del sedimentador como sistema de separación sólido- líquido por un sistema de micro o ultrafiltración. Igualmente se logran aumentos significativos en la cantidad de biomasa que se tiene dentro de los reactores, pero al mismo tiempo se puede perder eficiencia en la transferencia de masa en la aireación, de tal manera que se aumentan los costos de energía por este sentido.

- **ÓSMOSIS INVERSA**

Se obtienen excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Una ventaja que se reporta con frecuencia en el caso de la ósmosis inversa son los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología cuando se compara con otras tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación.

Igualmente se ha reportado una disminución significativa del flux a través de la membrana con el aumento de la concentración de DBO en el concentrado, lo que conlleva la necesidad de tener varios sistemas trabajando en serie para optimizar el proceso. En la terminología de las membranas se denomina el permeado lo que pasa la membrana y el concentrado lo que queda retenido.

La tecnología es intensiva en cuanto a la operación y mantenimiento necesario, por la necesidad de hacer lavados, limpiezas y reemplazos de las membranas, consideración que debe tenerse en cuenta en el momento de seleccionar la tecnología. (TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS: AVANCES RECIENTES, 2001)

### ***3.2.2.6 Tratamientos físico-químicos***

Consiste en la aplicación de coagulantes y se debe encontrar la dosis adecuada para la remoción de parámetros, comprende procesos de coagulación, floculación y sedimentación.

**Coagulación:** su objetivo es disminuir el potencial zeta por adición de iones específicos e inducir la desestabilización de las partículas para aglomerarlas.

**Floculación:** su finalidad es reunir las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado flóculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos.

**Sedimentación:** es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. (Cogollo, 2010)

### ***3.2.3 Elección del tratamiento a efectuar***

De acuerdo a lo realizado en la tratabilidad existen tres alternativas de tratamiento, de las cuales se analizan los resultados y eficiencias.

Se ha comprobado mediante estudios que los tratamientos físico-químicos no son eficientes en cuanto a remoción de DQO en el caso de lixiviados e implica gasto de grandes cantidades de químicos como se pudo constatar en la experimentación y por ende mayores costes económicos. Los procesos aerobios (aireación) por su parte poseen mayores rendimientos de depuración utilizados como procesos biológicos. (Corena, 2008)

Al aplicar un tratamiento combinado con aireación (pre tratamiento)-físico químico si bien es cierto se logró una reducción en el consumo de coagulantes y buenos porcentajes de remoción en la mayoría de parámetros estudiados, no se observó cambios significativos en remoción de DQO.

La utilización de microorganismos para ayudar a la aceleración de la oxidación de la materia orgánica por medio de procesos aerobios. Los procesos biológicos son más recomendables en cuanto a lixiviados, aunque si bien es cierto todo depende de las características que presenten.

Aunque la teoría sugiere que se deben utilizar un sistema de tratamiento físico-químico debido al índice de biodegradabilidad determinado, después de realizar la tratabilidad se concluye que deberá realizar un tratamiento biológico ya que es el que obtuvo mejores rendimientos.

*En base a todas las consideraciones mencionadas anteriormente se realizará un tratamiento biológico aerobio con adición de microorganismos.*

### ***3.2.4 Parámetros de diseño para el sistema de tratamiento***

Los cálculos de la generación de lixiviados mediante diferentes métodos, dieron como resultado un caudal de 0,132 L/s mismo que servirá para un periodo de 15 años que es la vida útil proyectada para el sistema de tratamiento para lixiviados.

### 3.2.4.1 Tanques de recepción

Se deberán dimensionar tanques de recepción para distribuir de manera uniforme el caudal de manera que se pueda compensar, esto debido al tiempo que deberán permanecer en el reactor aerobio.

- **Volumen total requerido**

Para conocer el volumen que se requerirá receptor en período de 15 días que es tiempo en el que deben estar los microorganismos en el reactor, se debe tomar en cuenta el caudal de entrada y el tiempo de llenado ( $t_{ll}$ )

$$V_{TR} = Q \times t_{ll}$$

Ecuación 1

Donde:

$Q$  : Caudal de lixiviados,  $m^3/d$

$t_{ll}$  : Tiempo de llenado es igual al tiempo de retención celular, d

- **Volumen para cada tanque de recepción**

Se construirán 5 tanques en los que se distribuirá el volumen total requerido y se controlarán por medio de válvulas manuales.

$$V_{IT} = \frac{V_{TR}}{N_T}$$

Ecuación 2

Donde:

$V_{IT}$  : Volumen individual para los tanques,  $m^3$

$V_{TR}$  : Volumen total requerido,  $m^3$

$N_T$ : Número de tanques a construir

### 3.2.4.2 Reactor biológico de tipo aerobio

Los procesos de tipo biológico permiten depurar los lixiviados a través del control de microorganismos proveyendo un ambiente adecuado para su crecimiento, ya que estos cumplen la función de degradar la materia orgánica que se encuentra presente en el líquido.

Cuando se trata de tratamientos aerobios es decir reactores o tanques de aireación los microorganismos de este tipo presentes en ellos transforman la materia y así obtienen energía, a raíz de ello se generan nuevas células y compuestos como producto de la degradación.

Seguido de la oxidación de la materia orgánica presente es necesario que se dé una buena formación del flóculo para una posterior separación. (METCALF & EDDY, 1996)

Los reactores pueden determinarse en base a su régimen de mezcla ya sea completa o flujo pistón, y también se lo puede hacer en base a su régimen de alimentación como continuo o discontinuo. Usualmente se diseñan sistemas continuos de mezcla completa.

Para los de mezcla completa las geometrías que más se acoplan a sus condiciones son rectangulares (Relación longitud/ancho menor a 3), circulares y los canales de oxidación.

#### 3.2.4.2.1 Dimensionamiento del Reactor Aerobio

- **Volumen del Reactor**

$$V_{RA} = \frac{t_{rc} k_{PC} (C_0 - C) Q}{C_{SSV} (1 + k_{dE} t_{rc})}$$

Ecuación 3

Donde:

$V_{RA}$  : Volumen del Reactor aerobio, m<sup>3</sup>

$t_{rc}$  : Tiempo medio de retención celular, d

$k_{PC}$  : Coeficiente de Producción celular, kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada

$C_0$  : Concentración del DBO a la entrada,  $\text{kg/m}^3$

$C$  : Concentración del DBO al final del tratamiento,  $\text{kg/m}^3$

$Q$  : Caudal de lixiviados,  $\text{m}^3/\text{d}$

$C_{SSV}$ : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor,  $\text{kg/m}^3$

$k_{dE}$  : Coeficiente de degradación endógena

**Tiempo de retención celular:** es el tiempo en el que la masa de células o biomasa se encuentra presente en el sistema, es decir en el reactor biológico. Se debe tener el tiempo necesario para que las bacterias asimilen la materia orgánica que contiene el agua. Si no se tiene un tiempo de retención adecuado no se lograra remover toda la materia orgánica y la DBO del efluente será alta. (Jimenez, 2014)

**Degradación endógena:** disminución de la masa celular a causa de factores como la muerte y depredación, es proporcional a la concentración de organismos presentes. (METCALF & EDDY, 1996)

**Coeficiente de producción celular:** la variación de masa de los organismos es proporcional a la variación de concentración del sustrato.

- **Profundidad del tanque**

**Tabla 3-2** Criterios de diseño para Reactor aerobio

| CRITERIO DE DISEÑO         | UNIDAD | VALOR     | VALOR TÍPICO |
|----------------------------|--------|-----------|--------------|
| Profundidad                | m      | 2 – 5     | 3            |
| Longitud                   | m      | 7,5 – 20  | 12           |
| Ancho                      | m      | 2,5 – 7   | 3,5          |
| Relación ancho-profundidad | Razón  | 1:1 a 5:1 | 1,5:1        |
| Relación largo-ancho       | Razón  | 3:1 a 5:1 | 4:1          |

Fuente: (METCALF & EDDY, 1996)

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017

Para la profundidad se escoge el valor mínimo de 2 m ya que se trata de un caudal pequeño.

Por lo tanto:

$$P_{RA} = 2m$$

Ecuación 4

Donde:

$P_{RA}$  : Profundidad del reactor, m

- **Altura total del reactor**

Se debe proporcionar un factor de seguridad al reactor que se recomienda tenga un valor entre 0,3 m- 0,6 m. (Fandiño, 2017)

$$H_{TRA} = f_{SRA} + P_{RA}$$

Ecuación 5

Donde:

$H_{TRA}$  : Altura del reactor, m

$f_{SRA}$  : Factor de seguridad o borde libre, m

- **Ancho del Reactor**

De acuerdo a la tabla 3-2 la relación ancho profundidad corresponde a 1,5: 1 que es el valor más usual utilizado.

$$a_{RA} = 1,5P_{RA}$$

Ecuación 6

Donde:

$a_{RA}$  : Ancho del reactor, m

$P_{RA}$  : Profundidad del reactor, m

- **Longitud del reactor**

$$V_{RA} = a_{RA} \times L_{RA} \times P_{RA}$$

Ecuación 7

$$L_{RA} = \frac{V_{RA}}{a_{RA} \times P_{RA}}$$

Ecuación 8

Donde:

$L_{RA}$  : Longitud del reactor, m

$a_{RA}$  : Ancho del reactor, m

$P_{RA}$  : Profundidad del reactor, m

$V_{RA}$  : Volumen del reactor, m<sup>3</sup>

- **Criterios de carga**

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo de residencia en el reactor.

$$t_{rh} = \frac{V_{RA}}{Q}$$

Ecuación 9

Donde:

$t_{rh}$  : Tiempo de retención hidráulica, d

$V_{RA}$  : Volumen del reactor, m<sup>3</sup>

$Q$  : Caudal del Lixiviados, m<sup>3</sup>/d

La Relación alimento/microorganismos es aquella masa de sustrato que se coloca a diario en relación a la masa de microorganismos (sólidos suspendidos) en el reactor.

$$\frac{F}{M} = \frac{C_0}{t_{rh} C_{SSV}}$$

Ecuación 10

Donde:

$F/M$ : Relación alimento/microorganismos, kg de DBO a la entrada/kg de sólidos suspendidos por día

$C_0$  : Concentración del DBO a la entrada, kg/m<sup>3</sup>

$t_{rh}$  : Tiempo de retención hidráulica, d

$C_{SSV}$ : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor, kg/m<sup>3</sup>

De acuerdo a los resultados cuando el valor es menor a 0,05 se debe realizar una purga ya que se encuentra en exceso, si es mayor a 0,15 se debe aumentar la concentración en el reactor por medio de una recirculación de lodo.

- **Producción observada**

$$P_{obs} = \frac{k_{PC}}{1 + k_{dE}t_{rc}}$$

Ecuación 11

Donde:

$P_{obs}$  : Producción observada, kg/kg

$k_{PC}$  : Coeficiente de Producción celular, kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada

$k_{dE}$  : Coeficiente de degradación endógena

$t_{rc}$  : Tiempo medio de retención celular, d

- **Producción de Lodo activado volátil purgado**

$$P_{dnl} = P_{obs}Q(C_0 - C)$$

Ecuación 12

Donde:

$P_{dnl}$  : Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, kg/d

$P_{obs}$  : Producción observada, kg/kg

$Q$  : Caudal de Lixiviados, m<sup>3</sup>/d

$C_0$  : Concentración del DBO a la entrada, kg/m<sup>3</sup>

$C$  : Concentración del DBO al final del tratamiento, kg/m<sup>3</sup>

- **Purga del lodo**

### Desde la línea de recirculación

$$Q_{wr} = \frac{1}{C_{SSV}} \left( \frac{V_{RA} C_{SSV}}{t_{rc}} - Q \times SS \right)$$

Ecuación 13

Donde:

$Q_w$  : Caudal de purga de fango desde la línea de recirculación, m<sup>3</sup>/d

$V_{RA}$  : Volumen el reactor, m<sup>3</sup>

$t_{rc}$  : Tiempo de retención celular, d

$C_{SSV}$ : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor, kg/m<sup>3</sup>

$SS$  : Sólidos suspendidos a la salida, kg/m<sup>3</sup>

### Desde el tanque de aireación

$$Q_{wta} = \frac{V_{RA}}{t_{rc}}$$

Ecuación 14

Donde:

$Q_w$  : Caudal de purga de fango desde el tanque de aireación, m<sup>3</sup>/d

$V_{RA}$  : Volumen el reactor, m<sup>3</sup>

$t_{rc}$  : Tiempo de retención celular, d

- **Caudal de recirculación**

Se debe realizar una recirculación con la finalidad de conservar una concentración adecuada del en el reactor para un apropiado tratamiento.

**Tabla 3-3** Características de los procesos aerobios

| Modificación del proceso | $t_{rc}$ , d | F/M kg DBO <sub>5</sub> aplicada/kg SSVLMD d | Carga volumínica, Kg DBO <sub>5</sub> aplicada/m <sup>3</sup> d | SSLM, mg/l   | V/Q, h | Q <sub>r</sub> /Q |
|--------------------------|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------|-------------------|
| Convencional             | 5-15         | 0,2 - 0,4                                    | 0,32 – 0,64                                                     | 1500 - 3000  | 4 – 8  | 0,25-0,75         |
| Mezcla completa          | 5-15         | 0,2 – 0,6                                    | 0,80 – 1,92                                                     | 2500 - 4000  | 3 – 5  | 0,25–1,0          |
| Aireación prolongada     | 20-30        | 0,05-0,15                                    | 0,16-0,40                                                       | 3000 - 6000  | 18-36  | 0,5-1,50          |
| Aireación de alta carga  | 5-10         | 0,4-1,5                                      | 1,60-1,60                                                       | 4000 - 10000 | 2-4    | 1,0-5,0           |

Fuente: (METCALF & EDDY, 1996)

De acuerdo a un reactor de mezcla completa se tiene una tasa de circulación mencionada en la tabla 3-3, se utilizará el valor mínimo 0,25.

$$T_{rec} = \frac{Q_{rec}}{Q}$$

Ecuación 15

$$Q_{rec} = T_{rec}Q$$

Ecuación 16

Donde:

$Q_{rec}$  : Caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/d

$T_{rec}$  : Tasa de recirculación

$Q$  : Caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/d

### 3.2.4.2.2 Necesidad y transferencia de oxígeno

Se puede establecer mediante la DBO<sub>5</sub> del agua y la cantidad de microorganismos purgados a diario en el sistema.

**Tabla 3-4** Criterios de diseño para demanda teórica de oxígeno

| Criterio de diseño                                           | Símbolo  | Rango     | Valor |
|--------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------|
| Factor de conversión de DBO <sub>5</sub> en DBO <sub>L</sub> | <i>f</i> | 0,45-0,68 | 0,68  |

Fuente: (Beteta)

#### Demanda teórica de oxígeno

$$\frac{kg O_2}{d} = \frac{Q(C_0 - C)}{f} - 1,42P_{dnl}$$

Ecuación 17

Donde:

*Q* : Caudal de lixiviados, m<sup>3</sup>/d

*C*<sub>0</sub>: Concentración del DBO a la entrada, kg/m<sup>3</sup>

*C* : Concentración del DBO al final del tratamiento, kg/m<sup>3</sup>

*f* : Factor de conversión de DBO<sub>5</sub> en DBO<sub>L</sub>

*P*<sub>dnl</sub>: Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles, kg/d

- Cantidad de aire teórico necesario

**Tabla 3-5** Criterios de diseño para la cantidad de aire teórico necesario

| Criterios de diseño                      | Símbolo                  | Unidad                     | Valor |
|------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------|
| Densidad del aire a condiciones estándar | <i>ρ</i> <sub>aire</sub> | Kg aire/m <sup>3</sup>     | 1,210 |
| Fracción de oxígeno en el aire           | F <sub>O2</sub>          | kg O <sub>2</sub> /kg aire | 23,2  |

Fuente: (Portales, 2011)

$$Q_{at} = \frac{kg O_2 / d}{\rho_{aire} F_{O2}}$$

Ecuación 18

Donde:

$kgO_2/d$ : Demanda teórica de oxígeno, kg/d

$\rho_{aire}$  : Densidad del aire a condiciones estándar, kg aire/m<sup>3</sup>

$F_{O_2}$  : Fracción de oxígeno en el aire kg O<sub>2</sub>/kg aire

- **Cantidad de aire real necesario**

Para el cálculo del caudal de aire real es necesario conocer la eficiencia de transparencia de oxígeno en los equipos de aireación del 8%.

$$Q_{ar} = \frac{Q_{at}}{e}$$

Ecuación 19

Donde:

$Q_{at}$  : Caudal de aire teórico, m<sup>3</sup>/d

$e$  : Eficiencia de transparencia de oxígeno

- **Demanda de aire real**

Se sugiere emplear un factor de seguridad de 2,0.

$$D_{ar} = Q_{ar} f_s$$

Ecuación 20

Donde:

$Q_{ar}$  : Caudal de aire real, m<sup>3</sup>/d

$f_s$  : Factor de seguridad

### 3.2.4.2.3 Dimensionamiento del sistema de aireación

El sistema de aireación es aquel mediante el cual se pone en íntima interacción el agua a tratar con el aire, para los tratamientos aerobios se requieren usualmente entre 0,2 a 2,0 mg/l para una adecuada dotación de oxígeno.

Se recomienda que la mejor opción para estos procesos es el uso de difusores ya que generan una homogenización del oxígeno y su óptima disolución, además disminuye el número de microorganismos provenientes del ambiente. Primero el aire es aspirado, se comprime y envía por tubería hasta los difusores, cuando se tienen presiones bajas entre los 10 psi se usan sopladores directos o de presión positiva que rotan a velocidad alta. (Alviz, y otros, 2012)

Generalmente se recomienda utilizar difusores de burbuja fina ya que presentan mayores eficiencias debido a que el tamaño de su burbuja transfiere de mejor forma el oxígeno necesario para la degradación.

- **Potencia para soplante**

Cuando se trata de una capacidad inferior a 85 m<sup>3</sup>/min, la eficiencia de los compresores se encuentra entre el 0,70 y el 0,90. Para el presente caso se utilizará un valor de 0,80, soplantes de desplazamiento positivo y difusores de membrana fina.

**Tabla 3-6** Criterios de diseño para la potencia del soplante

| Criterios de diseño               | Símbolo        | Unidad    | Valor |
|-----------------------------------|----------------|-----------|-------|
| Constante universal de los gases  | R              | kJ/kmol K | 8,314 |
| Temperatura absoluta a la entrada | T <sub>1</sub> | K         | 287   |
| Relación k-1/k                    | n              |           | 0,283 |
| Presión absoluta a la entrada     | p <sub>1</sub> | atm       | 1     |
| Presión absoluta a la salida      | p <sub>2</sub> | atm       | 1,42  |

Fuente: (Martínez, 2013)

$$P_s = \frac{wRT_1}{8,41 e_c} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación 21

Donde:

$w$ : Masa de aire a suministrar, kg/s

$R$  : Constante universal de los gases, kJ/kmol°K

$T_1$  : Temperatura del aire, °K

8,41 : Constante para el aire, kg/kmol

$e_c$  : Eficiencia del soplador o aireador

$p_1$  : Presión a la toma del soplante, atm

$p_2$  : Presión a la salida del difusor, atm

**Tabla 3-7** Criterios de diseño para difusores

| Criterios de diseño                      | Unidad | Valor |
|------------------------------------------|--------|-------|
| Diámetro de difusor                      | m      | 0,23  |
| Profundidad a la que se ubica el difusor | m      | 1,90  |
| Tamaño de burbuja                        | mm     | 0-3   |

Fuente: (Martínez, 2013)

Los difusores de domo, disco o tubo se montan o enroscan en los conductos distribuidores de aire, que se pueden disponer a lo largo del tanque en la solera o en un lateral.

El material de los difusores es de cerámica los cuales deben colocarse a 30 cm de distancia entre cada uno, el material de la tubería en la que se disponen es de acero inoxidable y está distribuida de forma rectangular.

- **Número de difusores**

**A lo largo del tanque**

$$N_{dL} = \frac{L_{RA}}{0,30m}$$

Ecuación 22

Donde:

$L_{RA}$  : Longitud del reactor, m

0,30 m: Separación entre difusores, m

### A lo ancho del tanque

$$N_{da} = \frac{a_{RA}}{0,30m}$$

Ecuación 23

Donde:

$a_{RA}$  : Ancho del reactor, m

0,30 m: Separación entre difusores, m

### 3.2.4.2.4 Dosificación microorganismos

La misma realizará tal como se indica en el apartado 1.3.3.3.3 perteneciente a la tratabilidad.

**Tabla 3-8** Datos para activación de microorganismos

| Producto                 | Concentración | Valor |
|--------------------------|---------------|-------|
| Microorganismos eficaces | %             | 5     |
| Melaza                   | %             | 5     |
| Agua                     | %             | 90    |

Fuente: (TECNOLOGIA EM)

- **Determinación de los volúmenes a utilizar para la activación de los microorganismos**

### Microorganismos eficaces

$$V_{ME} = \frac{V_f \times C_{ME}}{100\%}$$

Ecuación 24

Donde:

$V_{ME}$  : Volumen de microorganismos a emplear, mL

$V_f$  : Volumen total a preparar, mL

$C_{ME}$  : Concentración a la que se deben encontrar los microorganismos eficaces, % v/v

### **Melaza**

$$V_{melaza} = \frac{V_f \times C_{melaza}}{100\%}$$

Ecuación 25

Donde:

$V_{melaza}$  : Volumen de melaza a emplear, mL

$V_f$  : Volumen total a preparar, mL

$C_{melaza}$  : Concentración a la que se deben encontrar la melaza, % v/v

### **Agua**

$$V_{agua} = \frac{V_f \times C_{agua}}{100\%}$$

Ecuación 26

Donde:

$V_{agua}$  : Volumen de agua a emplear, mL

$V_f$  : Volumen total a preparar, mL

$C_{agua}$  : Concentración a la que se debe encontrar el agua, % v/v

- **Determinación del volumen de microorganismos activados en el reactor**

La dosis óptima para el tratamiento de los Lixiviados es emplear 1ml de microorganismos activados por cada 1000 ml.

$$V_{TT} = V_{RA} \times 1000 L$$

Ecuación 27

$$V_{MA} = \frac{V_{TT} \times 0,001 L}{1 L}$$

Ecuación 28

Donde:

$V_{TT}$  : Volumen de Lixiviados a tratar, L

$V_{RA}$  : Volumen del Reactor Aerobio, m<sup>3</sup>

$V_{MA}$  : Volumen de microorganismos activados a emplear para el tratamiento, L

### 3.2.4.3 Sedimentador secundario

En particular se suelen utilizar luego de un proceso biológico ya que estos cumplen la función de retener residuos y sólidos suspendidos provenientes del reactor. Constan de una zona de entrada, sedimentación, salida y recolección de lodos.

Cuando se trata de sistemas de tratamientos ya sean pequeños o medianos se sugiere utilizar sedimentadores estáticos. Los decantadores pueden ser rectangulares o circulares para el presente trabajo se tomará la segunda opción.

#### 3.2.4.3.1 Dimensionamiento del tanque sedimentador

- Área del tanque

$$A_{TS} = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 29

Donde:

$Q$  : Caudal producido, m<sup>3</sup>/h

$C_s$  : Carga superficial, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h

**Tabla 3-9** Características para sedimentadores secundarios

| Tipos de tratamiento                                                                  | Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h |             | Carga de sólidos, kg/m <sup>2</sup> .h |       | Profundidad, m |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|-------|----------------|
|                                                                                       | Media                                                  | Punta       | Media                                  | Punta |                |
| Sedimentación a continuación de fangos activados (excepto en la aireación prolongada) | 0,678-1,356                                            | 1,695-2,035 | 3,90-5,85                              | 9,76  | 3,6-6,0        |
| Sedimentación a continuación de fangos activados con oxígeno                          | 0,678-1,356                                            | 1,695-2,035 | 4,88-6,83                              | 9,76  | 3,6-6,0        |

Fuente: (METCALF & EDDY, 1996)

- **Radio del tanque de sedimentación**

$$A_{TS} = \pi r_{TS}^2$$

Ecuación 30

$$r_{TS} = \sqrt{\frac{A_{TS}}{\pi}}$$

Ecuación 31

Donde:

$A_{TS}$  : Área del tanque sedimentador, m<sup>2</sup>

- **Diámetro del tanque de sedimentación**

$$\Phi_{TS} = 2r_{TS}$$

Ecuación 32

Donde:

$r_{TS}$  : Radio del tanque de sedimentación, m

- **Altura del tanque de sedimentación**

De acuerdo a la tabla 3-8 en función de la carga superficial se sugiere un intervalo de altura o profundidad determinado sin embargo, debido a que la altura del sedimentador no debería ser mayor a la del reactor aerobio se determina:

$$H_{TS} = 2m$$

Ecuación 33

Donde:

$H_{TS}$  : Altura del tanque de sedimentación, m

- **Altura total del tanque de sedimentación**

Para el cálculo de la altura total se debe adicionar un factor de seguridad a la altura del tanque de sedimentación. El valor del borde libre es de 0,20 m. (Quiroz, 2009)

$$H_{TT} = H_{TS} \times f_{sT}$$

Ecuación 34

Donde:

$H_{TS}$  : Altura del tanque de tanque de sedimentación, m

$f_{sT}$  : Factor de seguridad o borde libre, m

- **Reparto central**

El reparto central se considera entre 20 al 25% del diámetro por tanto se tiene:

$$R_c = 0,25 \times \phi_{TS}$$

Ecuación 35

Donde:

$\phi_{\min}$ : Diámetro mínimo especificado para un tanque sedimentador, m

- **Volumen del tanque de sedimentación**

$$V_{TS} = A_{TS}H_{TS}$$

Ecuación 36

Donde:

$A_{TS}$  : Área del tanque de sedimentación, m<sup>2</sup>

$H_{TS}$  : Altura dl tanque de sedimentación, m

- **Tiempo de retención teórico**

$$t_{rt} = \frac{V_{TS}}{Q}$$

Ecuación 37

Donde:

$V_{TS}$  : Volumen del tanque de sedimentación, m<sup>3</sup>

$Q$  : Caudal de Lixiviados, m<sup>3</sup>/h

- **Altura de Reparto**

Se recomienda que la altura de reparto debe ser entre 1/3 y 1/5 de la altura del sedimentador, para el presente diseño se escoge el valor de 1/4.

$$H_r = \frac{1}{4} H_{TS}$$

Ecuación 38

Donde:

$H_{TS}$  : Altura del tanque de sedimentación, m

- **Carga sobre el vertedero de salida**

$$C_{sv} = \frac{Q}{\pi \phi_{TS}}$$

Ecuación 39

Donde:

$Q$  : Caudal de Lixiviados, m<sup>3</sup>/d

#### **3.2.4.4 Tanque de recolección de lodos**

Se debe realizar a recolección de los lodos provenientes del sedimentador, generalmente se tratan por separados estos lodos resultantes.

##### **3.2.4.4.1 Dimensionamiento para tanque recolector de lodos**

- **Carga de Sólidos suspendidos perdidos**

$$C = Q \times SS$$

Ecuación 40

Donde:

$Q$  : Caudal, m<sup>3</sup>/d

$SS$ : Sólidos suspendidos a la salida, kg/m<sup>3</sup>

- **Masa de lodos de desecho**

$$M_{ld} = P_{dni} - C$$

Ecuación 41

Donde:

$P_{dni}$  : Producción diaria neta de lodo, kg/d

$C$  : Carga de Sólidos suspendidos perdidos, kg/d

- **Volumen de lodos digeridos**

**Tabla 3-10** Características de los lodos

| Características del lodo    | Símbolo    | Unidad            | Valor   |
|-----------------------------|------------|-------------------|---------|
| Densidad                    | $\delta_l$ | kg/m <sup>3</sup> | 1005*   |
| Fracción sólidos en el lodo | $F_{sl}$   |                   | 0,083** |

Fuente:\* (Romero, 1999), \*\* (METCALF & EDDY, 1996)

$$V_{ld} = \frac{M_{ld}}{\delta_l F_{sl}}$$

Ecuación 42

Donde:

$M_{ld}$  : Masa de lodos de desecho, kg/d

$\delta_l$  : Densidad del lodo, kg/m<sup>3</sup>

$F_{sl}$  : Fracción de sólidos del lodo

- **Volumen de lodos a extraerse**

$$V_{le} = V_{ld} \times T_{dl}$$

Ecuación 43

Donde:

$V_{ld}$  : Volumen de lodos digeridos, m<sup>3</sup>/d

$T_{dl}$  : Tiempo necesario para digerir los lodos, d

- **Área del tanque**

La altura del tanque de recolección de lodos será de 0,5 m.

$$A_{TR} = \frac{V_{le}}{H}$$

Ecuación 44

Donde:

$V_{le}$  : Volumen de lodos a extraer, m<sup>3</sup>

$H$ : Altura sugerida, m

- **Ancho del tanque**

La relación ancho / altura será de 1:1, por tanto se tiene:

$$a_{TR} = 1 \times H$$

Ecuación 45

Donde:

$H$  : Altura sugerida, m

- **Longitud del tanque**

De acuerdo a la geometría del tanque que es de carácter rectangular se emplea la siguiente ecuación:

$$V_{le} = a_{TR} \times H \times L_{TR}$$

Ecuación 46

$$L_{TR} = \frac{V_{le}}{a_{TR}H}$$

Ecuación 47

Donde:

$V_{TR}$  : Volumen de lodos a extraerse,  $m^3$

$a_{TR}$  : Ancho del tanque de recolección, m

$H$  : Altura sugerida, m

## 3.2 Cálculos para el Dimensionamiento del sistema de tratamiento

### 3.3.1 Cálculo de los tanques de recepción

- Volumen total requerido ( $V_{TR}$ ) empleando la Ec. 1

$$V_{TR} = Q \times t_u$$

$$V_{TR} = 11,40 \frac{m^3}{d} \times 15d$$

$$V_{TR} = 171,07 m^3$$

- Volumen para cada tanque de recepción ( $V_{IT}$ ) empleando la Ec. 2

De acuerdo a lo expresado en los parámetros de diseño  $N_T = 5$

$$V_{IT} = \frac{V_{TR}}{N_T}$$

$$V_{IT} = \frac{171,07m^3}{5}$$

$$V_{IT} = 34,21 m^3$$

### 3.3.2 Cálculos del reactor biológico de tipo aerobio

#### 3.3.2.1 Cálculos del Reactor Aerobio

- Volumen del Reactor ( $V_{RA}$ ) empleando la Ec. 3

$$V_{RA} = \frac{t_{rc} k_{PC} (C_0 - C) Q}{C_{SSV} (1 + k_{dE} t_{rc})}$$

$$V_{RA} = \frac{15 \text{ d} * 0,6 \left( 0,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,085 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) 11,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left( 1 + 0,06 \frac{1}{\text{d}} * 15 \text{ d} \right)}$$

$$V_{RA} = \frac{30,267 \text{ kg}}{3,42 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{RA} = 8,85 \text{ m}^3$$

- Profundidad del tanque ( $P_{RA}$ ) empleando la Ec. 4

Se toma el valor de 2m ya que se trata de un caudal pequeño en base a la tabla 3-2

$$P_{RA} = 2 \text{ m}$$

- Altura total del reactor ( $H_{TRA}$ ) empleando la Ec. 5

El valor para el factor de seguridad escogido es de 0,30 m.

$$H_{TRA} = f_{SRA} + P_{RA}$$

$$H_{TRA} = 0,30 \text{ m} + 2 \text{ m}$$

$$H_{TRA} = 2,30 \text{ m}$$

- Ancho del Reactor ( $a_{RA}$ ) empleando la Ec. 6

De acuerdo a la tabla 3-2 la relación ancho profundidad corresponde a 1,5: 1 que es el valor más usual utilizado.

$$a_{RA} = 1,5P_{RA}$$

$$a_{RA} = 1,5 * 2 m$$

$$a_{RA} = 3 m$$

- Longitud del reactor ( $V_{RA}$ ) empleando la Ec. 8

$$L_{RA} = \frac{V_{RA}}{a_{RA} \times P_{RA}}$$

$$L_{RA} = \frac{8,85m^3}{3 m \times 2 m}$$

$$L_{RA} = 1,48 m$$

- Criterios de carga ( $t_{rh}$ ) empleando la Ec. 9

$$t_{rh} = \frac{V_{RA}}{Q}$$

$$t_{rh} = \frac{8,85 m^3}{11,40 \frac{m^3}{d}}$$

$$t_{rh} = 0,78 d$$

$$t_{rh} = 18,63 h$$

Relación alimento/microorganismos (F/M) empleando la Ec. 10

$$\frac{F}{M} = \frac{C_0}{t_{rh} C_{SSV}}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{0,38 \frac{kg}{m^3}}{18,63 h * 1,8 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\frac{F}{M} = 0,011 h^{-1}$$

$$\frac{F}{M} = 0,27 d^{-1}$$

- Producción observada ( $P_{obs}$ ) empleando la Ec. 11

$$P_{obs} = \frac{k_{PC}}{1 + k_{dE} t_{rc}}$$

$$P_{obs} = \frac{0,6 \frac{kg \text{ células producidas}}{kg \text{ materia organica eliminada}}}{1 + 0,06 \frac{1}{d} * 15 d}$$

$$P_{obs} = 0,316 \frac{kg \text{ células producidas}}{kg \text{ materia organica eliminada}}$$

- Producción de Lodo activado volátil purgado ( $P_{dnl}$ ) empleando la Ec. 12

$$P_{dnl} = P_{obs} Q (C_0 - C)$$

$$P_{dnl} = 0,316 * 11,40 \frac{m^3}{d} \left( 0,38 \frac{kg}{m^3} - 0,085 \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$P_{dnl} = 1,06 \frac{kg}{d}$$

- Purga del lodo

Desde la línea de recirculación ( $Q_{wr}$ ) empleando la Ec. 13

$$Q_{wr} = \frac{1}{C_{SSV}} \left( \frac{V_{RA} C_{SSV}}{t_{rc}} - Q \times SS \right)$$

$$Q_{wr} = \frac{1}{1,8 \frac{kg}{m^3}} \left[ \left( \frac{8,85 m^3 * 1,8 \frac{kg}{m^3}}{15 d} \right) - \left( 11,40 \frac{m^3}{d} * 0,045 \frac{kg}{m^3} \right) \right]$$

$$Q_{wr} = 0,56 \frac{m^3}{kg} \left( 1,062 \frac{kg}{d} - 0,513 \frac{kg}{d} \right)$$

$$Q_{wr} = 0,305 \frac{m^3}{d}$$

Desde el tanque de aireación ( $Q_{wta}$ ) empleando la Ec. 14

$$Q_{wta} = \frac{V_{RA}}{t_{rc}}$$

$$Q_{wta} = \frac{8,85 m^3}{15 d}$$

$$Q_{wta} = 0,59 \frac{m^3}{d}$$

- Caudal de recirculación ( $Q_{rec}$ ) empleando la Ec. 16

Se elige el menor valor de la Tasa de recirculación 0,25 que relaciona  $Q_r/Q$ , como se muestra en la tabla 3-3.

$$Q_{rec} = T_{rec} Q$$

$$Q_{rec} = 0,25 * 11,40 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{rec} = 2,85 \frac{m^3}{d}$$

### 3.3.2.2 Cálculos de la Necesidad y transferencia de oxígeno

De la tabla 3-4 se escoge el valor de  $f=0,68$  correspondiente al factor de conversión de  $DBO_5$  a  $DBO_L$

Demanda teórica de oxígeno ( $\frac{kg O_2}{d}$ ) empleando la Ec. 17

$$\frac{kg O_2}{d} = \frac{Q(C_0 - C)}{f} - 1,42P_{dnl}$$

$$\frac{kg O_2}{d} = \frac{11,40 \frac{m^3}{d} \left( 0,38 \frac{kg}{m^3} - 0,085 \frac{kg}{m^3} \right)}{0,68} - 1,42 * 1,06 \frac{kg}{d}$$

$$\frac{kg O_2}{d} = \frac{3,36 \frac{kg}{d}}{0,68} - 1,51 \frac{kg}{d}$$

$$\frac{kg O_2}{d} = 3,44 \frac{kg}{d}$$

- Cantidad de aire teórico necesario ( $Q_{at}$ ) empleando la Ec. 18

Se considera los valores para la densidad del aire y la fracción de oxígeno en el aire de la tabla 3-5.

$$Q_{at} = \frac{kgO_2/d}{\rho_{aire}F_{O_2}}$$

$$Q_{at} = \frac{3,44 \frac{kgO_2}{d}}{1,210 \frac{kgaire}{m^3} * 0,283 \frac{kgO_2}{kgaire}}$$

$$Q_{at} = 12,25 \frac{m^3}{d}$$

- Cantidad de aire real necesario ( $Q_{ar}$ ) empleando la Ec. 19

Para el cálculo del caudal de aire real es necesario conocer la eficiencia de transparencia de oxígeno en los equipos de aireación del 8%.

$$Q_{ar} = \frac{Q_{at}}{e}$$

$$Q_{ar} = \frac{12,25 \frac{m^3}{d}}{0,08}$$

$$Q_{ar} = 153,13 \frac{m^3}{d}$$

- Demanda de aire real ( $D_{ar}$ ) empleando la Ec. 20

Se sugiere emplear un factor de seguridad de 2,0.

$$D_{ar} = Q_{ar} f_s$$

$$D_{ar} = 153,13 \frac{m^3}{d} * 2,0$$

$$D_{ar} = 306,27 \frac{m^3}{d}$$

### 3.3.2.3 Cálculos del sistema de aireación

- Potencia para soplante ( $P_s$ ) empleando la Ec. 21

Los criterios de diseño se toman de tabla 3-6, adicional a esto se sugiere tomar un valor de 0,80 para la eficiencia en el compresor. También se debe tomar el valor de la densidad del aire de la tabla 3-5.

$$P_s = \frac{wRT_1}{8,41 e_c} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_s = \frac{0,213 \frac{m^3}{min} * 1,210 \frac{kg \text{ aire}}{m^3} * \frac{1min}{60s} * 8,314 \frac{kJ}{kmol^\circ K} * 287^\circ K \left[ \left( \frac{1,42atm}{1atm} \right)^{0,283} - 1 \right]}{8,41 * 0,8}$$

$$P_s = 0,159 \text{ kW}$$

En base a estos resultados se utilizará un soplante de 0,25 kW.

- Número de difusores

A lo largo del tanque ( $N_{dL}$ ) empleando la Ec. 22

$$N_{dL} = \frac{L_{RA}}{0,30m}$$

$$N_{dL} = \frac{1,48 \text{ m}}{0,30m}$$

$$N_{dL} = 4,93$$

Como se debe dejar espacio a los costados serán 4 difusores de cada lado, en total 8 difusores para las tuberías a lo largo.

A lo ancho del tanque ( $N_{da}$ ) empleando la Ec. 23

$$N_{da} = \frac{a_{RA}}{0,30m}$$

$$N_{da} = \frac{3 \text{ m}}{0,30m}$$

$$N_{da} = 10$$

Se debe dejar espacio para los extremos por lo que serán 8 difusores para cada lado, en total 16. Sumados los difusores de todas las secciones será un total de 24 difusores para todo el sistema de aireación.

### 3.3.2.4 Cálculos para la dosificación microorganismos

Primero se procederá a la activación de los microorganismos de forma independiente y luego se los introducirá al proceso por medio de un dosificador en base a las concentraciones y volúmenes determinados, en el tiempo especificado.

Para la dosificación se utilizará un ELGO DOSIFICADOR D500 específico para microorganismos.



**Gráfico 3-2** ELGO DOSIFICADOR D500

**Fuente:** <http://www.microorganismos-efectivos.com/producto/elgo-dosificador-d500/>

Para la activación por su parte se utilizará una INCUPADORA/ACTIVADOR capacidad 120 litros.



**Gráfico 3-3** INCUPADORA/ACTIVADOR para microorganismos

**Fuente:** <http://www.microorganismos-efectivos.com/producto/incupadoraactivador-para-120-lit-lit/>

- Determinación de los volúmenes a utilizar para la activación de los microorganismos empleando las Ec. 24, 25, 26.

Se preparan 2 litros de microorganismos activados.

### Microorganismos eficaces

$$V_{ME} = \frac{V_f \times C_{ME}}{100\%}$$

$$V_{ME} = \frac{2000 \text{ mL} \times 5\%}{100\%}$$

$$V_{ME} = 100 \text{ mL}$$

### Melaza

$$V_{melaza} = \frac{V_f \times C_{melaza}}{100\%}$$

$$V_{melaza} = \frac{2000 \text{ mL} \times 5\%}{100\%}$$

$$V_{melaza} = 100 \text{ mL}$$

### Agua

$$V_{agua} = \frac{V_f \times C_{agua}}{100\%}$$

$$V_{agua} = \frac{2000 \text{ mL} \times 90\%}{100\%}$$

$$V_{agua} = 1800 \text{ mL}$$

- Determinación del volumen de microorganismos activados en el reactor ( $V_{MA}$ ) empleando las Ec. 27 y 28

$$V_{TT} = V_{RA} \times 1000 \text{ L}$$

$$V_{TT} = 8,85 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_{TT} = 8850 \text{ L}$$

$$V_{MA} = \frac{V_{TT} \times 0,001L}{1L}$$

$$V_{MA} = \frac{8850 L \times 0,001L}{1 L}$$

$$V_{MA} = 8,85 L$$

### 3.3.3 Cálculos para el sedimentador secundario

- Área del tanque ( $A_{TS}$ ) empleando la Ec. 24

$$A_{TS} = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_{TS} = \frac{0,4752 \frac{m^3}{h}}{1,695 \frac{m^3}{m^2 * h}}$$

$$A_{TS} = 0,28 m^2$$

- Radio del tanque de sedimentación ( $r_{TS}$ ) empleando la Ec. 26

$$r_{TS} = \sqrt{\frac{A_{TS}}{\pi}}$$

$$r_{TS} = \sqrt{\frac{0,28m^2}{\pi}}$$

$$r_{TS} = 0,299 m$$

- Diámetro del tanque de sedimentación ( $\phi_{TS}$ ) empleando la Ec. 27

$$\phi_{TS} = 2r_{TS}$$

$$\phi_{TS} = 2 * 0,299 m$$

$$\phi_{TS} = 0,597 \text{ m}$$

- Altura del tanque de sedimentación ( $H_{TS}$ ) empleando la Ec. 28

$$H_{TS} = 2 \text{ m}$$

- Altura total del tanque de sedimentación ( $H_{TT}$ ) empleando la Ec. 29

$$H_{TT} = H_{TS} \times f_{sT}$$

$$H_{TT} = 2 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$$

$$H_{TT} = 2,20 \text{ m}$$

- Reparto central ( $R_c$ ) empleando la Ec. 30

$$R_c = 0,25 \times \phi_{TS}$$

$$R_c = 0,25 \times 0,598 \text{ m}$$

$$R_c = 0,149 \text{ m}$$

- Volumen del tanque de sedimentación ( $V_{TS}$ ) empleando la Ec 31

$$V_{TS} = A_{TS} H_{TS}$$

$$V_{TS} = 0,28 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V_{TS} = 0,56 \text{ m}^3$$

- Tiempo de retención teórico ( $t_{rt}$ ) empleando la Ec. 32

$$t_{rt} = \frac{V_{TS}}{Q}$$

$$t_{rt} = \frac{0,56 \text{ m}^3}{0,4752 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

$$t_{rt} = 1,18 \text{ h}$$

- Altura de Reparto ( $H_r$ ) empleando en la Ec. 33

$$H_r = \frac{1}{4} H_{TS}$$

$$H_r = \frac{1}{4} * 2 \text{ m}$$

$$H_r = 0,5 \text{ m}$$

- Carga sobre el vertedero de salida ( $C_{sv}$ ) empleando la Ec. 34

$$C_{sv} = \frac{Q}{\pi \emptyset}$$

$$C_{sv} = \frac{11,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{\pi * 0,597 \text{ m}}$$

$$C_{sv} = 6,076 \frac{\text{m}^3}{\text{m d}}$$

### 3.3.4 Cálculos del tanque de recolección de lodos

- Carga de Sólidos suspendidos perdidos ( $C$ ) empleando la Ec. 35

$$C = Q \times SS$$

$$C = 11,40 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 0,045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C = 0,513 \frac{kg}{d}$$

- Masa de lodos de desecho ( $M_{ld}$ ) empleando la Ec. 36

$$M_{ld} = P_{dni} - C$$

$$M_{ld} = 1,06 \frac{kg}{d} - 0,513 \frac{kg}{d}$$

$$M_{ld} = 0,549 \frac{kg}{d}$$

- Volumen de lodos digeridos ( $V_{ld}$ ) empleando la Ec. 37

$$V_{ld} = \frac{M_{ld}}{\delta_l F_{sl}}$$

$$V_{ld} = \frac{0,549 \frac{kg}{d}}{1005 \frac{kg}{m^3} * 0,083}$$

$$V_{ld} = 0,0066 \frac{m^3}{d}$$

- Volumen de lodos a extraerse ( $V_{le}$ ) empleando la Ec. 38

$$V_{le} = V_{ld} \times T_{dl}$$

$$V_{le} = 0,0066 \frac{m^3}{d} \times 15 d$$

$$V_{le} = 0,099 m^3$$

- Área del tanque ( $A_{TR}$ ) empleando la Ec. 39

$$A_{TR} = \frac{V_{le}}{H}$$

$$A_{TR} = \frac{0,099 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}}$$

$$A_{TR} = 0,198 \text{ m}^2$$

- Ancho del tanque ( $a_{TR}$ ) empleando la Ec. 40

$$a_{TR} = 1 \times H$$

$$a_{TR} = 1 \times 0,5 \text{ m}$$

$$a_{TR} = 0,5 \text{ m}$$

- Longitud del tanque ( $V_{TR}$ ) empleando la Ec. 42

$$L_{TR} = \frac{V_{le}}{a_{TR}H}$$

$$L_{TR} = \frac{0,099 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m} * 0,5 \text{ m}}$$

$$L_{TR} = 0,395 \text{ m}$$

### 3.4 Resultados

#### 3.4.1 Resultados de la tratabilidad

**Tabla 3-11** Resultados del tratamiento físico-químico. Tratamiento 1

| Parámetros                     | Unidades         | Valor de la muestra | Porcentaje de Remoción % |
|--------------------------------|------------------|---------------------|--------------------------|
| Turbiedad                      | NTU              | 6,84                | 97,72                    |
| Conductividad                  | $\mu\text{S/cm}$ | 1740                | 67,77                    |
| Color                          | Units PtCo       | 2445                | 55,87                    |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos) | mg/L             | 950                 | 66,07                    |

|                                   |      |      |       |
|-----------------------------------|------|------|-------|
| TSS (Sólidos Totales Suspendidos) | mg/L | 40   | 93,10 |
| Sólidos Totales                   | mg/L | 6120 | 17,87 |
| Nitrógeno Amoniacal               | mg/L | 12,5 | 82,14 |
| Nitratos                          | mg/L | 234  | 49,13 |
| Nitritos                          | mg/L | 0,37 | 22,92 |
| Sulfatos                          | mg/L | 180  | 40    |
| Fosfatos                          | mg/L | 15,6 | 31,58 |
| DQO                               | mg/L | 1640 | 2,38  |
| DBO5                              | mg/L | 190  | 50    |

*Elaborado por:* Dávalos Jasmin, 2017  
Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

**Tabla 3-12** Resultados de la aireación. Tratamiento 2

| <b>Parámetros</b>                 | <b>Unidades</b> | <b>Valor de la muestra</b> | <b>Porcentaje de Remoción %</b> |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|---------------------------------|
| Turbiedad                         | NTU             | 64,9                       | 78,37                           |
| Conductividad                     | μS/cm           | 1985                       | 63,24                           |
| Color                             | Units PtCo      | 2320                       | 58,12                           |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos)    | mg/L            | 520                        | 81,43                           |
| TSS (Sólidos Totales Suspendidos) | mg/L            | 185                        | 68,10                           |
| Sólidos Totales                   | mg/L            | 6843                       | 8,17                            |
| Nitrógeno Amoniacal               | mg/L            | 57                         | 18,57                           |
| Nitratos                          | mg/L            | 335                        | 27,17                           |
| Nitritos                          | mg/L            | 0,42                       | 12,5                            |
| Sulfatos                          | mg/L            | 227                        | 24,33                           |
| Fosfatos                          | mg/L            | 19,4                       | 14,9                            |
| DQO                               | mg/L            | 1468                       | 12,62                           |
| DBO5                              | mg/L            | 320                        | 15,79                           |

*Elaborado por:* Dávalos Jasmin, 2017  
Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

**Tabla 3-13** Resultados del tratamiento físico-químico. Tratamiento 2

| <b>Parámetros</b>                 | <b>Unidades</b> | <b>Valor de la muestra</b> | <b>Porcentaje de Remoción</b> |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| Turbiedad                         | NTU             | 6,77                       | 89,57                         |
| Conductividad                     | μS/cm           | 700                        | 64,74                         |
| Color                             | Units PtCo      | 1650                       | 28,88                         |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos)    | mg/L            | 250                        | 51,92                         |
| TSS (Sólidos Totales Suspendidos) | mg/L            | 90                         | 51,35                         |
| Sólidos Totales                   | mg/L            | 2974                       | 56,54                         |
| Nitrógeno Amoniacal               | mg/L            | 4,2                        | 92,63                         |
| Nitratos                          | mg/L            | 66                         | 80,29                         |
| Nitritos                          | mg/L            | 0,3                        | 28,57                         |
| Sulfatos                          | mg/L            | 130                        | 42,73                         |
| Fosfatos                          | mg/L            | 10,6                       | 45,36                         |
| DQO                               | mg/L            | 1350                       | 8,04                          |
| DBO5                              | mg/L            | 218                        | 31,87                         |

*Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017*

*Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH*

**Tabla 3-14** Resultados de la aplicación de microorganismos. Tratamiento 3

| <b>Parámetros</b>                 | <b>Unidades</b> | <b>Valor de la muestra</b> | <b>Porcentajes de Remoción</b> |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Turbiedad                         | NTU             | 8,44                       | 97,19                          |
| Color                             | Units PtCo      | 520                        | 90,61                          |
| TDS(Sólidos Totales Disueltos)    | mg/L            | 340                        | 87,86                          |
| TSS (Sólidos Totales Suspendidos) | mg/L            | 45                         | 92,24                          |
| Sólidos Totales                   | mg/L            | 670                        | 91,01                          |
| Nitrógeno Amoniacal               | mg/L            | 7,4                        | 89,43                          |
| Nitratos                          | mg/L            | 78                         | 83,04                          |
| Nitritos                          | mg/L            | 0,1                        | 79,17                          |
| Sulfatos                          | mg/L            | 125                        | 58,33                          |

|                                      |      |      |       |
|--------------------------------------|------|------|-------|
| Fosfatos                             | mg/L | 11,3 | 50,44 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L | 85   | 77,63 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | mg/L | 120  | 92,86 |

*Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2017*  
Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias ESPOCH

### 3.4.2 Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento

#### 3.4.2.1 Tanques de Recepción

**Tabla 3-15** Resultados del dimensionamiento de los tanques de recepción

| PARÁMETROS              | SÍMBOLO  | UNIDAD | VALOR  |
|-------------------------|----------|--------|--------|
| Volumen total requerido | $V_{TR}$ | $m^3$  | 171,07 |
| Volumen de cada tanque  | $V_{IT}$ | $m^3$  | 34,21  |
| Número de tanques       | $N_{TR}$ |        | 5      |
| Ancho del tanque        | $A_{TR}$ | m      | 4,5    |
| Altura del tanque       | $H_{TR}$ | m      | 3      |
| Longitud del tanque     | $L_{TR}$ | m      | 2,53   |

*Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018*

#### 3.4.2.2 Reactor biológico de tipo aerobio

**Tabla 3-16** Resultados del dimensionamiento del Reactor biológico de tipo aerobio

| DATOS                                | SÍMBOLO   | UNIDAD | VALOR |
|--------------------------------------|-----------|--------|-------|
| Volumen del reactor                  | $V_{RA}$  | $m^3$  | 8,85  |
| Profundidad del tanque               | $P_{RA}$  | m      | 2,00  |
| Altura total del tanque              | $H_{TRA}$ | m      | 2,30  |
| Ancho del tanque                     | $a_{RA}$  | m      | 3     |
| Longitud del tanque                  | $L_{RA}$  | m      | 1,48  |
| <b>Criterios de carga</b>            |           |        |       |
| Tiempo de retención hidráulica       | $t_{rh}$  | h      | 18,63 |
| Relación Alimento/<br>Microorganismo | F/M       | d-1    | 0,27  |
| <b>Producción de lodo activado</b>   |           |        |       |

|                                              |                     |                                                           |        |
|----------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------|--------|
| Producción observada                         | $P_{obs}$           | kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada | 0,316  |
| Producción diaria neta de lodo               | $P_{dni}$           | kg/d                                                      | 1,06   |
| Purga desde la línea de recirculación        | $Q_{wr}$            | m <sup>3</sup> /d                                         | 0,305  |
| Purga desde el tanque de aireación           | $Q_{wta}$           | m <sup>3</sup> /d                                         | 0,59   |
| Caudal de recirculación                      | $Q_{rec}$           | m <sup>3</sup> /d                                         | 2,85   |
| <b>Necesidad de transferencia de oxígeno</b> |                     |                                                           |        |
| demanda teórica de oxígeno                   | kgO <sub>2</sub> /d | kg/d                                                      | 3,44   |
| Caudal de aire teórico                       | $Q_{at}$            | m <sup>3</sup> /d                                         | 12,25  |
| Caudal de aire real                          | $Q_{ar}$            | m <sup>3</sup> /d                                         | 153,13 |
| Demanda aire real                            | $D_{ar}$            | m <sup>3</sup> /d                                         | 306,27 |
| <b>Sistema de aireación</b>                  |                     |                                                           |        |
| Potencia del soplante                        | $P_s$               | kW                                                        | 0,159  |
| <b>Difusores</b>                             |                     |                                                           |        |
| Número de Difusores                          | $N_d$               | Unidades                                                  | 24     |
| Diámetro del difusor                         |                     | m                                                         | 0,23   |
| Profundidad a la que se ubica el difusor     |                     | m                                                         | 1,90   |
| Tamaño de la burbuja generada                |                     | mm                                                        | 0 - 3  |
| Separación entre difusores                   |                     | m                                                         | 0,30   |
| <b>Activación Microorganismos</b>            |                     |                                                           |        |
| Microorganismos                              | $V_{ME}$            | mL                                                        | 100    |
| Melaza                                       | $V_{melaza}$        | mL                                                        | 100    |
| Agua                                         | $V_{agua}$          | mL                                                        | 1800   |
| <b>Dosificación Microorganismos</b>          |                     |                                                           |        |
| Lixiviados a tratar                          | $V_{TT}$            | L                                                         | 8850   |
| Microorganismos activados                    | $V_{MA}$            | L                                                         | 8,85   |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

### 3.4.2.3 Sedimentador Secundario

**Tabla 3-17** Resultados del dimensionamiento del Tanque Sedimentador Secundario

| DATOS                                         | SÍMBOLO            | UNIDAD     | VALOR |
|-----------------------------------------------|--------------------|------------|-------|
| Área del tanque de sedimentación              | $A_{TS}$           | $m^2$      | 0,28  |
| Radio del tanque de sedimentación             | $r_{TS}$           | m          | 0,299 |
| Diámetro del tanque de sedimentación          | $\varnothing_{TS}$ | m          | 0,597 |
| Reparto central en el tanque de sedimentación | $R_c$              | m          | 0,149 |
| Altura del tanque de sedimentación            | $H_{TS}$           | m          | 2     |
| Altura total del tanque de sedimentación      | $H_{TT}$           | m          | 2,20  |
| Volumen del tanque de sedimentación           | $V_{TS}$           | $m^3$      | 0,56  |
| Tiempo de retención teórico                   | $t_{rt}$           | H          | 1,18  |
| Altura de reparto                             | $H_r$              | m          | 0,5   |
| Carga sobre vertedero de salida               | $C_{sv}$           | $m^3/m\ d$ | 6,076 |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

#### 3.4.2.4 Tanque de Recolección de Lodos

**Tabla 3-18** Resultados del Dimensionamiento del Tanque Recolector de lodos

| DATOS                                                | SÍMBOLO  | UNIDAD  | VALOR  |
|------------------------------------------------------|----------|---------|--------|
| Masa de lodos de desecho                             | $M_{ld}$ | kg/d    | 0,549  |
| Carga de sólidos suspendidos perdidos en el efluente | $C$      | kg/d    | 0,513  |
| Volumen de lodo digeridos diariamente                | $V_{ld}$ | $m^3/d$ | 0,0066 |
| Volumen de lodos a extraerse                         | $V_{le}$ | $m^3$   | 0,099  |
| Área del tanque                                      | $A_{TR}$ | $m^2$   | 0,198  |
| Ancho del tanque                                     | $a_{TR}$ | m       | 0,5    |
| Longitud del tanque                                  | $L_{TR}$ | m       | 0,395  |
| Altura del tanque                                    | $H_{TR}$ | m       | 0,5    |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

### 3.5 Proceso de Producción

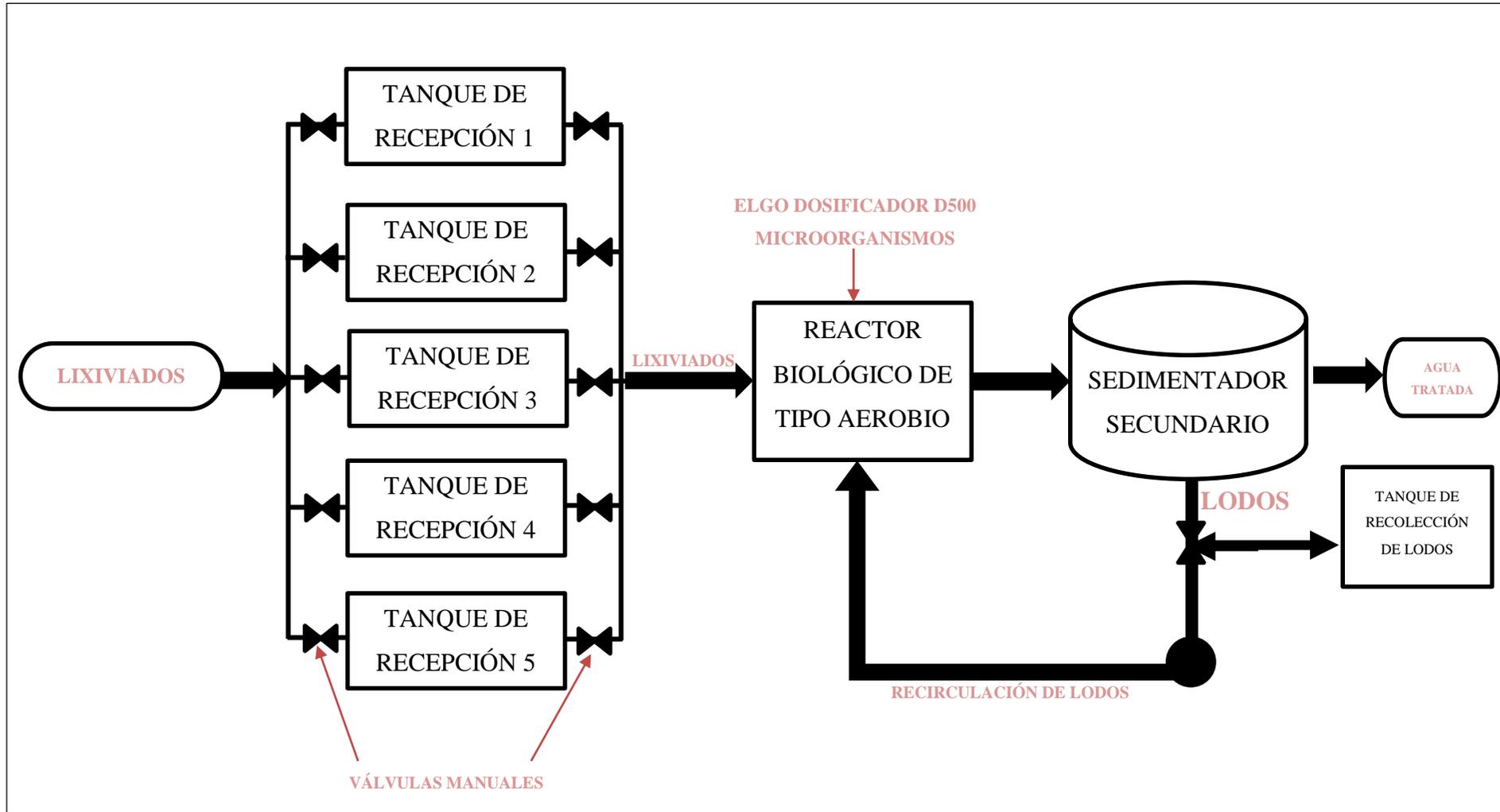


Gráfico 3-4 Sistema de Tratamiento para Lixiviados  
Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

### 3.6 Presupuesto

**Tabla 3-19** Presupuesto para el Sistema de Tratamiento para Lixiviados

| RUBRO/DESCRIPCIÓN                                            | Unidad         | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Costo Total (\$)   |
|--------------------------------------------------------------|----------------|----------|---------------------|--------------------|
| <b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>                                |                |          |                     |                    |
| <b>TANQUES DE RECEPCIÓN</b>                                  |                |          |                     |                    |
| Excavación manual del suelo H=2 m                            | m <sup>3</sup> | 22,77    | 8,10                | 184,43             |
| Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm <sup>2</sup>                | kg             | 2604,83  | 1,85                | 4818,94            |
| Hormigón S fc=210 kg/cm <sup>2</sup> en muros Inc. encofrado | m <sup>3</sup> | 34,21    | 226,5               | 7748,57            |
| Tubería PVC 110 mm 0,80 MPa E/C+ PRUEBA                      | -              | 22       | 3,25                | 71,50              |
| Válvulas de control                                          | -              | 10       | 24,73               | 247,3              |
| <b>SUBTOTAL</b>                                              |                |          |                     | <b>\$ 13070,74</b> |
| <b>REACTOR BIOLÓGICO DE TIPO AEROBIO</b>                     |                |          |                     |                    |
| Excavación manual del suelo H=2 m                            | m <sup>3</sup> | 8,85     | 8,10                | 71,69              |
| Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm <sup>2</sup>                | kg             | 673,86   | 1,85                | 1246,64            |
| Hormigón S fc=210 kg/cm <sup>2</sup> en muros Inc. encofrado | m <sup>3</sup> | 8,85     | 226,5               | 2004,53            |
| Sistema de aireación                                         | unidad         | 1        | 154,85              | 154,85             |
| Difusores                                                    | Unidad         | 24       | 19                  | 456                |
| <b>SUBTOTAL</b>                                              |                |          |                     | <b>\$ 3322,85</b>  |
| <b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b>                               |                |          |                     |                    |
| Excavación manual del suelo H=2 m                            | m <sup>3</sup> | 0,56     | 8,10                | 4,53               |
| Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm <sup>2</sup>                | kg             | 95       | 1,85                | 175,75             |

|                                                                    |                |      |       |       |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|------|-------|-------|
| Hormigón S fc=210<br>kg/cm <sup>2</sup> en muros Inc.<br>encofrado | m <sup>3</sup> | 1    | 226,5 | 226,5 |
| Enlucido con<br>impermeabilizante                                  | m <sup>2</sup> | 0,56 | 9,39  | 5,26  |
| Construcción de tanque                                             | -              | 1    | 280   | 280   |
| <b>SUBTOTAL \$ 692,04</b>                                          |                |      |       |       |
| <b>TANQUE DE RECOLECCIÓN DE LODOS</b>                              |                |      |       |       |
| Acero de refuerzo fy=<br>4200 kg/cm <sup>2</sup>                   | kg             | 80   | 1,85  | 148   |
| Hormigón S fc=210<br>kg/cm <sup>2</sup> en muros Inc.<br>encofrado | m <sup>3</sup> | 1    | 226,5 | 226,5 |
| Enlucido con<br>impermeabilizante                                  | m <sup>2</sup> | 1    | 9,39  | 9,39  |
| <b>SUBTOTAL \$389,89</b>                                           |                |      |       |       |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                                |                |      |       |       |
| Contrato                                                           | -              | 1    | 7000  | 7000  |
| <b>SUBTOTAL \$ 7000</b>                                            |                |      |       |       |
| <b>TOTAL = \$ 24.469,52</b>                                        |                |      |       |       |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

**Tabla 3-20** Presupuesto Activación de Microorganismos

| RUBRO/DESCRIPCIÓN                                  | Unidad | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Costo Total (\$) |
|----------------------------------------------------|--------|----------|---------------------|------------------|
| <b>TRATAMIENTO (ACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS)</b> |        |          |                     |                  |
| Microorganismos                                    | L/año  | 10,78    | 27,23               | 293,53           |
| Melaza                                             | L/año  | 10,78    | 0,50                | 5,39             |
| Agua                                               | L/año  | 193,82   | 0,15                | 29,07            |
| <b>TOTAL = \$327,99/año</b>                        |        |          |                     |                  |
| <b>\$ 0,90/d</b>                                   |        |          |                     |                  |

Elaborado por: Dávalos Jasmin, 2018

### 3.7 Análisis y Discusión de Resultados

Para realizar un diseño de un sistema de tratamiento se debe tomar en consideración las condiciones iniciales en las que se encuentra el Lixiviado a tratar, para lo cual se realizó la caracterización de los mismos que arrojó los valores de los parámetros que se encontraron fuera de norma.

Los valores resultantes de la caracterización se encuentran por debajo de la composición típica de lixiviados, esto se debe a la pluviometría y humedad de la zona, que pueden llegar a influir directamente sobre la composición.

Utilizando los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> se determinó el índice de biodegradabilidad igual a 0,226 que generalmente se utiliza como referencia para seleccionar el tipo de tratamiento a emplear. Este valor se encuentra en un rango menor a 0,4 que sugiere que son poco biodegradables, por ende se debería realizar un tratamiento físico-químico.

Sin embargo todo debe ser sujeto a comprobación, por lo mismo primero se realizó una prueba de jarras con coagulantes químicos pero se llegó a determinar que existe un alto consumo de los mismos y no es conveniente económicamente, así mismo se observó una casi inexistente remoción en cuanto a DQO y DBO<sub>5</sub> por lo que tampoco es viable técnicamente.

Debido a lo mencionado se recomendó realizar una aireación como acondicionamiento, y aplicar nuevamente el tratamiento físico químico, se evidenció una disminución en el consumo de coagulantes. La remoción total fue más alta que en el primer tratamiento sobre todo en el caso del DBO<sub>5</sub>, pero sigue siendo inadecuado para remover el DQO.

Finalmente se empleó un tratamiento biológico por medio de aireación y aplicación de microorganismos eficientes los cuales están disponibles en el mercado, los resultados para remoción en general fueron excelentes.

El porcentaje de remoción obtenido del tratamiento 1 fue: para el DQO 2,38% y DBO<sub>5</sub> un 50%, Tratamiento 2 un DQO con 8,04% y un DBO<sub>5</sub> con un 31,87 %, en el Tratamiento 3 se observó una remoción del 92,86% para el DQO y 77,63% para el DBO<sub>5</sub>.

Por lo que se decidió seleccionar este último como el tratamiento definitivo para el diseño del sistema.

Una vez determinado el tratamiento se establecieron los parámetros de diseño y las unidades a emplear quedando de la siguiente forma, cinco tanques de recepción para almacenar los lixiviados, seguido de un reactor rectangular con un sistema de aireación, un sedimentador secundario y finalmente un tanque de recolección de lodos.

## CONCLUSIONES

- Por medio de la caracterización realizada a los Lixiviados generados en el Cantón La Concordia en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias, se determinó los parámetros fuera de norma en base a la Normativa Ambiental Vigente referenciada con el Acuerdo Ministerial 097 del Libro VI de la Calidad Ambiental; de acuerdo a ello se tiene una Demanda Bioquímica de Oxígeno 380 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 1680 mg/L, Nitrógeno Amoniacal 70 mg/L, Sólidos totales 7452 mg/L, Sólidos totales suspendidos 580 mg/L.
- Se estableció el tratamiento definitivo luego de realizar la experimentación en base a tres posibles alternativas de tratamiento aplicadas a los lixiviados, de acuerdo a los porcentajes de remoción evidenciados en el Tratamiento 1 para el DQO y DBO<sub>5</sub> un 2,38% y 50% respectivamente , Tratamiento 2 un DQO con 8,04% y un DBO<sub>5</sub> con un 31,87 % , finalmente el Tratamiento 3 se observó una remoción del 92,86% para el DQO y 77,63% para el DBO<sub>5</sub> .Demostrando que la mejor opción a emplear es un Tratamiento biológico de tipo aerobio.
- Según la tratabilidad definida se identificaron los parámetros de diseño para los cálculos respectivos , así como el empleo de las ecuaciones sugeridas bibliográficas dieron como resultado el siguiente sistema de tratamiento: tanques de recepción dotados con válvulas a las entradas y salidas para el control del caudal y distribución, un reactor rectangular con un sistema de aireación compuesto de difusores de burbuja fina en forma de disco, un sedimentador secundario circular con recirculación de lodos para mantener la concentración en el reactor, el sistema de recirculación constará de una bomba y válvula de distribución de lodos de desecho y los de recirculación, finalmente un tanque de recolección para los lodos desechados.
- La factibilidad técnica del diseño se realizó en función de los porcentajes de remoción obtenidos y las facilidades de operación para el tratamiento biológico, la factibilidad económica se valida en función de los costos principalmente en la aplicación de los microorganismos con un gasto diario de \$0,90.

## RECOMENDACIONES

- El proceso de activación de microorganismos debe realizarse con las precauciones pertinentes, utilizar agua limpia preferible libre de cloro, mantener la temperatura entre 25-40 °C y sellado herméticamente. Ya que de esta manera se evitará que se produce una contaminación e inhiba el efecto de los microorganismos.
- Cuando se trata de Lixiviados es fundamental realizar diferentes tratamientos para verificar cuál resultará con la mayor efectividad debido a que las cargas de contaminantes son muy altas puede influenciar la reacción ante los mismos.
- Los Lixiviados tienen una composición típica que los caracteriza, sin embargo pueden existir ocasiones en que los valores encontrados no se asemejen a los mismos; en estos casos se sugiere realizar ya sea estudios de campo, estado actual del lugar para conocer las razones que podrían influenciar en ellos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALVIZ, A; & CUETO, D.** *Diseño de un sistema de aireación para una planta de lodos activados en zofranca mamonal.* Cartagena : s.n., 2012. pp. 101.

**Análisis de alternativas para el sistema de gestión de residuos del cantón la concordia, provincia de santo domingo de los tsáchilas.** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal LA CONCORDIA La Concordia ., 2016.

**ANDREO, M.** *Demanda biológica del oxígeno.*[En línea][Citado el: 10 de NOVIEMBRE de 2017]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DBO.htm>.

**ANGONDOÑA, L & MACÍAS, R.** *"Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón portoviejo, provincia de manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013"*. Portoviejo,2013.

**ASOCIACIÓN SALVADOREÑA DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS (ASIA) .** *Propuesta de reglamento técnico salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales tipo ordinario para la zona rural.* El Salvador , 2015.

**ATEGRUS.** *Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos . Unidad Didáctica III: Lixiviados.* 2010.

**BETETA, A.** *E.D.A.R. para una población de más de 100.000 habitantes equivalentes.*2017, pp.59-92

**CAMPUS EUROMEDITERRÁNEO DEL TURISMO Y DEL AGUA.** *Una alternativa eficiente y económica por el tratamiento de lixiviados de vertedero con alto contenido de nitrógeno.* [En línea] [Citado el: 09 de Enero de 2018.] <http://www.emta.eu/es/una-alternativa-eficiente-y-economica-por-el-tratamiento-de-lixiviados-de-vertedero-con-alto-contenido-de-nitrogeno/>.

**COGOLLO, J.** *Contaminación de las aguas naturales.* bdigital Portal de Revistas Un. Portal de Revistas UN.[En línea],2010.[Citado el: 15 de Diciembre de 2017]. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>.

**CORENA, MIRONEL DE JESUS.** *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios.* Sincelejo , 2008.

**ESPINOZA, F.** *Diseño de un canal de sección rectangular de 500m de longitud de máxima eficiencia hidráulica para un proyecto de irrigación.* Machala : Universidad Técnica de Machala, 2016.

**Estudios girs para el cantón La concordia de la provincia santo domingo de los tsáchilas** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal LA CONCORDIA. La Concordia : s.n., 2017.

**FANDIÑO, H.** *Diseño preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la esperanza departamento norte de santander en colombia.* Bogotá :Colombia, 2017.

**GARCÍA, J & CORZO, A.** *Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.* [En línea] [Noviembre de 2008] [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia\\_and\\_ACorzo.pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1).

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS ECUADOR** „Ministerio del Ambiente Ecuador-Código Orgánico de Organización Territorial , Autonomía y Descentralización. [En línea] Abril de 2010. [Citado el: 22 de Julio de 2017.] <https://es.scribd.com/document/337869195/Gestion-Integral-de-Residuos-Solidos-Ecuador>.

**GIRALDO, E.** *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes.,* Universidad de los Andes: REVISTA DE INGENIERÍA,2001, págs. 44-55.

**JIMENEZ, N.** *Diseño de un reactor biológico de fangos activos.* s.l. : Universidad de Almería, 2014.

**KIELY, G.** *Conductividad del agua.*[En línea],1998 [Citado el: 2 de Enero de 2018]  
Disponible en:  
<https://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>.

**LOPEZ, L.** *Diagnóstico, caracterización y propuesta de tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de ambato.* Quito : s.n., 2011.

**MARTÍNEZ, A.** *Evaluación del digestor aerobio en la planta de tratamiento de aguas residuales, aguas blancas.* 2013.

**MARTÍNEZ, E.** *Remoción de sulfatos de drenajes ácidos de minería de carbón para producción de yeso sintético mediante el uso de un subproducto industrial.* Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2010.

*Memoria técnica de los cierre técnico de las celdas provisionales para la disposición final de los desechos sólidos del cantón La Concordia de Santo Domingo de los Tsáchilas.* Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal LA CONCORDIA La Concordia : s.n., 2013. pág. 2.

**METCALF & EDDY.** *Ingeniería de Aguas residuales.* s.l. : Mc Graw Hill, 1996.  
*Proyecto de instalaciones para el tratamiento biológico del agua residual.*

**QUIROZ, P.** *Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.* Lima : UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, 2009.

**RAMÍREZ, M., et al.** *Caracterización de un corte de referencia en la formación borbón (guarumo santa ana) resultados preliminares.* Quito : Escuela Politecnica Nacional, 2011.

**RED DE MONITOREO AMBIENTAL PARTICIPATIVO DE SISTEMAS ACUÁTICOS (RED MAPSA).** *Transparencia, color y turbidez*. [aut. libro] Guillermo Goyenola. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras*. 2007, pág. 4.

**Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico RAS . Gobierno de Colombia.** Bogotá : s.n., 2000.

**RODRÍGUEZ, PEDRO.** *Hidráulica de Canales II*. Oaxaca : s.n., 2008.

**SANCHA, M.** *Caracterización físico-química y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero*. s.l. : Universidad de Oviedo, 2013.

**SUBSECRETARÍA DEL AGUA ECUADOR (SENAGUA).** *Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. 2016

**SOTELO, G.** *Hidráulica de canales*. México : UNAM , Facultad de Ingeniería, 2002.

**TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H & Vigil, S.** *Gestión integral de residuos sólidos*. s.l. : McGraw-Hill, 1994.

**TORRES, C.** *Procedimiento para la medición de Sólidos Totales*. s.l. : Universidad Tecnológica de Panamá, 2006.

**VALERA, B., et al.** *Aireación. Área de Tecnología: Programa Ciencias Ambientales*, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 2012.

**VASQUEZ, E.** *Cuantificación y efectos de la producción de lixiviados en el relleno sanitario de salinas victoria, N. L.* Nuevo León : s.n., 2001.

**VILLÓN, M.** *Hidráulica de canales*. Lima : Editorial Hozlo, 2007.

## ANEXOS

**ANEXO A.** Acuerdo 097 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:  
Recurso Agua, Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del TULSMA.

| TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE |                                        |                   |                                   |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Parámetros                                             | Expresado como                         | Unidad            | Límite máximo permisible          |
| Aceites y Grasas.                                      | Sust. solubles en hexano               | mg/l              | 30,0                              |
| Alkil mercurio                                         |                                        | mg/l              | No detectable                     |
| Aluminio                                               | Al                                     | mg/l              | 5,0                               |
| Arsénico total                                         | As                                     | mg/l              | 0,1                               |
| Bario                                                  | Ba                                     | mg/l              | 2,0                               |
| Boro Total                                             | B                                      | mg/l              | 2,0                               |
| Cadmio                                                 | Cd                                     | mg/l              | 0,02                              |
| Cianuro total                                          | CN <sup>-</sup>                        | mg/l              | 0,1                               |
| Cinc                                                   | Zn                                     | mg/l              | 5,0                               |
| Cloro Activo                                           | Cl                                     | mg/l              | 0,5                               |
| Cloroformo                                             | Ext. carbón cloroformo<br>ECC          | mg/l              | 0,1                               |
| Cobre                                                  | Cu                                     | mg/l              | 1,0                               |
| Cobalto                                                | Co                                     | mg/l              | 0,5                               |
| Coliformes Fecales                                     | NMP                                    | NMP/100 ml        | 2000                              |
| Color real <sup>1</sup>                                | Color real                             | unidades de color | Inapreciable en dilución:<br>1/20 |
| Compuestos fenólicos                                   | Fenol                                  | mg/l              | 0,2                               |
| Cromo hexavalente                                      | Cr <sup>+6</sup>                       | mg/l              | 0,5                               |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)                 | DBO <sub>5</sub>                       | mg/l              | 100                               |
| Demanda Química de Oxígeno                             | DQO                                    | mg/l              | 200                               |
| Estaño                                                 | Sn                                     | mg/l              | 5,0                               |
| Fluoruros                                              | F                                      | mg/l              | 5,0                               |
| Fósforo Total                                          | P                                      | mg/l              | 10,0                              |
| Hierro total                                           | Fe                                     | mg/l              | 10,0                              |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo                      | TPH                                    | mg/l              | 20,0                              |
| Manganeso total                                        | Mn                                     | mg/l              | 2,0                               |
| Materia flotante                                       | Visibles                               |                   | Ausencia                          |
| Mercurio total                                         | Hg                                     | mg/l              | 0,005                             |
| Níquel                                                 | Ni                                     | mg/l              | 2,0                               |
| Nitrógeno amoniacal                                    | N                                      | mg/l              | 30,0                              |
| Nitrógeno Total Kjeldahl                               | N                                      | mg/l              | 50,0                              |
| Compuestos Organoclorados                              | Organoclorados totales                 | mg/l              | 0,05                              |
| Compuestos Organofosforados                            | Organofosforados totales               | mg/l              | 0,1                               |
| Plata                                                  | Ag                                     | mg/l              | 0,1                               |
| Plomo                                                  | Pb                                     | mg/l              | 0,2                               |
| Potencial de hidrógeno                                 | pH                                     |                   | 6-9                               |
| Selenio                                                | Se                                     | mg/l              | 0,1                               |
| Sólidos Suspendidos Totales                            | SST                                    | mg/l              | 130                               |
| Sólidos totales                                        | ST                                     | mg/l              | 1 600                             |
| Sulfatos                                               | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>          | mg/l              | 1000                              |
| Sulfuros                                               | S <sup>-2</sup>                        | mg/l              | 0,5                               |
| Temperatura                                            | °C                                     |                   | Condición natural ± 3             |
| Tensoactivos                                           | Sustancias Activas al azul de metileno | mg/l              | 0,5                               |
| Tetracloruro de carbono                                | Tetracloruro de carbono                | mg/l              | 1,0                               |

<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

## ANEXO B. Caracterización inicial de los Lixiviados



| NOTAS:                                       | CATEGORIA DEL DIAGRAMA:                                                                                                                                                                                                                      | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA | DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br>TRATAMIENTO PARA<br>LIXIVIADOS |             |               |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| Caracterización inicial de los<br>lixiviados | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar | ELABORADO POR:<br>Dávalos Párraga Jasmin Valeria                                                          | <b>LÁM:</b>                                               | <b>ESC:</b> | <b>FECHA:</b> |
|                                              |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                           | 1                                                         | 1:4         | 2018/01/10    |

### ANEXO C. Tratabilidad Tratamiento 1



| NOTAS:                     | CATEGORIA DEL DIAGRAMA:                                                                                                                                                                                                                      | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA | DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br>TRATAMIENTO PARA<br>LIXIVIADOS |      |            |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|------------|
| Tratabilidad Tratamiento 1 | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar | ELABORADO POR:<br>Dávalos Párraga Jasmin Valeria                                                          | LÁM:                                                      | ESC: | FECHA:     |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                           | 2                                                         | 1:4  | 2018/01/10 |

**ANEXO D. Tratabilidad Tratamiento 2 - Aireación**



|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                               |                                                                    |             |               |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| <b>NOTAS:</b>                                   | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITECNICA DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERIA<br/>QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR:<br/>Dávalos Párraga Jasmin Valeria</p> | <p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br/>TRATAMIENTO PARA<br/>LIXIVIADOS</p> |             |               |
| <p>Tratabilidad Tratamiento 2<br/>Aireación</p> | <p><input type="checkbox"/> Aprobado                      <input type="checkbox"/> Preliminar<br/><input type="checkbox"/> Certificado                      <input type="checkbox"/> Por aprobar<br/><input type="checkbox"/> Información                      <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p> |                                                                                                                                                                               | <b>LÁM:</b>                                                        | <b>ESC:</b> | <b>FECHA:</b> |
|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                               | 3                                                                  | 1:4         | 2018/01/10    |

### ANEXO E. Tratabilidad Tratamiento 2- Físico-químico



|                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                               |                                                                    |             |               |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| <b>NOTAS:</b>                                 | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>                                                                                                                                                                                                               | <p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITECNICA DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERIA<br/>QUIMICA</b> </p> <p align="center"> <b>ELABORADO POR:<br/>Dávalos Párraga Jasmin Valeria</b> </p> | <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br/>TRATAMIENTO PARA<br/>LIXIVIADOS</b> |             |               |
| Tratabilidad Tratamiento 2-<br>Físico-químico | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |                                                                                                                                                                                                                               | <b>LÁM:</b>                                                        | <b>ESC:</b> | <b>FECHA:</b> |
|                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                               | 4                                                                  | 1:4         | 2018/01/10    |

ANEXO F. Tratabilidad Tratamiento 3



|                            |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                             |                                    |             |               |  |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------|---------------|--|
| <b>NOTAS:</b>              | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>                                                                                                                                                                                                               | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA</b>                                                                                                                                         | <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE</b>     |             |               |  |
| Tratabilidad Tratamiento 3 | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar | <b>DE CHIMBORAZO</b><br><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERIA</b><br><b>QUIMICA</b><br><br><b>ELABORADO POR:</b><br><b>Dávalos Párraga Jasmin Valeria</b> | <b>TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS</b> |             |               |  |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                             | <b>LÁM:</b>                        | <b>ESC:</b> | <b>FECHA:</b> |  |
|                            |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                             | 5                                  | 1:4         | 2018/01/10    |  |

## ANEXO G. INFORME DE ANÁLISIS MUESTRA INICIAL

# ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla: 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Análisis solicitado por: Jasmin Valeria Dávalos Párraga

Tipo de muestras: Lixiviados, Celda emergente La Concordia.

Localidad: Cantón La Concordia – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

### TRABAJO DE TITULACIÓN

#### MUESTRA INICIAL

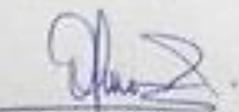
Fecha de Análisis: 27/ 09 /2017

| Determinaciones               | Unidades   | *Método                 | Resultados |
|-------------------------------|------------|-------------------------|------------|
| pH                            | Und.       | 4500-B                  | 8,70       |
| Conductividad                 | μSiems/cm  | 2510-B                  | 5400       |
| Color                         | Und. Co/Pt | 2120-C                  | 5540       |
| Turbiedad                     | NTU        | 2130-B                  | 300        |
| Nitrógeno Amoniacal           | mg/L       | 4500-NH <sub>3</sub> -C | 70         |
| Nitratos                      | mg/L       | HACH 351                | 460        |
| Sulfatos                      | mg/L       | 4500-SO <sub>4</sub> -E | 300        |
| Fosfatos                      | mg/L       | 4500-P-D                | 22,8       |
| Nitritos                      | mg/L       | 4500-NO <sub>2</sub> -B | 0,48       |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L       | 5220-C                  | 1680       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 5210-B                  | 380        |
| Sólidos Suspendidos           | mg/L       | 2540-D                  | 580        |
| Sólidos Disueltos             | mg/L       | 2540-C                  | 2800       |
| Sólidos Totales               | mg/L       | 2540-B                  | 7452       |
| Coliformes Totales            | UFC/100 mL | 9222-B                  | 10000      |
| Coliformes Fecales            | UFC/100 mL | 9222-B                  | 10000      |

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



## ANEXO H. INFORME DE ANÁLISIS TRATAMIENTO 1

# ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla: 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Análisis solicitado por: Jasmin Valeria Dávalos Párraga

Tipo de muestras: Lixiviados, Celda emergente La Concordia.

Localidad: Cantón La Concordia – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas

### TRABAJO DE TITULACIÓN

#### TRATAMIENTO 1

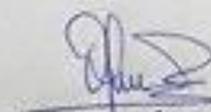
Fecha de Análisis: 09 / 10 /2017

| Determinaciones               | Unidades       | *Método                 | Resultados |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Conductividad                 | $\mu$ Siems/cm | 2510-B                  | 1740       |
| Color                         | Und. Col/Pt    | 2120-C                  | 2445       |
| Turbiedad                     | NTU            | 2130-B                  | 6,84       |
| Nitrógeno Amoniacal           | mg/L           | 4500-NH <sub>3</sub> -C | 12,5       |
| Nitratos                      | mg/L           | HACH 351                | 234        |
| Sulfatos                      | mg/L           | 4500-SO <sub>4</sub> -E | 180        |
| Fosfatos                      | mg/L           | 4500-P-D                | 15,6       |
| Nitritos                      | mg/L           | 4500-NO <sub>2</sub> -B | 0,37       |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L           | 5220-C                  | 1640       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L           | 5210-B                  | 190        |
| Sólidos Suspendidos           | mg/L           | 2540-D                  | 40         |
| Sólidos Disueltos             | mg/L           | 2540-C                  | 950        |
| Sólidos Totales               | mg/L           | 2540-B                  | 8120       |

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



# ANEXO I. INFORME DE ANÁLISIS TRATAMIENTO 2 – AIREACIÓN

## ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Análisis solicitado por: Jasmin Valeria Dávalos Párraga

Tipo de muestras: Lixiviados, Celda emergente La Concordia.

Localidad: Cantón La Concordia – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

### TRABAJO DE TITULACIÓN

TRATAMIENTO 2 (Aireación)

Fecha de Análisis: 16 / 10 /2017

| Determinaciones               | Unidades       | *Método                 | Resultados |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Conductividad                 | $\mu$ Siems/cm | 2510-B                  | 1985       |
| Color                         | Und. Co/Pt     | 2120-C                  | 2320       |
| Turbiedad                     | NTU            | 2130-B                  | 64,9       |
| Nitrógeno Amoniacal           | mg/L           | 4500-NH <sub>3</sub> -C | 57         |
| Nitratos                      | mg/L           | HACH 351                | 335        |
| Sulfatos                      | mg/L           | 4500-SO <sub>4</sub> -E | 227        |
| Fosfatos                      | mg/L           | 4500-P-D                | 19,4       |
| Nitritos                      | mg/L           | 4500-NO <sub>2</sub> -B | 0,42       |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L           | 5220-C                  | 1468       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L           | 5210-B                  | 320        |
| Sólidos Suspendidos           | mg/L           | 2540-D                  | 185        |
| Sólidos Disueltos             | mg/L           | 2540-C                  | 520        |
| Sólidos Totales               | mg/L           | 2540-B                  | 6843       |

\*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



## ANEXO J. INFORME DE ANÁLISIS TRATAMIENTO 2 – FÍSICO-QUÍMICO

# ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Análisis solicitado por: Jasmin Valeria Dávalos Párraga

Tipo de muestras: Lixiviados, Celda emergente La Concordia.

Localidad: Cantón La Concordia – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

### TRABAJO DE TITULACIÓN

TRATAMIENTO 2 (Físico-Químico)

Fecha de Análisis: 23 / 10 /2017

| Determinaciones               | Unidades       | *Método                 | Resultados |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------------|
| Conductividad                 | $\mu$ Siems/cm | 2510-B                  | 700        |
| Color                         | Und. Co/Pt     | 2120-C                  | 1650       |
| Turbiedad                     | NTU            | 2130-B                  | 6,77       |
| Nitrógeno Amoniacal           | mg/L           | 4500-NH <sub>3</sub> -C | 4,2        |
| Nitratos                      | mg/L           | HACH 351                | 66         |
| Sulfatos                      | mg/L           | 4500-SO <sub>4</sub> -E | 130        |
| Fosfatos                      | mg/L           | 4500-P-D                | 10,6       |
| Nitritos                      | mg/L           | 4500-NO <sub>2</sub> -B | 0,3        |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L           | 5220-C                  | 1350       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L           | 5210-B                  | 218        |
| Sólidos Suspendidos           | mg/L           | 2540-D                  | 90         |
| Sólidos Disueltos             | mg/L           | 2540-C                  | 250        |
| Sólidos Totales               | mg/L           | 2540-B                  | 2974       |

\*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gma Álvarez R.  
RESP LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ESPOCH



## ANEXO K. INFORME DE ANÁLISIS TRATAMIENTO 3

# ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

Análisis solicitado por: Jasmin Valeria Dávalos Párraga

Tipo de muestras: Lixiviados, Celda emergente La Concordia.

Localidad: Cantón La Concordia – Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

### TRABAJO DE TITULACIÓN

#### TRATAMIENTO 3

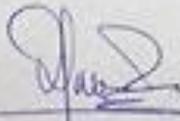
Fecha de Análisis: 11 / 12 /2017

| Determinaciones               | Unidades   | *Método                 | Resultados |
|-------------------------------|------------|-------------------------|------------|
| Color                         | Und. Co/Pl | 2120-C                  | 520        |
| Turbiedad                     | NTU        | 2130-B                  | 8,44       |
| Nitrógeno Amoniacoal          | mg/L       | 4500-NH <sub>3</sub> -C | 7,4        |
| Nitratos                      | mg/L       | HACH 351                | 78         |
| Sulfatos                      | mg/L       | 4500-SO <sub>4</sub> -E | 125        |
| Fosfatos                      | mg/L       | 4500-P-D                | 11,3       |
| Nitritos                      | mg/L       | 4500-NO <sub>2</sub> -B | 0,1        |
| Demanda Química de Oxígeno    | mg/L       | 5220-C                  | 120        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L       | 5210-B                  | 85         |
| Sólidos Suspendidos           | mg/L       | 2540-D                  | 45         |
| Sólidos Disueltos             | mg/L       | 2540-C                  | 340        |
| Sólidos Totales               | mg/L       | 2540-B                  | 670        |

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

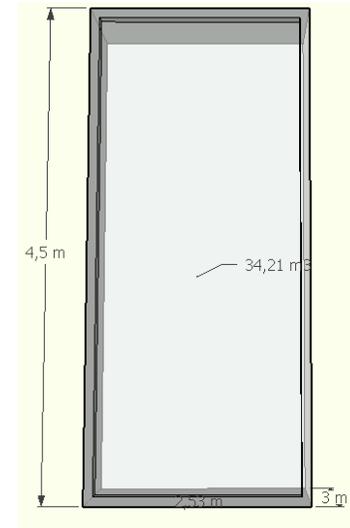
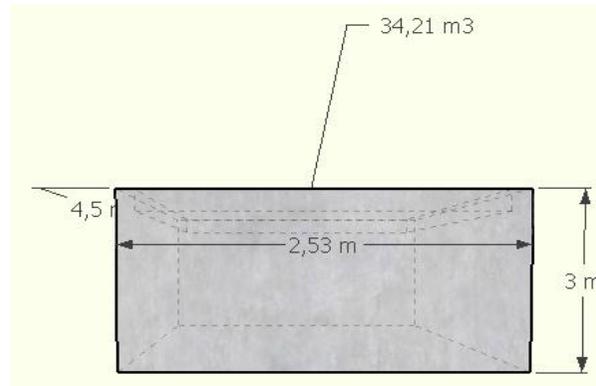
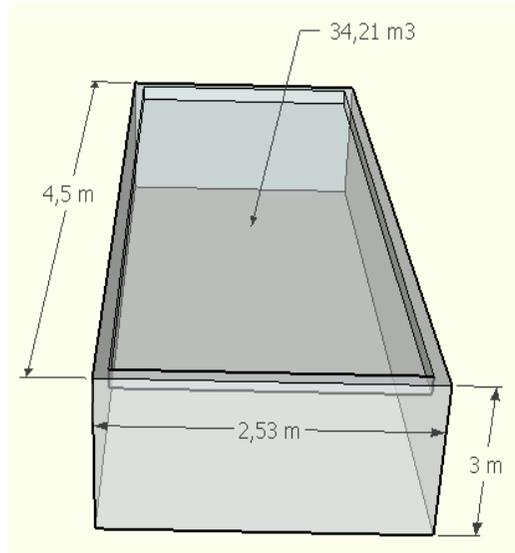
Atentamente:



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

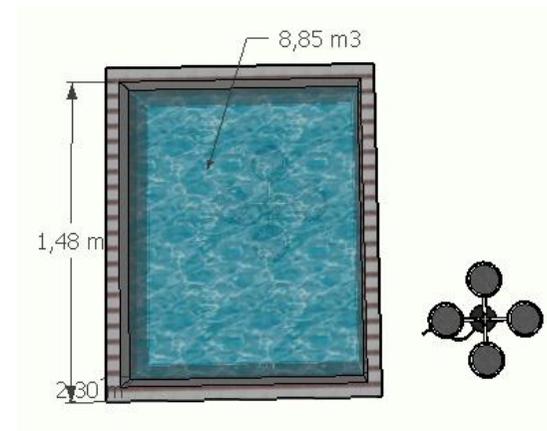
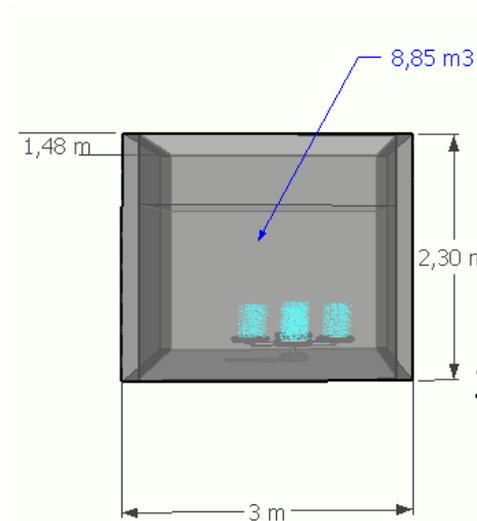
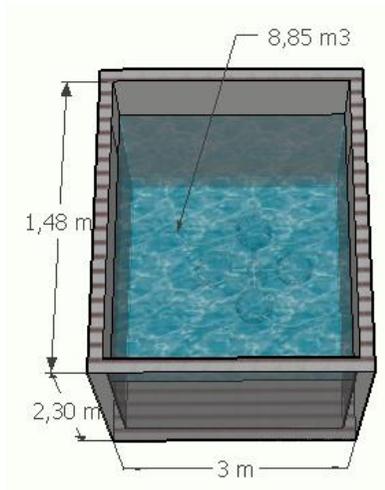


### ANEXO L. Tanque de recepción



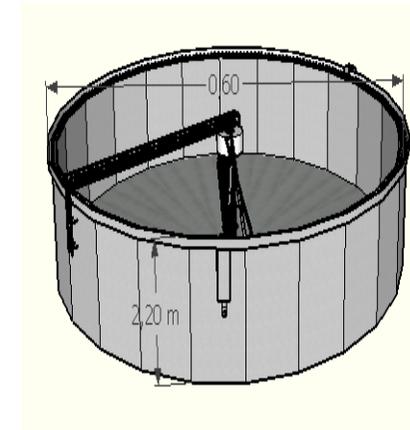
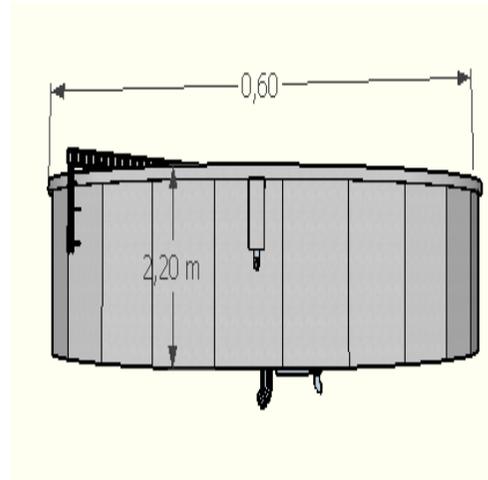
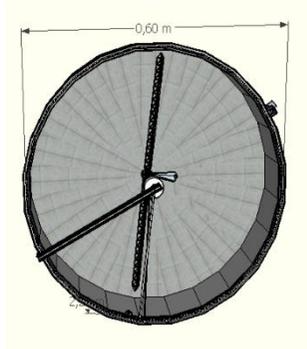
| NOTAS:              | CATEGORIA DEL DIAGRAMA:                                                                                                                                                                                                                      | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA<br/>DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERIA<br/>QUIMICA</b><br><br>ELABORADO POR:<br>Dávalos Párraga Jasmin Valeria | <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br/>TRATAMIENTO PARA<br/>LIXIVIADOS</b> |             |               |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| Tanque de recepción | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |                                                                                                                                                                              | <b>LÁM:</b>                                                        | <b>ESC:</b> | <b>FECHA:</b> |
|                     | 6                                                                                                                                                                                                                                            | 1:4                                                                                                                                                                          | 2018/01/10                                                         |             |               |

### ANEXO M. Reactor aerobio



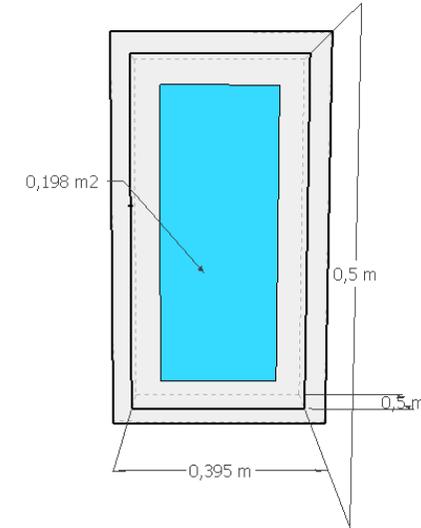
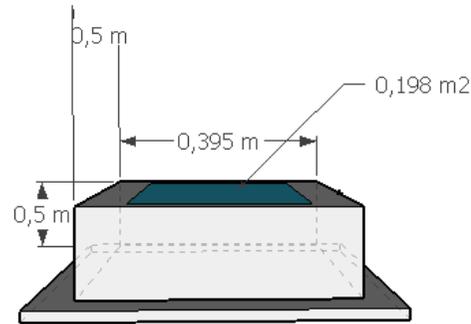
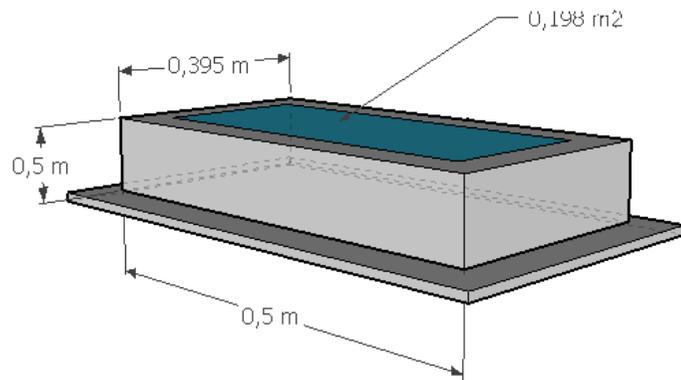
|                        |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                               |                                                                    |            |                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|
| <b>NOTAS:</b>          | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>                                                                                                                                                                                                               | <p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA<br/>DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE CIENCIAS<br/>ESCUELA DE INGENIERIA<br/>QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR:<br/>Dávalos Párraga Jasmin Valeria</p> | <p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br/>TRATAMIENTO PARA<br/>LIXIVIADOS</p> |            |                   |
| <p>Reactor aerobio</p> | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |                                                                                                                                                                               |                                                                    |            |                   |
|                        |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                               | <p>7</p>                                                           | <p>1:4</p> | <p>2018/01/10</p> |

**ANEXO N. Sedimentador secundario**



| NOTAS:                    | CATEGORIA DEL DIAGRAMA:                                                                                                                                                                                                                      | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA<br>DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA | DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS |                                                  |        |     |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|-----|
| . Sedimentador secundario | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |                                                                                                           | LÁM:                                                | ESC:                                             | FECHA: |     |
|                           |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                           |                                                     | ELABORADO POR:<br>Dávalos Párraga Jasmin Valeria | 8      | 1:4 |

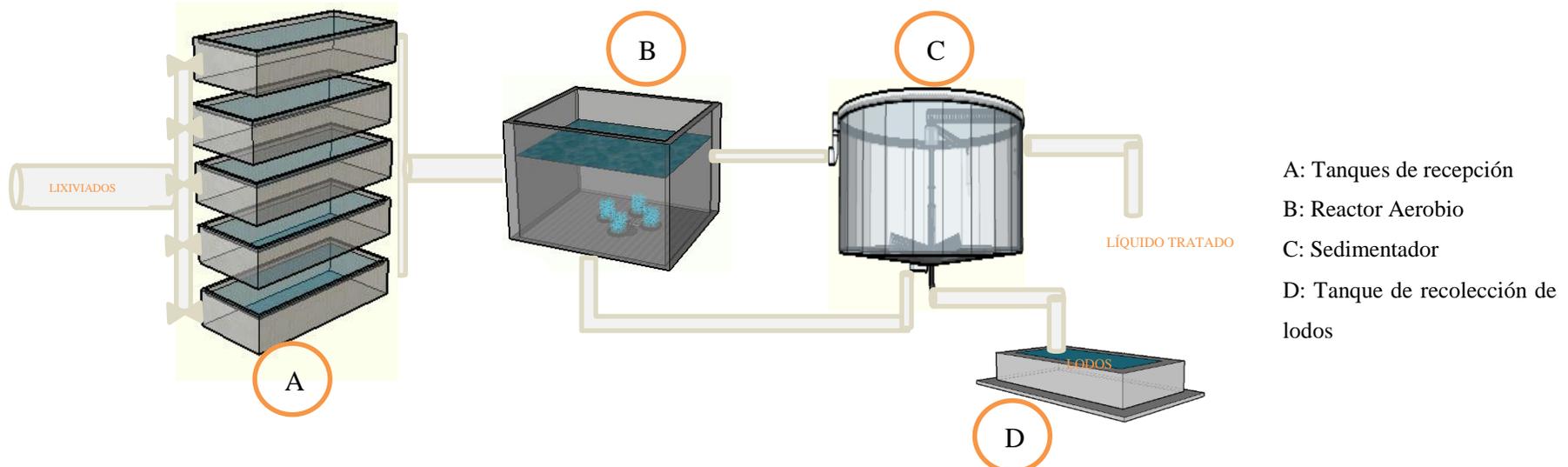
### ANEXO Ñ. Tanque de recolección de lodos



| NOTAS:                         | CATEGORIA DEL DIAGRAMA:                                                                                                                                                                                                                               | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA                                              | DISEÑO DE UN SISTEMA DE     |      |            |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|------------|
| Tanque de recolección de lodos | <input type="checkbox"/> Aprobado<br><input type="checkbox"/> Certificado<br><input type="checkbox"/> Información<br><input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar | DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA | TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS |      |            |
|                                |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                           | LÁM:                        | ESC: | FECHA:     |
|                                |                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                           | 9                           | 1:4  | 2018/01/10 |

ELABORADO POR:  
Dávalos Párraga Jasmin Valeria

**ANEXO O. Sistema de tratamiento**



- A: Tanques de recepción
- B: Reactor Aerobio
- C: Sedimentador
- D: Tanque de recolección de lodos

|                        |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                           |                                                           |  |  |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--|--|
| <b>NOTAS:</b>          | <b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</b>                                                                                                                                                                                                               | ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA<br>DE CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA DE INGENIERIA<br>QUIMICA | DISEÑO DE UN SISTEMA DE<br>TRATAMIENTO PARA<br>LIXIVIADOS |  |  |
| Sistema de tratamiento | <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar<br><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar<br><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar |                                                                                                           |                                                           |  |  |
|                        | 10                                                                                                                                                                                                                                           | 1:4                                                                                                       | 2018/01/10                                                |  |  |