



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA BIOLÓGICO PARA LA DEPURACIÓN  
DE LIXIVIADOS GENERADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE  
PORLÓN”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO.**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: EDISON GEOVANNY AMAGUAYA SHAGÑAY**

**DIRECTOR: Dr. FABIÁN ERNESTO ARIAS ARIAS**

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, Edison Geovanny Amaguaya Shagñay

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo de investigación: “Diseño de un sistema biológico para la depuración de lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Porlón”, de responsabilidad del señor egresado Edison Geovanny Amaguaya Shagñay, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Fabián Ernesto Arias Arias

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

04 de Julio del 2019

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

04 de Julio del 2019

Yo, Edison Geovanny Amaguaya Shagñay, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Edison Geovanny Amaguaya Shagñay  
060410904-1

## **DEDICATORIA**

En toda mi vida ha estado siempre presente una persona que me ha apoyado incondicionalmente, y me ha enseñado que caer no es fracasar, y que si no te arriesgas no ganas nada, esa persona es mi madre, la señora María Shagñay, este trabajo te lo dedico a ti y solo a ti pues tú le has metido tanto sacrificio por tantos años y me has mostrado que las dificultades existen, pero solo los cobardes lo toman como un pretexto para no superarse, esto va para ti, espero que algún día lo leas, TE AMO.

Edison.

## AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a un Ser Supremo que si esta allá arriba sepa que este es el inicio de grandes cosas.

A mi señora madre que es la que le ha metido bastantes ganas a que yo tenga este título universitario, gracias señora no te arrepentirás de nada.

A mis amigos de la vida con quienes he compartido grandes momentos, Jairo, gracias por el acolite siempre.

A Francis, mi amigo de aventuras, llegaste hacer mi vida muy diferente y mostrarme que puedo ser una persona bastante responsable, espero te quedes muchos años conmigo enano.

A los amigos que encontré en la ESPOCH, Anita que chévere fue encontrar a una persona tan diferente pero que sabe escuchar y hablar, fue un grato placer conocerte.

A todos los maestros que llegue a tener en los años que pase en la ESPOCH, sean buenos o malos cada uno supo inspirar muchas cosas en mí y a su vez sacar capacidades que no creí tenerlas.

Y un agradecimiento muy especial a Pao, mi amor eterno, sin ti nada de esto sería igual, me has apoyado de tantas maneras, me has dado animo cuando ya no lo tenía, me has sabido levantar de las peores situaciones y te has ganado un lugar muy grande dentro de mi ser, la vida me llevo a conocer a la persona más genial en mi vida y con la que puedo compartir varios aspectos sin temor, gracias por todo y gracias por quedarte siempre, espero que este sea el inicio de una vida llena de éxitos y que tu estés dentro de esta, TE AMO.

Edison.

## TABLA DE CONTENIDOS

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO I**

<b>1.</b>	<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
1.1.	Antecedentes de la investigación.....	5
1.2.	Residuo .....	6
1.2.1.	Residuos sólidos .....	6
1.2.1.1.	Gestión Integral de los residuos sólidos.....	6
1.2.1.2.	Efectos de una mala gestión de residuos.....	7
1.3.	Relleno sanitario .....	8
1.3.1.	Ventajas de los rellenos sanitarios .....	8
1.4.	Lixiviado.....	9
1.4.1.	Características de los lixiviados.....	9
1.4.2.	Tratamiento de lixiviados .....	10
1.4.3.	Tipos de tratamientos.....	11
1.4.3.1.	Tratamiento biológico .....	11
1.5.	Microorganismos que intervienen en la degradación de lixiviados .....	12
1.5.1.	Factores que afectan los procesos biológicos .....	12
1.5.1.1.	Temperatura. ....	12
1.5.1.2.	pH.....	13
1.6.	Reactor UASB .....	13
1.6.1.	Ventajas .....	14
1.6.2.	Proceso de conversión de la materia orgánica .....	14
1.6.2.1.	Hidrólisis.....	14
1.6.2.2.	Acidogénesis: .....	14
1.6.2.3.	Acetogénesis: .....	15
1.6.2.4.	Metanogénesis: .....	15
1.7.	Relleno Sanitario de Porlón.....	15

## CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO .....	17
2.1.	Localización del recurso.....	17
2.1.1.	Lixiviado.....	17
2.1.2.	Lodos activados.....	17
2.2.	Obtención de la muestra.....	17
2.2.1.	Población de estudio.....	17
2.2.1.1.	Lixiviados.....	17
2.2.1.2.	Lodos activados.....	17
2.2.2.	Tamaño de la muestra.....	18
2.2.2.1.	Lixiviado.....	18
2.2.2.2.	Lodos activados.....	18
2.2.3.	Selección de las muestras.....	18
2.2.3.1.	Lixiviados.....	18
2.2.3.2.	Lodos activados.....	19
2.3.	Técnicas de recolección de datos.....	19
2.4.	Variables que intervienen en el diseño de un sistema biológico para la depuración de los lixiviados.....	19
2.4.1.	Caracterización del lixiviado.....	19
2.5.	Diseño de un reactor UASB piloto.....	20
2.5.1.	Valores de diseño.....	21
2.5.2.	Ecuaciones de diseño.....	22
2.5.2.1.	Elaboración de planos.....	23
2.5.2.2.	Construcción del equipo.....	23
2.5.2.3.	Construcción.....	23
2.5.3.	Arranque del equipo.....	24
2.5.3.1.	Preparación del lodo.....	24
2.5.3.2.	Introducción del lodo al reactor.....	24
2.5.3.3.	Inicio del tratamiento.....	24
2.5.4.	Pruebas de tratabilidad.....	24
2.5.5.	Monitoreo del reactor.....	25
2.5.5.1.	Monitoreo de la temperatura.....	25
2.5.5.2.	Monitoreo del PH.....	25
2.5.5.3.	Monitoreo de la degradación de la materia orgánica.....	25
2.6.	Recolección de datos para el diseño del reactor para el tratamiento de lixiviados de Porlón.....	25



2.6.1.	Cálculo del caudal. ....	25
2.6.1.1.	Método del vertedero. ....	25
2.6.2.	Parámetros de diseño. ....	26
2.7.	Diseño del reactor para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Porlón. .....	27

### **CAPITULO III**

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
3.1.	Muestreo de lixiviado. ....	28
3.1.1.	Cálculo del caudal para el muestreo del lixiviado. ....	28
3.1.2.	Cálculo de la alícuota. ....	29
3.2.	Diseño y construcción del reactor piloto UASB para las pruebas de tratabilidad. ....	29
3.2.1.	Cálculo de los datos iniciales.....	29
3.2.2.	Aplicación de las ecuaciones de diseño.....	30
3.2.2.1.	Volumen del reactor.....	30
3.2.2.2.	Área del reactor.....	30
3.2.2.3.	Altura efectiva del reactor.....	31
3.2.2.4.	Carga Hidráulica. ....	31
3.2.2.5.	Flujo másico.....	31
3.2.2.6.	Velocidad de flujo en la campana. ....	32
3.2.2.7.	Área de abertura.....	32
3.2.2.8.	Área de sección transversal de la campana. ....	32
3.2.2.9.	Radio mayor de la campana. ....	32
3.2.2.10.	Ancho de la abertura. ....	33
3.2.2.11.	Ancho de la abertura de la campana. ....	33
3.2.2.12.	Altura de la campana.....	33
3.2.2.13.	Traslapo.....	33
3.2.2.14.	Ancho de los deflectores. ....	33
3.2.2.15.	Longitud de los deflectores. ....	34
3.2.3.	Dibujo de los planos del reactor UASB piloto. ....	34
3.2.4.	Construcción del reactor UASB piloto. ....	35
3.2.5.	Construcción del sistema Arduino.....	35
3.3.	Pruebas de Tratabilidad. ....	36
3.3.1.	Caracterización del lixiviado. ....	36
3.3.2.	Arranque del reactor. ....	37

3.3.3.	Resultados de las pruebas de tratabilidad por día.....	38
3.3.4.	Resultados de las pruebas de tratabilidad por parámetro.....	40
3.3.4.1.	Cloruros.....	40
3.3.4.2.	Alcalinidad.....	40
3.3.4.3.	Nitrógeno Amoniacal.....	41
3.3.4.4.	DBO.....	42
3.3.4.5.	DQO.....	42
3.3.4.6.	pH.....	43
3.3.4.7.	Porcentaje de degradación durante las pruebas de tratabilidad.....	43
3.4.	Cálculo del caudal.....	44
3.5.	Diseño del sistema biológico para la depuración de los lixiviados de Porlón.....	44
3.5.1.	Diseño del tanque de recepción de lixiviados.....	45
3.5.1.1.	Volumen del tanque.....	45
3.5.1.2.	Dimensiones del tanque rectangular.....	45
3.5.2.	Diseño del tanque de alimentación y del tanque de salida.....	46
3.5.2.1.	Volumen del tanque.....	46
3.5.2.2.	Dimensiones del tanque rectangular.....	46
3.5.3.	Diseño del reactor UASB.....	47
3.5.3.1.	Volumen del reactor.....	47
3.5.3.2.	Área del reactor.....	47
3.5.3.3.	Altura efectiva del reactor.....	47
3.5.3.4.	Carga Hidráulica.....	48
3.5.3.5.	Flujo másico.....	48
3.5.3.6.	Velocidad de flujo en la campana.....	48
3.5.3.7.	Área de abertura.....	49
3.5.3.8.	Área de sección transversal de la campana.....	49
3.5.3.9.	Radio mayor de la campana.....	49
3.5.3.10.	Ancho de la abertura.....	49
3.5.3.11.	Ancho de la abertura de la campana.....	50
3.5.3.12.	Altura de la campana.....	50
3.5.3.13.	Traslapo.....	50
3.5.3.14.	Ancho de los deflectores.....	50
3.5.3.15.	Longitud de los deflectores.....	50

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Características de los lixiviados.....	28
<b>Tabla 1-2:</b>	Valores de caracterización.....	39
<b>Tabla 2-2:</b>	Parámetros iniciales de diseño.....	40
<b>Tabla 3-2:</b>	Ecuaciones de diseño.....	41
<b>Tabla 1-3:</b>	Parámetros iniciales tomados para el diseño del reactor piloto.....	49
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores de las ecuaciones de diseño aplicadas.....	54
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados de la caracterización inicial de lixiviado.....	57
<b>Tabla 4-3:</b>	Resultados de los análisis según el día de tratamiento.....	58
<b>Tabla 5-3:</b>	Porcentaje de degradación.....	63
<b>Tabla 6-3:</b>	Caudal máximo, mínimo y promedio.....	64
<b>Tabla 7-3:</b>	Parámetros de diseño.....	64

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Etapas de un sistema integral de gestión de RS.....	25
<b>Figura 1-2:</b>	Ilustración de un vertedero triangular.....	45
<b>Figura 1-3:</b>	Diseño de conexión Arduino al chip alimentador de la bomba.....	55
<b>Figura 2-3:</b>	Diseño de conexión Arduino a los sensores de temperatura.....	56
<b>Figura 3-3:</b>	Diseño de conexión Arduino a la pantalla de lectura.....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico 1-3:</b> Variación de la temperatura del reactor UASB desde su arranque.....	58
<b>Grafico 2-3:</b> Concentración de los cloruros en el tiempo de tratamiento.....	60
<b>Grafico 3-3:</b> Alcalinidad en el tiempo de tratamiento.....	60
<b>Grafico 4-3:</b> Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal en el tiempo de tratamiento.....	61
<b>Grafico 5-3:</b> Variación de la concentración de DBO en el tiempo de tratamiento.....	62
<b>Grafico 6-3:</b> Variación de la DQO en el tiempo de tratamiento.....	62
<b>Grafico 7-3:</b> Variación del pH en el tiempo de tratamiento.....	63

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Manual de operación del reactor piloto UASB
<b>Anexo B:</b>	Muestreo y monitoreo del lixiviado.
<b>Anexo C:</b>	Actualidad de la planta de tratamiento de lixiviados.
<b>Anexo D:</b>	Planos del reactor piloto y el sistema de aislamiento.
<b>Anexo E:</b>	Proceso de construcción.
<b>Anexo F:</b>	Construcción Arduino.
<b>Anexo G:</b>	Arranque del reactor UASB.
<b>Anexo H:</b>	Análisis de Laboratorio.
<b>Anexo I:</b>	Plano del tanque de almacenamiento.
<b>Anexo J:</b>	Plano del tanque de alimentación y descarga.
<b>Anexo K:</b>	Plano del Reactor.
<b>Anexo L:</b>	Sistema biológico para la depuración de lixiviados.
<b>Anexo M:</b>	Datos de caudal medido en el vertedero triangular de la planta de tratamientos de los lixiviados.

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado.
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket.
RAFA	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EPA	Agencia de Protección Ambiental
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
COT	Carbono Orgánico Total
g/L	Gramos por Litro
mg/L	Miligramo por Litro
°C	Grados Celsius
Kg/m <sup>3</sup> d	Kilogramo por metro cubico día
m/h	Metro por hora
cm/min	Centímetro por minuto
Cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
m <sup>3</sup> /día	Metro cubico por día

## **RESUMEN**

En este proyecto se diseñó un sistema de tratamiento biológico para la depuración de los lixiviados del Relleno Sanitario de la Comunidad San Jerónimo de Porlón en la ciudad de Riobamba, el cual se enfocó en el uso un sistema UASB, el proceso inició con la caracterización del lixiviado y monitoreo del caudal, con los datos obtenidos se procedió al diseño del reactor piloto, con el cual se realizaron pruebas de tratabilidad que posteriormente ayudaron a la obtención de los datos que fueron utilizados para el diseño de una planta en escala real que abastezca las necesidades del relleno. los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad fueron significativos, ya que se obtuvo una reducción de DBO del 82 %, de DQO del 75 %, y de Nitrógeno amoniacal del 85,61%; además de estos parámetros se usaron tres parámetros de control como: el pH, la alcalinidad y los cloruros, los cuales sirvieron para verificar el correcto funcionamiento del reactor; otro de los valores que se evaluaron fue el tiempo de resiliencia hidráulica que debido a la carga orgánica presente en el lixiviado, se estableció en 0,7 días. Una vez obtenidos los datos correctos se procedió al diseño del reactor final que deberá ser incorporado a un sistema de tratamiento complementario para lograr una degradación eficaz y pueda ser descargado en una fuente de agua.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL> <LIXIVIADOS>, <CONTAMINACIÓN DEL AGUA>, <RELLENO SANITARIO>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.



## **ABSTRACT**

In this project a biological treatment system was designed for the purification of leachates from San Jerónimo de Porlón Community Sanitary Landfill in the city of Riobamba, which focused on the use of a UASB system, the process began with the characterization of the leachate and flow monitoring, with the data obtained; the pilot reactor was designed, with which treatability tests were carried out that subsequently helped to obtain the data that were used for the design of a real-scale plant that supplies the needs of the landfill, the results obtained in the treatability tests were significant, since obtained a BOD reduction of 82%, of COD of 75%, and of ammoniacal nitrogen of 85.61%; besides these parameters, three control parameters were used: pH, alkalinity and chlorides, which served to verify the correct operation of the reactor; another of the values evaluated was the hydraulic resilience time that, due to the organic load present in the leachate, was set at 0.7 days. Once the correct data were obtained, the final reactor was designed and incorporated into a complementary treatment system to achieve efficient degradation and can be discharged into a water source.

**Keywords:** <BIOTECHNOLOGY>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <LIXIVIATES>, <WATER CONTAMINATION>, <SANITARY FILLING>, <RIOBAMBA (CANTON)>

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Riobamba, desde el 2016, la disposición final de los residuos sólidos generados por la zona urbana y rural de la ciudad son depositados en la celda emergente del Relleno Sanitario de la comunidad de Porlón (CONSULTORACAV CÍA. LTDA , 2014). Según la Asociación de Municipalidades del Ecuador se menciona que en la ciudad de Riobamba, se recogen diariamente 150 Toneladas de Desechos Sólidos, (AME (Asociacion de Municipalidades del Ecuador), 2017), mismos que son trasladados al relleno sanitario de la ciudad que se encuentra en la comunidad de San Jerónimo de Porlón a 6 Km de la cabecera cantonal, donde los residuos son depositados y enterrados en las celdas destinadas para el fin.

El relleno sanitario cuenta con un sistema de drenaje encargado de transportar los lixiviados generados tanto por la descomposición de los residuos sólidos, como por la infiltración de las precipitaciones que caen en la zona; realizándose un proceso de recirculación hacia la celda emergente, para que los lixiviados no generen problemas de contaminación.

En la actualidad, la gestión y disposición final de los residuos sólidos y los lixiviados está a cargo de la Dirección de Gestión Salubridad e Higiene del GAD Municipal de Riobamba, en el que, el tratamiento dado radica únicamente en la adición de microorganismos en una piscina aeróbica, y de la utilización de humedales artificiales que hasta la fecha no funcionan de una manera óptima. Por todo esto, es necesario la complementación del sistema de tratamiento, para que este lixiviado pueda ser incorporado a un cuerpo de agua bajo los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A reforma al TULSMA.

Según la Consultora (CONSULTORACAV CÍA. LTDA , 2014), el Relleno Sanitario de la ciudad de Riobamba tiene un tiempo de vida útil de aproximadamente 549 días o de 1,5 años, pero la generación de lixiviados puede mantenerse por varios años posterior al cierre o clausura, debido a la cantidad de basura contenida que retiene parte del líquido; por lo que, el sistema de tratamiento de lixiviados debe funcionar continuamente. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, 2010)

La zona en la que se encuentra ubicado el sistema de tratamientos, está ocupada en su mayoría, por la actual infraestructura que consta de un tanque de recepción, un vertedero triangular, dos desarenadores, un tanque aeróbico, tres humedales artificiales y un tanque de recepción final, distribuido en dos plantas ubicadas de forma paralela a la celda emergente y separadas por un talud con una pendiente de 120° y una altura de 15 m (CONSULTORACAV CÍA. LTDA , 2014).

La primera planta o planta superior se encuentra a la altura de la celda y se puede acceder por un callejón ubicado en el extremo inferior izquierdo de dicha planta, en esta encontramos la desembocadura del sistema de drenaje en el que se ubica un vertedero triangular para controlar el volumen de lixiviado, mismo que dirige el líquido hacia dos sedimentadores cónicos y del cual son enviados hacia la piscina aeróbica donde los lixiviados son tratados por medio de microorganismos. Los lixiviados de la primera pasan a la segunda planta o planta inferior, el cual es accesible por medio de un camino entre el sistema de tratamiento y la celda emergente. En esta planta, los lixiviados son distribuidos hacia tres humedales artificiales compuesto de totoras, a través de un canal de distribución ubicado en la borde del talud en la primera planta. El lixiviado pasa posteriormente a una piscina donde es recirculado hacia la celda, donde según los análisis realizados por parte de la Dirección de Gestión Salubridad e Higiene del GAD Municipal de Riobamba, el proceso no cumple con las características para que estos residuos líquidos puedan ser evacuados hacia un cuerpo de agua más cercano.

Frente a esta realidad, la implementación de un sistema de tratamiento complementario al actual, favorecería la reducción de la carga contaminante de los lixiviados del Relleno Sanitario de la comunidad de Porlón, reduciendo el impacto ambiental tanto sobre el suelo como sobre los cuerpos hídricos.

## JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pretende utilizar un sistema de tratamiento biológicos para la depuración de los lixiviados; por lo que, el diseño de un reactor biológico de tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) o también por sus siglas en español RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente), favorecerá la remoción de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) hasta en un 92 % y 82 % respectivamente, (Caicedo Messa, 2006). Con la finalidad de que cumpla con la normativa establecida en el Acuerdo Ministerial 097A reforma al TULSMA, con Registro oficial N° 387 del miércoles 4 de Noviembre del 2015, es necesario la incorporación de un tratamiento complementario al sistema actual, logrando así que los parámetros físico químicos y biológicos, se reduzcan previos a la disposición final del lixiviado hacia un cuerpo de agua, logrando el objetivo principal de la planta de tratamientos de lixiviados de la celda emergente.

El uso de un sistema de tratamiento biológico de tipo UASB dentro del proceso de tratamiento de lixiviados en el Relleno Sanitario, sería de gran ayuda, sabiendo que estos sistemas son efectivos al tratar lixiviados con una relación DBO/DQO entre 0,7 y 0,3 (Giraldo, 2002); puesto que se ocupan de las pequeñas superficies y el tiempo de retención relativamente bajo en relación a los otros procesos de tratamiento (Arratia, 2012), y que combina al actual sistema, eliminaría el proceso de recirculación del lixiviado a la celda, evitando la presencia de fugas y la proliferación de vectores.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un sistema biológico para la depuración de lixiviados del Relleno Sanitario de Porlón en la ciudad de Riobamba

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar los lixiviados producidos en el Relleno Sanitario de Porlón

Realizar las pruebas de tratabilidad para la depuración de los lixiviados usando un sistema UASB

Identificar los parámetros que intervienen en el diseño del reactor UASB para el tratamiento de los lixiviados

Dimensionar el reactor UASB bajo los criterios determinados en las pruebas de tratabilidad

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

El hombre desde sus inicios ha dispuesto de los recursos de la naturaleza para su consumo como para la disposición de los desechos, lo cual no representaba un peligro, sin embargo debido al elevado aumento de la población y el desarrollo que se evidencia diariamente la producción de residuos se ha convertido en un problema a escala mundial, pues la naturaleza ido perdiendo capacidad de asimilación. (Jara, 2014, pp.6-7)

La generación de residuos representa un desafío para varias ciudades, pues, se evidencia la existencia de problemas para la recolección y disposición final de residuos por lo que se buscan estrategias para minimizar los daños que esto conlleva, una de las soluciones para la protección del ambiente es la reutilización de los residuos, misma que debe formar parte integral en los procesos productivos y de consumo dentro de la población. (Vazquez, 2001)

Los residuos y desechos cuya disposición final son los rellenos sanitarios están en contacto permanente con el agua, esta agua recoge gran parte de las sustancias que se encuentran en el residuos provocando que el agua se contamine y como producto final se obtengan lixiviados que contaminan tanto agua como suelo, por tal razón es necesario realizar una disposición adecuada de estos contaminantes para evitar daños ambientales. (Giraldo, 2014, p. 44)

Debido a los costos elevados que representan la recolección de los desechos se vuelve inaccesible el uso de membranas impermeables para evitar la filtración de los lixiviados en los acuíferos, lo que representa una amenaza de contaminación en todos los afluentes cercanos a los rellenos sanitarios, especialmente en el caso de Porlón porque limita con uno de los ríos principales de la ciudad.

## **1.2. Residuo**

Son materiales que se generan como subproductos en los procesos productivos, extractivos, de transformación o tratamiento que se caracterizan porque no pueden ser utilizados nuevamente en el proceso que se generó. (Jiménez, 2009, p. 453)

Son restos producidos por cualquier tipo de actividad antropogénica que son considerados como inútiles e indeseables pero que pueden representar utilidad para otras personas. Este grupo comprende las masas de acumulación heterogénea y homogénea. (Ruíz, 2004, p.6)

### **1.2.1. Residuos sólidos**

La Agencia de Protección Ambiental por sus siglas en inglés EPA, define a los residuos sólidos como cualquier tipo de desperdicio, basura o lodos generados en plantas de tratamientos como resultado de las actividades industriales y agrícolas. Toda actividad genera un tipo de residuo. (Environmental Protection Agency, 2016)

En los países en vías de desarrollo es necesario que se reconozcan la naturaleza de los residuos sólidos, la distribución de los asentamientos humanos y la localización de centros de transferencia vuelven insostenibles algunas acciones para disminuir la producción de residuos. Por tal razón se implementan sistemas de gestión integral para lograr una optimización de costos y una reducción de contaminación. (Merary y Martínez, 2015, p. 35-37)

En el Ecuador, la Gestión de residuos sólidos está regulado por el Acuerdo 061 reforma al libro VI del TULSMA, donde se establece que la gestión integral de los residuos es responsabilidad de los Gobiernos autónomos descentralizados así como de todos los ecuatorianos con el objetivo de contribuir al desarrollo sustentable del país. (Ministerio del Ambiente, 2015)

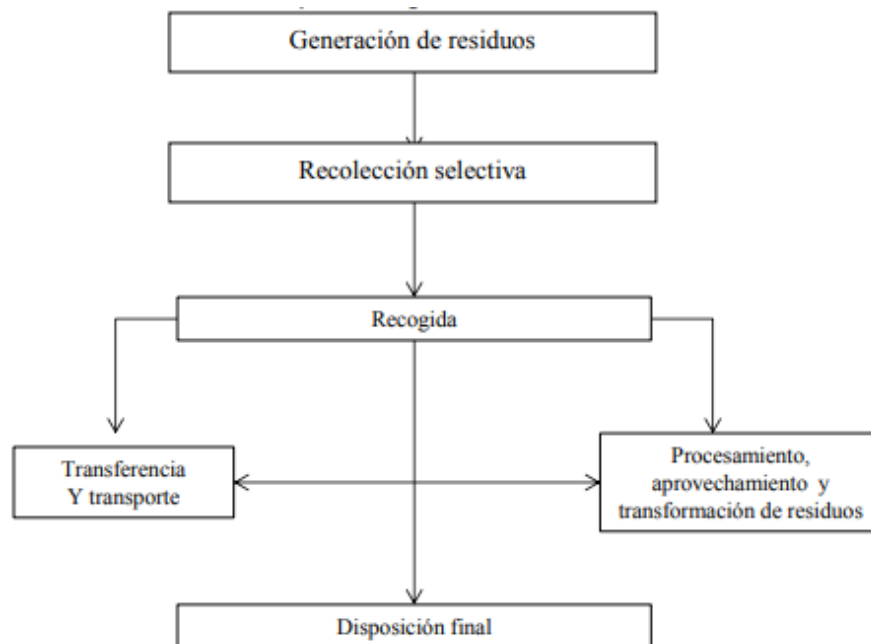
#### **1.2.1.1. Gestión Integral de los residuos sólidos**

La gestión integral de residuos es un conjunto de estrategias que buscan implementar y mejorar tecnologías y operaciones para una correcta disposición final de los residuos, para que considere las características, costos, volumen, la composición y la procedencia de los residuos. (CARE Internacional-Avina, 2012, pp.15-19)

Según Rondón et al. (2016), menciona que la gestión de residuos sólidos es una disciplina relacionada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transporte, procesamiento y

disposición final de los residuos sólidos que responde a expectativas en cuanto a salud, economía, estética y medio ambiente.

Un plan de gestión ambiental está constituido por las etapas que permiten el correcto manejo de los residuos sólidos generados así como también abarca aspectos económicos, legales e institucionales mismos que en conjunto buscan solucionar y reducir el impacto negativo que éstos producen a los cuerpos de agua y suelo. (Rondón et al., 2016, pp.30-32)



**Figura 1-1:** Etapas de un sistema integral de gestión de RS.

**Fuente:** Tchovanoglous et al. 1994, citado por Rondón et al

En varios países de América como México, Paraguay, Colombia, Honduras, Nicaragua, Ecuador, entre otros se utilizan como principal forma de disposición final los rellenos sanitarios debido a las ventajas que representa en cuanto a coste y facilidad de operación. (Villamayor y Grau, 2009, p.3)

#### 1.2.1.2. Efectos de una mala gestión de residuos

- Contaminación de suelo y aguas superficiales como subterráneas.
- La materia orgánica favorece al aumento de nitrógeno y fósforo pero disminuye la cantidad de oxígeno disponible.
- Contaminación química debido al incorrecto manejo de los residuos.
- Deterioro o pérdida del paisaje (Espinosa et al., 2010, pp.314-316)



### **1.3. Relleno sanitario**

Es una técnica utilizada en la disposición final de los residuos, que se basa en la disposición de capas de residuos compactada sobre el suelo que se encuentra impermeabilizado. (Ullca, 2006, p.2).

Los rellenos sanitarios son espacios predestinados a la disposición final de residuos, éstos están diseñados para evitar problemas de salud o del ambiente durante el tiempo de operación y después de su clausura, es considerada como una tecnología ingenieril que permite la agrupación de basura en zonas estrechas y controladas que minimizan los riesgos sobre el ambiente. (Torri, 2017, p. 1)

Los rellenos sanitarios son sistemas de tratamiento que favorecen las condiciones necesarias para que la actividad microbiana actúe y se puedan obtener beneficios económicos de los procesos de mineralización y transformación del que forman parte los microorganismos. (Espinoso et al. 2016)

En Ecuador se define a un relleno sanitario como una técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos que se basa en la disposición de éstos en celdas previamente acondicionadas en un espacio reducido, la técnica está fundamentada en tres aspectos.

- Esparcimiento
- Acomodo
- Compactación.

Una vez realizada estas etapas se coloca sobre las capas de residuos una capa de tierra para minimizar riesgos de afectaciones a la salud o al ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Para la construcción de un relleno sanitario es necesario considerar algunos aspectos como:

- Condiciones topográficas y climáticas.
- Características del suelo
- Nivel Freático
- Disponibilidad de material de cobertura

#### **1.3.1. Ventajas de los rellenos sanitarios**

- Bajos costes de instauración
- Permite la recuperación de sectores ambientalmente degradados por las actividades humanas
- Reutilización de los gases producidos para la generación de energía.
- Son flexibles en cuanto a la cantidad que pueden recibir en comparación a la que está planificado.
- El tiempo de inicio de funcionamiento es relativamente corto
- Debido al control que se necesita, pueden estar ubicados cerca de las zonas urbanas, lo que reduce gastos de movilización

#### **1.4. Lixiviado**

Es una mezcla de líquido como producto de la descomposición de la basura y líquidos provenientes de fuentes externas como lluvias, manantiales, aguas subterráneas o aguas superficiales, éste se forma por la percolación o arrastre de los componentes presentes en los residuos. (Vazquez, 2001, p.20)

Wang et al. 2003 citado por Najera, menciona que los lixiviados son aguas residuales de naturaleza compleja que se generan cuando la cantidad de humedad de los residuos sobrepasa a la capacidad de campo que presenta el terreno, por tal razón estas sustancias pueden escurrirse o infiltrarse en los suelos y pueden ser muy riesgosos para la salud humana debido a la carga química y microbiana que contiene. (Najera, 2010, pp.3-5)

##### **1.4.1. Características de los lixiviados**

La variabilidad en cuanto a las características de los lixiviados está determinada por varios factores como el lugar, la climatología, el tipo de terreno, la disponibilidad de humedad y oxígeno, composición y profundidad a la que se encuentran los residuos, la compactación de los residuos, procedimientos de muestreos y el diseño y operación del relleno sanitario. (López et al. 2010, p.31)

En la tabla 1-1. Se muestran las principales características de los lixiviados según Najera (2014), quien los clasifica dependiendo de la edad del lixiviado.

**Tabla 1-1.-** Características de los lixiviados

<b>Edad del relleno y tipo de lixiviado</b>			
	<b>&lt;5(joven)</b>	<b>5-10(medio)</b>	<b>&gt;10(viejo)</b>
<b>Parámetro</b>	Biodegradable	Intermedio	Estabilizado
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO(mg/L)	>20 000	3000-15000	<5000
DQO/COT	<2,7	2-2,7	>2
DBO5/DQO	>0,5	0,1-0,5	<0,1
%COT	>70	5-30	<5
Metales pesados(g/L)	2		<50mg/L

**Fuente:** Najera, 2014

**Realizado por:** Edison Amaguaya

#### **1.4.2. Tratamiento de lixiviados**

Actualmente para tratar lixiviados se utilizan métodos que permitan realizar el proceso in-situ, por lo que se utilizan una combinación de tratamiento físico-químicos como biológicos. Es necesario considerar algunos factores para escoger el tratamiento más adecuado.

- Según la edad del lixiviado.

Cuando los lixiviados tienen una edad mayor de 3 años se debe tratarlos mediante procesos físico químicos, pues, los niveles de biodegradabilidad que están representados por la relación de la DBO 5 y la DQO decrecen con el tiempo. (Conrchem envitech 2014)

- Según el caudal y la carga contaminante a tratar

La determinación del caudal permitirá conocer si los procesos biológicos convencionales son capaces de eliminar la carga contaminante del lixiviado o si se debe planificar un sistema de tratamiento como el uso de membranas después del tratamiento biológico

### **1.4.3. Tipos de tratamientos**

#### **1.4.3.1. Tratamiento biológico**

##### **- Tratamiento aeróbico.**

Los sistemas oxigenados son utilizados cuando se necesitan concentraciones de DBO bajas, estos procesos representan una opción eficaz debido a que pueden alcanzar porcentajes de remoción de hasta el 90%, sin embargo el DBO remanente alcanza niveles más altos de los esperados por lo que impide la descarga a los flujos naturales de agua. (Arratia 2015)

Los costos de aplicación de este tipo de tratamiento son elevados en comparación al tratamiento anaerobio, sin embargo es una opción eficaz cuando las concentraciones que se requieren disminuir son bajas. (Corena Luna, 2008)

##### **- Tratamiento biológico anaeróbico.**

Los procesos biológicos son efectivos para lixiviados jóvenes, que generalmente presentan altas concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y cuya relación de demanda bioquímica de Oxígeno y demanda química de Oxígeno (DBO5/DQO) es mayor a 0,4; lo cual indica alta biodegradabilidad. (Martinez-Lopez, y otros, 2014)

Las elevadas concentraciones de materia orgánica, favorecen a la aplicación de los procesos anaerobios cuando se trata de lixiviados jóvenes. En términos de las reducciones de DBO, se reportan eficiencia cuando se tienen cargas razonables de DBO y DQO, por lo que usualmente se usan para llegar a niveles de tratamiento secundario, pero cuando se requieren eficiencias superiores se utilizan como pretratamiento, precediendo a sistemas aerobios como los lodos activados. (Corena Luna, 2008)

La implementación de etapas anaerobias sean estas simples o combinadas con procesos anaerobios representan grandes ventajas debido a que los costos de implementación se reducen, así como el tamaño de la infraestructura es menor, la cantidad de energía consumible baja al igual que la producción de lodos y se puede lograr la eliminación de las unidades de digestión de los lodos y a su vez se puede utilizar el subproducto generado como una alternativa energética. (Torres et al., 2005, p.15)

Una alternativa para el tratamiento de lixiviados es la construcción de lagunas y humedales, son fáciles de operar y además permiten que se incorporen diferentes tipos de tratamientos dependiendo del tipo de lixiviado. Esta tecnología permite el manejo adecuado de las espumas, materiales tóxicos y las cargas hidráulicas lo que permite que se produzcan mayores tiempos de retención y menor cantidad de producción de gases. (Martínez et al., 2014, pp.39-40)

## **1.5. Microorganismos que intervienen en la degradación de lixiviados**

Debido a que el mundo en que habitamos está rodeado de microorganismos, la biomasa generada se encuentra cubierta de todo tipo de microfauna representada por protozoos, microalgas, bacterias y hongos hasta insectos y gusanos, seres que cumplen un papel primordial en la descomposición de los residuos, el éxito de los procesos de degradación dependerá del tipo de sustrato disponible para los microorganismos y de la cinética de crecimiento que presentan. (Yong, 2016)

### **1.5.1. Factores que afectan los procesos biológicos**

Algunos autores mencionan que la eficiencia de los tratamientos anaeróbicos sean simples o combinados, éste tipo de tratamiento es considerado como un proceso biotecnológico amigable con el ambiente y toman relevancia principalmente en países cálidos debido a que las condiciones climáticas favorecen a los procesos de degradación de los microorganismos que intervienen en el proceso. (Maldonado et al., 2017)

#### **1.5.1.1. Temperatura.**

La temperatura es un parámetro fundamental en el tratamiento de lixiviados de este parámetro dependerá la selección del tipo de sistema operacional que se utilizará, según Madigan, Martinko y Parker (2010), mencionan que la actividad microbiana está influenciada directamente por la temperatura, la variación de microorganismos en los diferentes sectores del planeta han permitido que éstos se adapten a las condiciones climáticas y creen adaptaciones celulares que permiten el correcto desenvolvimiento de sus funciones en el ambiente.

La mayoría de microorganismos presentes en los lixiviados se desarrollan en temperaturas mesófilas que oscilan de 15 a 27°C considerándose ésta como una temperatura óptima que condiciona el funcionamiento del proceso, pues existe una mayor generación de biomasa en temperaturas moderadas-altas debido a que el metabolismo microbiano se ve afectado y las comunidades pueden alterarse de éste modo solo prevalecerán los microorganismos aptos para desenvolverse en condiciones determinadas por la temperatura (Salazar y Saavedra, 2009, pp.3-5)

#### 1.5.1.2. *pH*

El potencial de hidrógeno es importante debido a que es el factor responsable de la acidificación de los medios en los que se desarrollan los microorganismos, para Torres (2008) los residuos sólidos principalmente contienen una humedad aproximada del 70% debido a la presencia de materia orgánica lo que representa un riesgo para el tratamiento anaeróbico.

Algunos estudios comparan el éxito de los tratamientos de los lixiviados con pH ácidos y alcalinos frente a pH neutros e indican que los buenos resultados se basan primordialmente en las características físico químicas del sustrato, en algunos casos éstos pueden ser usados como buffer durante las reacciones químicas que se desencadenan, y en el tipo de microorganismo pues cada tipo tiene un pH determinado para su crecimiento. (Madigan, Martinko y Parker, 2010, pp. 457-586)

La degradación anaeróbica será eficiente cuando el pH sea neutro sin embargo para Acosta el rango de crecimiento ideal es de 8.2 a 8.4 mientras que para Angelidaki el rango óptimo se encuentra entre 5.5 y 6.5. (Parra-orobio et al., 2014, pp.553-558)

### 1.6. **Reactor UASB**

Conocido como reactor anaeróbico de manto de fango de flujo ascendente, fue creado en Holanda por Gatzke Lettinga y su equipo de investigadores de la Universidad de Wageningen en 1970 por la necesidad de optimizar y mejorar la calidad de los lixiviados desechados. (Arratia, 2015)

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí, relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos, cuya densidad

les permite sedimentar en el digestor, la biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el tratamiento aeróbico, es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico.

Estos reactores reemplazaron, de cierta forma, a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores en las plantas de tratamiento anaeróbico además del tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO, en función de la concentración inicial del agua residual. Los U. A. S. B. funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%; para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas. El tratamiento anaerobio se recomienda para el lixiviado con una relación de DBO/DQO entre 0,7 y 0,3. (Caicedo Messa, 2006)

#### **1.6.1. Ventajas**

- Es de diseño simple y fácil uso
- No requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa
- El funcionamiento se basa en la sedimentación de la biomasa que se produce dentro del reactor.
- Obtención de biogás como subproducto del proceso. (Arratia, 2015, pp.5-7)

#### **1.6.2. Proceso de conversión de la materia orgánica**

##### **1.6.2.1. Hidrólisis.**

En esta fase el material orgánico insoluble se convierte en estructuras de fácil asimilación por la presencia de bacterias y sus estructuras extracelulares, por lo que los microorganismos hidrolizan los compuestos, este proceso es lento y se ve afectado por el pH del medio.

La materia orgánica está compuesto de macromoléculas dentro de las que se encuentran las proteínas que representan una parte importante dentro del proceso anaeróbico por ser fuente de energía y carbono, una vez hidrolizadas, sus aminoácidos son utilizados para la fabricación de nuevo material celular. (Varnero, 2011, pp.8-25)

##### **1.6.2.2. Acidogénesis:**

En la segunda fase, el material orgánico soluble es convertido en moléculas asimilables para las bacterias, mismas que producirán el alimento para que sea usado por las bacterias acetogénicas, en esta fase intervienen bacterias formadoras de ácidos. (Varnero, 2011, pp.8-25)

Los principales productos que se obtienen en esta fase son alcoholes, ácidos grasos, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, además se genera una nueva biomasa que se encuentra colonizada por bacterias anaerobias estrictas, algunos de los productos generados en esta fase se ve afectado por la concentración de pH del medio, en esta fase el oxígeno disuelto que puede ser un tóxico para las bacterias acidogénicas es removido. (Arratia, 2015, pp.5-7)

#### *1.6.2.3. Acetogénesis:*

Los productos son reducidos a acetato e hidrógeno, compuestos simples, asimilable por las bacterias, en esta etapa, las bacterias han consumido todos los nutrientes disponibles y como resultado producen sustancias de desecho que serán utilizadas por las bacterias metanogénicas. (Varnero, 2011, pp.8-25)

En esta fase la demanda química de oxígeno, DQO, es transformada en ácido acético mientras que la producción de dióxido de carbono e hidrógeno dependerá específicamente de la cantidad de materia orgánica oxidada.

#### *1.6.2.4. Metanogénesis:*

Bacterias anaerobias actúan sobre los productos resultantes de las fases anteriores, juegan un papel importante durante el proceso, son las encargadas de la biometanización, es decir forman metano a partir de los de sustratos monocarbonados mediante enlaces covalentes. (Varnero, 2011, pp.8-25)

### **1.7. Relleno Sanitario de Porlón**

El relleno sanitario se encuentra en las comunidad de San Gerónimo, en coordenadas geográfica 1° 38' 33'' de latitud sur y 78o 38' 49'' de longitud oeste en la provincia de Chimborazo a 6 kilómetros del cantón Riobamba, él área del relleno sanitario está formado por 10 hectáreas de las cuales únicamente están siendo utilizadas 4. (Espín 2018, pp.31-53)

La ubicación del relleno sanitario representa una ventaja para la ciudadanía debido a que se encuentra en una zona lejana de viviendas lo que evita que sea un foco de dispersión de enfermedades, además es una fuente de generación de empleo para los ciudadanos del sector,



Porlón recibe diariamente 200 toneladas de residuos y se espera que se mejoren las condiciones del relleno sanitario para que se logre la implementación de una estación de transferencia. (Espín 2018, pp.31-53)

El relleno sanitario de Riobamba se encuentra en un suelo árido con cubrimiento de pastos cuyo 30% se encuentra erosionado, por tal razón la permeabilidad en esas zonas es media, Porlón tiene influencia directa sobre fuentes hídricas del cantón como son el río Chambo mismo que se junta con el río Guano. (Espín 2018, pp.31-53)

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización del recurso.

Para el desarrollo de esta tesis se utilizó dos componentes, el primero el lixiviado que será tratado, y el segundo un lodo activado que se encargará de la degradación.

##### 2.1.1. *Lixiviado.*

Se utilizó los lixiviados de la planta de tratamiento de los mismos que se encuentra en el Relleno Sanitario, ubicado en el sector de San Jerónimo de Porlón en la parroquia de Cubijíes del cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, a una altura de 2720,15 msnm. (CONSULTORACAV CÍA. LTDA , 2014 pág. 3)

##### 2.1.2. *Lodos activados.*

Los lodos que se utilizaron provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector de la Libertad en la vía a la parroquia Licto, en el cantón de Riobamba, en la Provincia de Chimborazo.

#### 2.2. Obtención de la muestra.

##### 2.2.1. *Población de estudio.*

###### 2.2.1.1. *Lixiviados.*

Lixiviados de la piscina de captación de la planta de tratamiento, que se encuentra en el Relleno Sanitario.

###### 2.2.1.2. *Lodos activados.*

Lodos obtenidos de las eras de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector de la Libertad.

## **2.2.2. *Tamaño de la muestra.***

### **2.2.2.1. *Lixiviado.***

40 litros de lixiviado tomados a lo largo de 12 horas entre las 7 am hasta las 7 pm que coinciden con la de mayor actividad del relleno sanitario.

### **2.2.2.2. *Lodos activados.***

10 L de lodo activado, obtenidos por muestreo simple.

## **2.2.3. *Selección de las muestras.***

### **2.2.3.1. *Lixiviados.***

La selección de la los lixiviados se lo realizo por un muestreo compuesto en el lapso de 12 horas ya especificadas, con el siguiente proceso.

1. Con ayuda del GPS digital, determinar la longitud y latitud del sitio exacto de vertimiento.
2. Recolectar las muestras antes de los puntos de caída a la piscina de lixiviados.
3. Repetir el proceso cuantas veces sea necesario para obtener una muestra compuesta en el periodo de 12 horas.
4. Obtener la muestra mezclando en un balde los volúmenes de cada porción necesarios según la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

**(Ec.1-2)**

**V<sub>i</sub>** = volumen de cada alícuota o porción de muestra,

**V** = volumen total a componer

**Q<sub>i</sub>**= caudal instantáneo de cada muestra

**Qp** = caudal promedio durante el muestreo

5. Mezclar los volúmenes, homogenizar el contenido del balde.
6. Etiquetar el balde con los litros que posee. (Ministerio del Ambiente, 2007)

#### 2.2.3.2. *Lodos activados.*

Con la ayuda de una pala se procedió a tomar una muestra de 5 Kg de los lodos excedentes del reactor Imhoff que se encontraba en los lechos de secado, la muestra se tomó del canal más próximo en el cual había sido depurado el lodo el día anterior a la toma de la muestra.

### 2.3. **Técnicas de recolección de datos.**

En este trabajo se utilizó varias técnicas de recolección de datos como:

- Lectura de información documentada.
- Trabajo de campo.
- Análisis de laboratorio.

Los datos generados por el análisis de laboratorio fueron ordenados mediante tablas, especificando el tiempo de la muestra dentro del reactor, las fechas en que fue tomada. Los análisis de la depuración del lixiviado se llevaron a cabo en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, mientras que las pruebas de tratabilidad con el reactor piloto se los realizo en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH.

Para el diseño del reactor es necesario la medición del caudal de lixiviados, el cual fue medido en el Relleno Sanitario de Porlón, perteneciente a el GAD municipal de Riobamba.

### 2.4. **Variables que intervienen en el diseño de un sistema biológico para la depuración de los lixiviados.**

#### 2.4.1. *Caracterización del lixiviado.*

La caracterización del lixiviado se realizó en el laboratorio de aguas en el cual se midieron los siguientes parámetros.

**Tabla 1-2.-** Valores de caracterización.

<b>Parámetro.</b>	<b>Tipo de método.</b>	<b>Códigos APHA-AWWA</b>
Cloruros	Volumétrico -Argentométrico	4500 Cl-B
Alcalinidad	Volumétrico	2320-B
Nitrógeno amoniacal	Colorimétrico - Nessler	4500 NH4-C
DBO	Oxido Reducción	5210-B
DQO	Oxido Reducción	5220-D
pH	Potenciométrico	4500 h-B
Temperatura	En campo	2550-B

**Fuente:** Standar Methods.

**Realizado por:** Edison Amaguaya 2019.

## **2.5. Diseño de un reactor UASB piloto.**

Para determinar las variables necesarias en el diseño de un reactor para la depuración de los lixiviados del relleno sanitario, se utilizó un reactor piloto de tipo UASB debido a su eficacia en la depuración de los mismos, y se realizaron pruebas de tratabilidad para determinar la eficacia que este sistema tiene en la remoción de materia orgánica.

En el diseño del reactor UASB se utilizó las siguientes ecuaciones tomadas de (Lettinga, y otros, 1980 págs. 699-734), además de los parámetros iniciales de diseño.

### 2.5.1. Valores de diseño.

**Tabla 2-2.-** Parámetros iniciales de diseño.

Parámetro.	Símbolo	Rango	Unidad de medida
Demanda química de Oxígeno.	DQO	Valor de caracterización.	Kg/m <sup>3</sup> d
Tiempo de residencia hidráulico	TRH	0,7-1	día
Diámetro	D	De acuerdo al material a usar	cm
Caudal	Q	7-10	mL/min
Ancho mínimo interno de la campana	H <sub>T</sub>	2	cm
Altura tope del separador GLS sobre la superficie del líquido	L <sub>T</sub>	2	Cm
Angulo de inclinación de la campana.	$\alpha$	60	°
Angulo de inclinación de los deflectores	$\beta$	45	°

Fuente: (Lettinga, y otros, 1980)

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

2.5.2. Ecuaciones de diseño.

Tabla 3-2.- Ecuaciones de diseño.

Nombre	Símbolo	Ecuación
Volumen del reactor	$V_R$	$V_R = TRH \cdot Q$ (Ec.2-2)
Área del reactor	$A_R$	$A_R = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ (Ec.3-2)
Radio del reactor	$R_R$	$R_R = \frac{D}{2}$ (Ec.4-2)
Altura efectiva del reactor	$L$	$L = \frac{4 \cdot V_R}{\pi \cdot D^2}$ (Ec.5-2)
Carga hidráulica	$C_H$	$C_H = \frac{Q}{A_R}$ (Ec.6-2)
Flujo másico	$F$	$F = V_R \cdot DQO$ (Ec.7-2)
Velocidad de Flujo en la campana	$V_f$	$V_f = 4C_H$ (Ec.8-2)
Área de abertura	$A$	$A = \frac{Q}{V_f}$ (Ec.9-2)
Área de sección transversal de la campana	$A_C$	$A_C = A_R - A$ (Ec.10-2)
Radio mayor de la campana	$R_C$	$R_C = \sqrt{\frac{A_C}{\pi}}$ (Ec.11-2)
Ancho de la abertura	$W_A$	$W_A = R_R - R_C$ (Ec.12-2)
Ancho de la campana	$W_G$	$W_G = R_R - W_A - 0,5(H_T)$ (Ec.13-2)
Altura de la campana	$H_g$	$H_g = W_G \cdot tg\alpha$ (Ec.14-2)
Traslapo	$T_V$	$T_V = 1,5(W_A)$ (Ec.15-2)
Ancho de los deflectores	$W_D$	$W_D = T_V + W_A$ (Ec.16-2)
Longitud de los deflectores	$L_D$	$L_D = 2W_D tg\beta$ (Ec.17-2)

Fuente: Lettinga et al., 1980

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

#### 2.5.2.1. *Elaboración de planos.*

Los planos fueron realizados en el programa AutoCAD 2018, en el cual se detalla las dimensiones de cada componente que está compuesto el equipo.

#### 2.5.2.2. *Construcción del equipo.*

El equipo fue construido en el taller del Tecnólogo Hernán Chávez mecánico de precisión ubicado en la avenida Edelverto Bonilla Oleas y Alvarado.

El equipo consta de 8 partes que son:

- Parte efectiva del reactor, que consta de un tubo de acero inoxidable de 9,7 cm de diámetro.
- Deflector.
- Campana para la extracción del gas.
- Paredes de aislamiento térmico.
- Tanques, para el almacenamiento del lixiviado.
- Bomba peristáltica.
- Computador Arduino para el control de la potencia de la bomba y de la temperatura.
- Soporte.

#### 2.5.2.3. *Construcción*

La construcción del sistema Arduino estuvo supervisada por el Ing. Jofre Saqui, consultor independiente especialista en programación Arduino.

El sistema Arduino es una plataforma de conexión electrónica de código abierto, que con el cual se puede monitorear diferentes parámetros por medio de sensores pre diseñados y adaptados para funcionar con este sistema. (Yumbal FM, 2018)



### **2.5.3. Arranque del equipo.**

#### **2.5.3.1. Preparación del lodo.**

El inóculo utilizado en el equipo fue una mezcla de lodo del tanque Imhoff y estiércol de ganado para mejorar la carga bacteriana, según el artículo (Orozco, y otros, 2014 págs. 170- 185), la mezcla óptima para mejorar la carga es de 2 a 1 y secarlo por 24 horas a una temperatura de 40°C, en donde crecen las bacterias mesófilas que serán las que ayuden en la degradación.

#### **2.5.3.2. Introducción del lodo al reactor.**

Con ayuda de un embudo se introdujo el lodo al reactor, que según la bibliografía debe ocupar el 70% del volumen efectivo.

#### **2.5.3.3. Inicio del tratamiento**

Se conecta a la fuente de corriente las dos conexiones al arduino, uno controlara los sensores de temperatura y el otro la potencia de la bomba

### **2.5.4. Pruebas de tratabilidad.**

Las pruebas de tratabilidad se realizaron un día después de que el reactor consiga la temperatura optima de tratamiento que es entre 30-45°C.

Se realizan 2 tipos de pruebas de tratabilidad, una que es el tratamiento sin recirculación que se lo realiza con toma de muestra a las 24 horas de inicio del tratamiento, las otras se las realiza con recirculación con toma de muestra a las 48, 72, 96, 120, 144, 168, horas de inicio del tratamiento.

### **2.5.5. Monitoreo del reactor.**

#### **2.5.5.1. Monitoreo de la temperatura.**

La temperatura se toma de manera directa de la pantalla del computador arduino, se lo toma una vez al día, desde que se prende el reactor, incluso en la temperatura eficaz.

#### **2.5.5.2. Monitoreo del PH.**

El pH se lo mide una vez a la semana en 2 puntos, la mitad del lodo y en la parte superior del reactor donde se encuentra el lixiviado.

#### **2.5.5.3. Monitoreo de la degradación de la materia orgánica.**

Los parámetros que se utilizaron para comprobar la degradación son: la DBO, DQO y Nitrógeno amoniacal con los análisis que constan en la Tabla 1-2, en el lapso de los 7 días que duran las pruebas de tratabilidad, comparando porcentualmente con la muestra inicial.

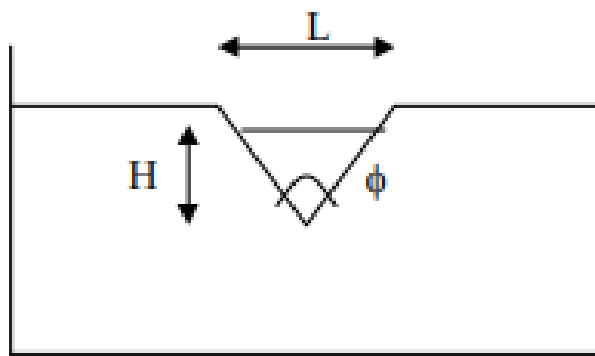
### **2.6. Recolección de datos para el diseño del reactor para el tratamiento de lixiviados de Porlón.**

#### **2.6.1. Cálculo del caudal.**

Para el cálculo del caudal se utiliza el mismo método que en el GAD municipal de Riobamba, el método del vertedero.

##### **2.6.1.1. Método del vertedero.**

1. Con un metro se mide el nivel del agua como indica la Figura 1-2



**Figura 1-2.-** Ilustración de un vertedero triangular.

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

Donde:

L= Longitud de abertura.

H= Altura del fluido.

$\theta$ = Angulo del vertedero.

2. Se procede a aplicar la siguiente formula.

$$Q = 1,4xH^{\frac{5}{2}}$$

(Ec.1-2)

Donde Q se mide en m<sup>3</sup>/s

3. Para mayor facilidad de manipulación de número de datos, se ingresa la ecuación a una tabla de Excel. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, 2010)

La medición del caudal se lo realizó entre el 9 de febrero del 2019, hasta el 29 de marzo del 2019, monitoreo que coincidió con la época de lluvia y aumento periódico del caudal de lixiviado.

### 2.6.2. *Parámetros de diseño.*

Los parámetros de diseño que se utilizaron, fueron extraídos mediante las pruebas de tratabilidad, donde se determinaron el tiempo de recirculación, y el tiempo de residencia hidráulico apropiado

## **2.7. Diseño del reactor para el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Porlón.**

Se utilizaron las ecuaciones de la Tabla 3-2, y se especificarán las medidas en los planos realizados en AutoCAD 2018.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Muestreo de lixiviado.

Para el muestreo del lixiviado se utilizó la técnica de muestro compuesto, por lo que se procedió a hacer el cálculo del caudal, de las alícuotas y del respectivo muestreo.

##### 3.1.1. *Cálculo del caudal para el muestreo del lixiviado.*

Debido a que es un vertedero triangular se procedió a aplicar la fórmula para el cálculo del Caudal inicial ( $Q_i$ ).

$$Q_i = 1,4xH^{\frac{5}{2}}$$

Con un  $H= 0,03m$

$$Q_i = 1,4x0,03m^{\frac{5}{2}}$$
$$Q_i = 2,1823x10^{-4} m^3/s$$

Como necesitamos el caudal en  $m^3/L$  hacemos la conversión.

$$Q_i = 2,1823x10^{-4} m^3/s \times \frac{1000L}{m^3} \times \frac{3600s}{1h}$$
$$Q_i = 785,83 L/h$$

Para el caudal promedio ( $Q_p$ ) se utilizó el caudal promedio del día anterior debido a que el dato inicial era igual al de este día y las condiciones meteorológicas iguales.

$$Q_p = 23,29 m^3/dia$$

Como necesitamos el caudal en  $m^3/L$  hacemos la conversión.

$$Q_p = 23,29 m^3/dia \times \frac{1000L}{m^3} \times \frac{dia}{24h}$$

$$Qp = 970,41 \text{ L/h}$$

### 3.1.2. *Cálculo de la alícuota.*

Para el cálculo de la alícuota se utilizó la fórmula establecida en la Ecuación 1-2 para el muestreo compuesto, que es la siguiente.

$$Vi = \frac{V \times Qi}{n \times Qp}$$

**Vi** = volumen de cada alícuota o porción de muestra,

**V** = volumen total a componer

**Qi** = caudal instantáneo de cada muestra

**Qp** = caudal promedio durante el muestreo

**n** = número de muestras tomadas

$$Vi = \frac{40L \times 785,83 \text{ L/h}}{12 \times 970,41 \text{ L/h}} = 2,7L$$

Por lo tanto, se tomarán 12 alícuotas de 2,7L.

Las fotos del muestreo se las puede observar en el Anexo B.

## 3.2. **Diseño y construcción del reactor piloto UASB para las pruebas de tratabilidad.**

### 3.2.1. *Cálculo de los datos iniciales.*

Para el diseño del reactor se empezó calculando los parámetros iniciales establecidos en la Tabla 2-2 que nos servirán para la aplicación de las ecuaciones de la Tabla 3-2.

Se calculó el DQO mediante análisis de Laboratorio que da un valor de 18 200 mg/L, para este caso se necesita el valor en Kg/m<sup>3</sup> día, haciendo la conversión arroja un valor de 18,2 Kg/m<sup>3</sup> día.

**Tabla 1-3.-** Parámetros iniciales tomados para el diseño del reactor piloto.

Parámetro.	Símbolo	Rango	Valor para diseño	Unidad de medida.
<b>Demanda química de Oxígeno.</b>	DQO	Valor de caracterización.	18,2	Kg/m <sup>3</sup> d
<b>Tiempo de residencia hidráulico</b>	TRH	0,7-1	1	día
<b>Diámetro</b>	D	De acuerdo al material a usar	9,7	cm
<b>Caudal</b>	Q	7-10	7 10 080	mL/min mL/día
<b>Ancho mínimo interno de la campana</b>	H <sub>T</sub>	2	2	cm
<b>Altura tope del separador GLS sobre la superficie del líquido</b>	L <sub>T</sub>	2	2	cm
<b>Angulo de inclinación de la campana.</b>	A	60	60	°
<b>Angulo de inclinación los deflectores</b>	B	45	45	°

Fuente: (Lettinga et al. 1980)

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

### 3.2.2. *Aplicación de las ecuaciones de diseño.*

#### 3.2.2.1. *Volumen del reactor.*

Usamos la Ecuación 2-2

$$V_R = TRH \cdot Q$$

$$V_R = 1 \text{ día} \times 10\,080 \text{ mL/día}$$

$$V_R = 10\,080 \text{ mL}$$

#### 3.2.2.2. *Área del reactor.*

Usamos la Ecuación 3-2

$$A_R = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$A_R = \frac{\pi \cdot (9,7\text{cm})^2}{4}$$
$$A_R = 74\text{ cm}^2$$

3.2.2.3. *Altura efectiva del reactor.*

Usamos la Ecuación 5-2

$$L = \frac{4 \cdot V_R}{\pi \cdot D^2}$$
$$L = \frac{4(10\ 080\text{ cm}^2)}{\pi(9,7\text{cm})^2}$$
$$L = 136,4\text{ cm}$$

3.2.2.4. *Carga Hidráulica.*

Usamos la Ecuación 7-2

$$C_H = \frac{Q}{A_R}$$
$$C_H = \frac{7\text{ cm}^3/\text{min}}{74\text{cm}^2}$$
$$C_H = 0,09\text{ cm}/\text{min}$$
$$C_H = 0,054\text{ m}/\text{h}$$

3.2.2.5. *Flujo másico.*

Usamos la Ecuación 7-2

$$F = V_R \cdot DQO$$
$$F = 10\ 080\text{ cm}^2 \cdot \frac{1}{(100\text{cm})^3} 18,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3\text{ día}}$$



$$F = 0,18 \frac{Kg}{día}$$

3.2.2.6. *Velocidad de flujo en la campana.*

Usamos la Ecuación 8-2

$$V_f = 4C_H$$
$$V_f = 4(0,09 \frac{cm}{min})$$
$$V_f = 0,378 \frac{cm}{min}$$

3.2.2.7. *Área de abertura.*

Usamos la Ecuación 9-2

$$A = \frac{7 \text{ cm}^3 / \text{min}}{0,378 \text{ cm} / \text{min}}$$

$$A = 18,52 \text{ cm}^2$$

3.2.2.8. *Área de sección transversal de la campana.*

Usamos la Ecuación 10-2

$$A_C = A_R - A$$
$$A_C = 74 \text{ cm}^2 - 18,52 \text{ cm}^2$$
$$A_C = 55,48 \text{ cm}^2$$

3.2.2.9. *Radio mayor de la campana.*

Usamos la Ecuación 11-2

$$R_C = \sqrt{\frac{A_C}{\pi}}$$
$$R_C = \sqrt{\frac{55,48 \text{ cm}^2}{\pi}}$$
$$R_C = 4,2 \text{ cm}$$

3.2.2.10. *Ancho de la abertura.*

Usamos la Ecuación 12-2

$$\begin{aligned}W_A &= R_R - R_C \\W_A &= 4,85\text{cm} - 4,2\text{cm} \\W_A &= 0,65\text{cm}\end{aligned}$$

3.2.2.11. *Ancho de la abertura de la campana*

Usamos la Ecuación 13-2

$$\begin{aligned}W_G &= R_R - W_A - 0,5(H_T) \\W_G &= 4,85\text{cm} - 0,65\text{cm} - 0,5(2\text{cm}) \\W_G &= 3,2\text{cm}\end{aligned}$$

3.2.2.12. *Altura de la campana.*

Usamos la Ecuación 14-2

$$\begin{aligned}H_g &= W_G \cdot \text{tg}\alpha \\H_g &= 3,2 \text{ cm} \cdot \text{tg}60^\circ \\H_g &= 5,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

3.2.2.13. *Traslapo.*

Usamos la Ecuación 15-2

$$\begin{aligned}T_V &= 1,5(W_A) \\T_V &= 1,5(0,65\text{cm}) \\T_V &= 0,975\text{cm}\end{aligned}$$

3.2.2.14. *Ancho de los deflectores.*

Usamos la Ecuación 16-2

$$\begin{aligned}W_D &= T_V + W_A \\W_D &= 0,975 + 0,65 \\W_D &= 1,65\text{cm}\end{aligned}$$

3.2.2.15. *Longitud de los deflectores.*

Usamos la Ecuación 17-2

$$L_D = 2W_D \operatorname{tg}\beta$$

$$L_D = 2(1,63\text{cm})\operatorname{tg}45^\circ$$

$$L_D = 3,3\text{cm}$$

3.2.3. *Dibujo de los planos del reactor UASB piloto.*

Los dibujos se los realizo en AutoCAD mediante las dimensiones anteriormente calculadas que se pueden observar en la Tabla 2-3 y los planos se pueden observar en el Anexo D.

**Tabla 2-3.** Valores de las ecuaciones de diseño aplicadas.

Nombre	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen del reactor	$V_R$	10080	mL
Área del reactor	$A_R$	74	cm <sup>2</sup>
Altura efectiva del reactor	L	136,4	Cm
Carga hidráulica	$C_H$	0,054	m/h
Flujo másico	F	0,18	Kg/día
Velocidad de Flujo en la campana	$V_f$	0,378	cm/min
Área de abertura	A	18,52	cm <sup>2</sup>
Área de sección transversal de la campana	$A_C$	55,48	cm <sup>2</sup>
Ancho de la abertura	$W_A$	0,65	Cm
Ancho de la campana	$W_G$	3,2	Cm
Altura de la campana	$H_g$	5,5	Cm
Traslapo	$T_V$	0,975	Cm
Ancho de los deflectores	$W_D$	1,65	Cm

<b>Longitud de los deflectores</b>	$L_D$	3,3	Cm
------------------------------------	-------	-----	----

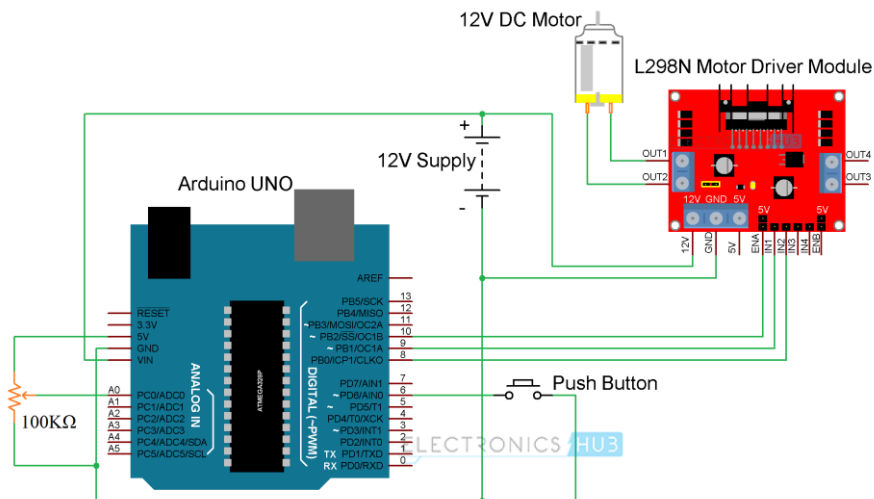
Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

### 3.2.4. Construcción del reactor UASB piloto.

La construcción del reactor se lo realizo en base a los planos dibujados y se observa en el Anexo D y su proceso se lo puede observar en el Anexo E.

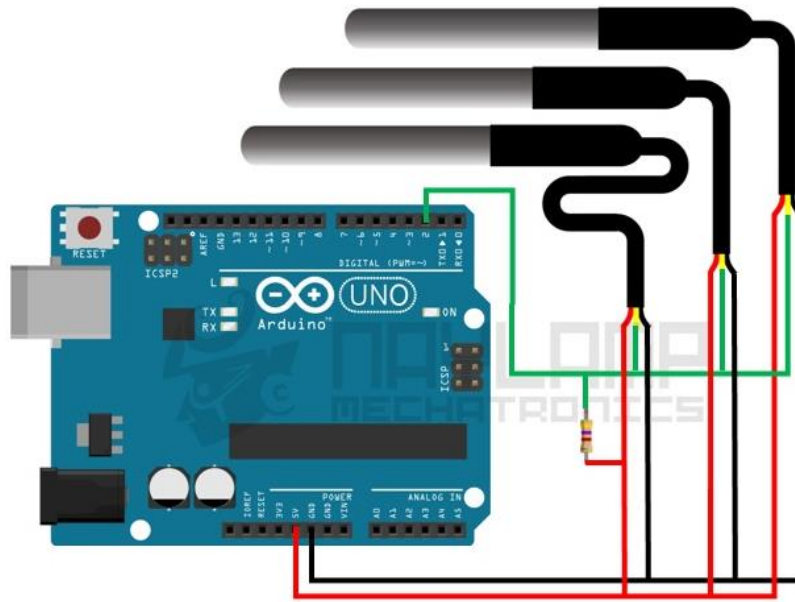
### 3.2.5. Construcción del sistema Arduino

Previo a la construcción del sistema arduino se realizó la gráfica del circuito mediante el programa propio del sistema como se observa en la Figura 1-3, Figura 2-3, Figura 3-3. El resultado final lo podemos observar en el Anexo F.



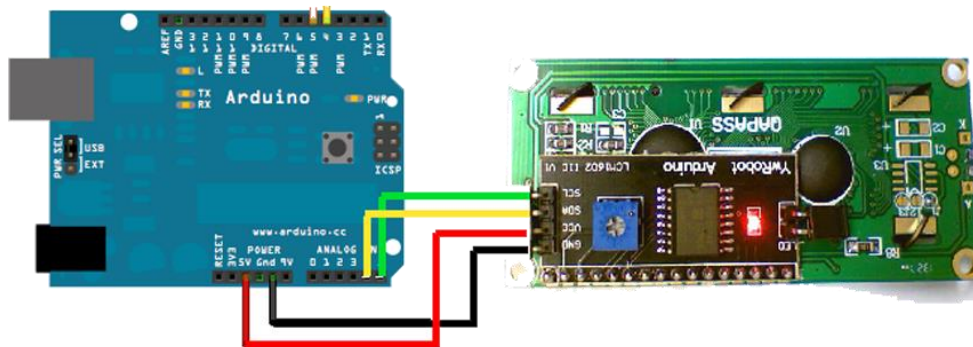
**Figura 1-3.-** Diseño de conexión Arduino al chip alimentador de la bomba.

Realizado por: Edison Amaguaya, Jofre Saqui, 2019



**Figura 2-3.** Diseño de conexión Arduino a los sensores de temperatura.

Realizado por: Edison Amaguaya, Jofre Saqui, 2019



**Figura 3-3.** Diseño de conexión Arduino a la pantalla de lectura.

Realizado por: Edison Amaguaya, Jofre Saqui, 2019.

### 3.3. Pruebas de Tratabilidad.

#### 3.3.1. Caracterización del lixiviado.

Para el inicio de las pruebas de tratabilidad se hizo la caracterización del lixiviado en los parámetros establecidos en la tabla 1-2, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 3-3.-** Resultados de la caracterización inicial del lixiviado.

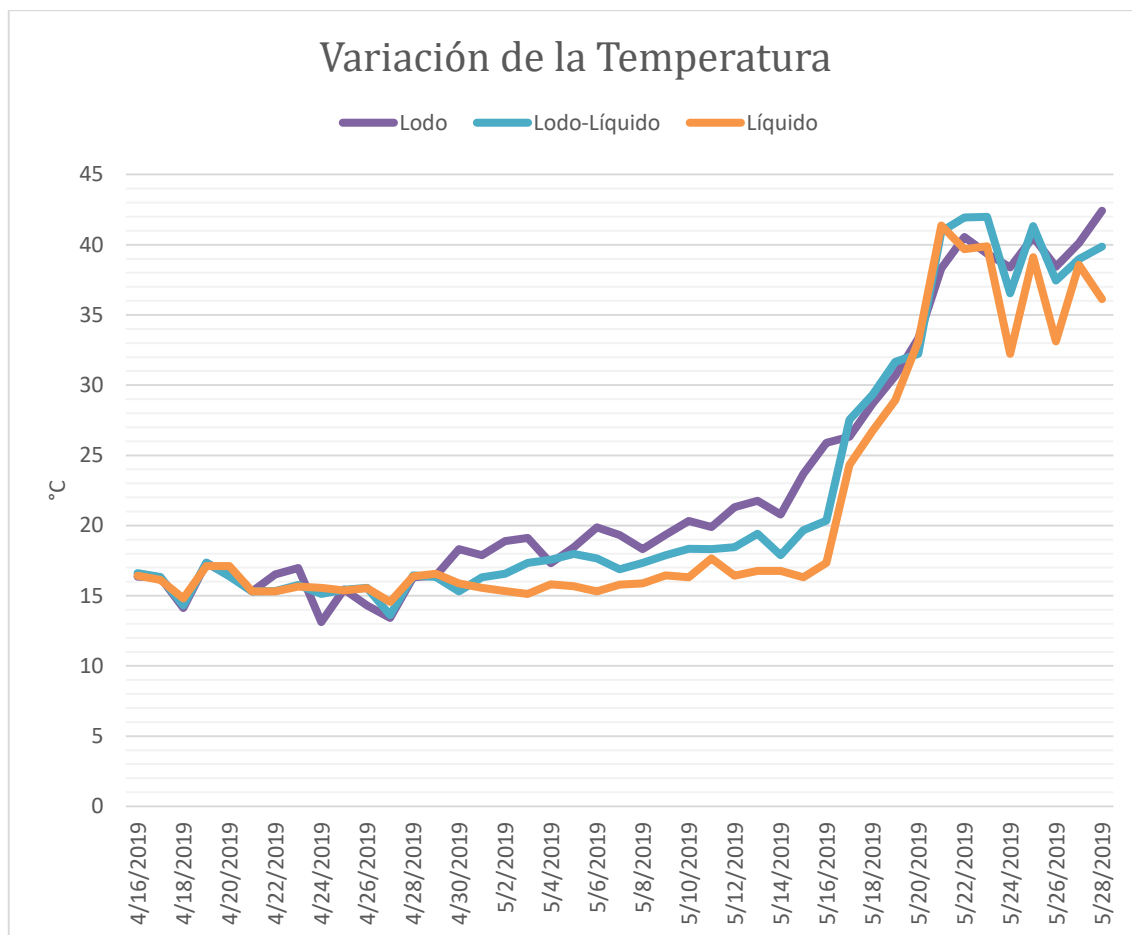
<b>Parámetro.</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Cloruros	11438,53	mg/L
Alcalinidad	20 666,67	mg/L
Nitrógeno amoniacal	2050	mg/L
DBO		
DQO	24 800	mg/L
pH	8,3	
Temperatura	14,5	°C

**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

En la Tabla 3-3 se puede observar que el valor del DQO cambia del valor inicial caracterizado para el diseño del reactor que era de 18 200 mg/L a 24 800 mg/L, debido a que por ser un agua residual proveniente de la descomposición de los residuos poseen varios componentes que la hacen variar a lo largo del tiempo, además de las condiciones meteorológicas que interfieren para que este sea un valor fluctuante (Caicedo Messa, 2006). Aun así, se procedió a hacer las pruebas de tratabilidad con el lixiviado que tiene una DQO de 24 800 mg/L.

### **3.3.2. Arranque del reactor.**

El reactor empezó a funcionar el martes 16 de abril del 2019 a las 6 pm con una temperatura de lodo de 16,37°C, y alcanzo su temperatura óptima de 35 °C el 21 de mayo del 2019 llegando incluso a temperaturas de 45 °C, podemos ver la variación de la temperatura en el Grafico 1-3.



**Grafico 1-3.-** Variación de la temperatura del reactor UASB desde su arranque.

**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019.

Una vez el reactor se encontró en su temperatura óptima se procedió con las pruebas de tratabilidad, que consistió en determinar el tiempo óptimo de recirculación, según Orozco en su publicación (Arranque de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones andino amazonicas, 2014), menciona brevemente el tiempo de recirculación apropiado para una degradación óptima principalmente de DQO, encontrando que en 4 días llega a reducir un 70 % del DQO presente en el lixiviado.

Según este dato las pruebas de tratabilidad dado en este reactor fueron de 7 días a partir del arranque del mismo, obteniendo la primera muestra el 22 de mayo a las 6 pm y tomando muestras cada 24 horas por 7 días.

### 3.3.3. *Resultados de las pruebas de tratabilidad por día.*

Cada muestra fue sometido a los mismos análisis realizados en la caracterización del lixiviado obteniendo los siguientes resultados según el día.

**Tabla 4-3.-** Resultados de los análisis según el día de tratamiento.

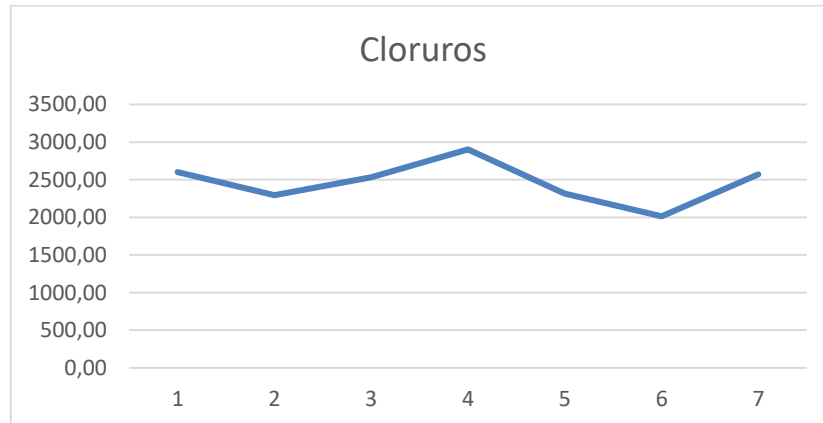
Parámetro.	Valor.						
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
Cloruros (mg/L)	2599,67	2297,16	2297,16	2902,17	2316,07	2013,56	2571,31
Alcalinidad (mg/L)	5546,67	4733,33	4733,33	4300	4100	4266,67	4200
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	1429,17	461,67	461,67	335	295	283,33	280
DBO (mg/L)	4473,33	3766,67	3766,67	2873,33	2773,33	1866,67	2580
DQO (mg/L)	10 280	9433,33	9433,33	7893,33	6100	5913,33	6173,33
pH	8,4	8,45	8,45	8,4	8,3	8,4	8,77

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



### 3.3.4. *Resultados de las pruebas de tratabilidad por parámetro.*

#### 3.3.4.1. *Cloruros.*

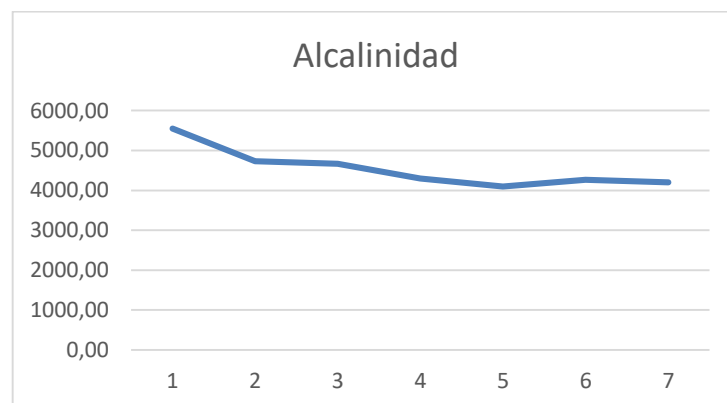


**Gráfico 2-3.** Concentración de los cloruros en el tiempo de tratamiento.

**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

Los cloruros son un parámetro de control que dependiendo de su crecimiento inhiben el crecimiento y el trabajo bacteriano, por lo cómo se muestra en el Grafico 2-3 este no varía de una manera significativa por lo que se puede decir que este no afecta dentro del tratamiento en los días de tratabilidad.

#### 3.3.4.2. *Alcalinidad.*



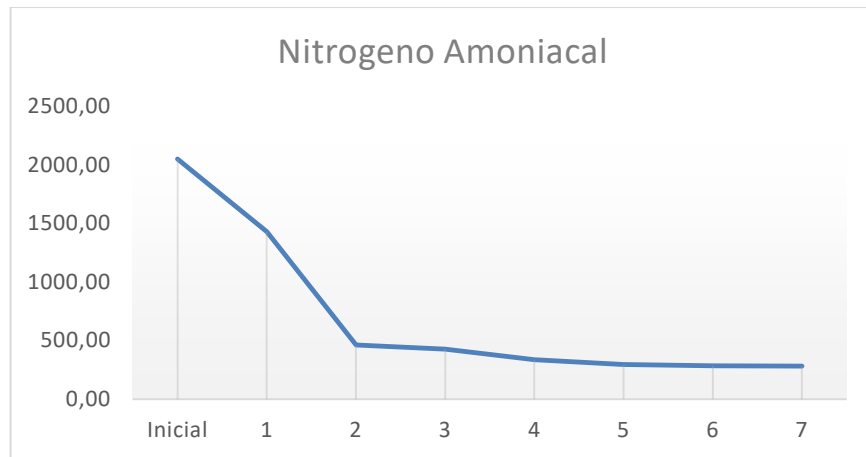
**Gráfico 3-3.-** Alcalinidad en el tiempo de tratamiento.

**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

La alcalinidad medida en el proceso de tratamiento de los lixiviados se mantuvo en una línea sin una mayor variación como se puede observar en el Grafico 3-3, ya que si este disminuye de manera considerable la presencia de ácidos grasos volátiles aumentarían produciendo una

disminución considerable en la actividad bacteriana debido a que la mayoría son neutrófilos que trabajan entre 5,5 a 8,5.

### 3.3.4.3. *Nitrógeno Amoniacal.*

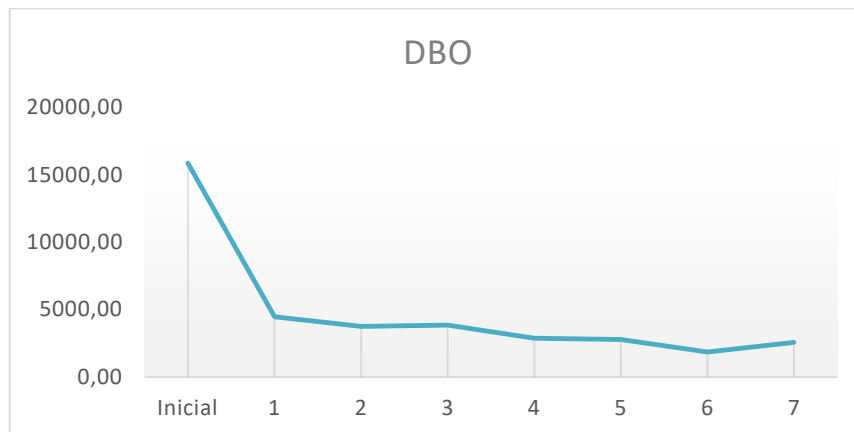


**Grafico 4-3.** Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal en el tiempo de tratamiento.

**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

El nitrógeno amoniacal a partir del inicio del proceso de tratamiento tuvo una reducción significativa debido a la actividad bacteriana, por lo que la reducción de este parámetro de degradación indica que el proceso metabólico bacteriano está convirtiendo la materia orgánica en compuestos inorgánicos.

#### 3.3.4.4. DBO.

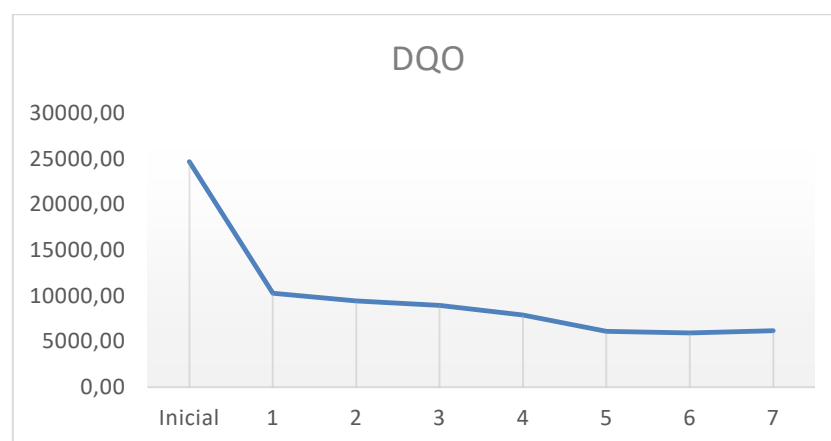


**Grafico 5-3.-** Variación de la concentración de DBO en el tiempo de tratamiento.

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

En el Grafico 5 -3 podemos observar que el DBO del lixiviado a lo largo del tratamiento se reduce en gran porcentaje por lo que se reduce en gran cantidad la materia orgánica presente que puede ser consumido por las bacterias anaeróbicas.

#### 3.3.4.5. DQO.

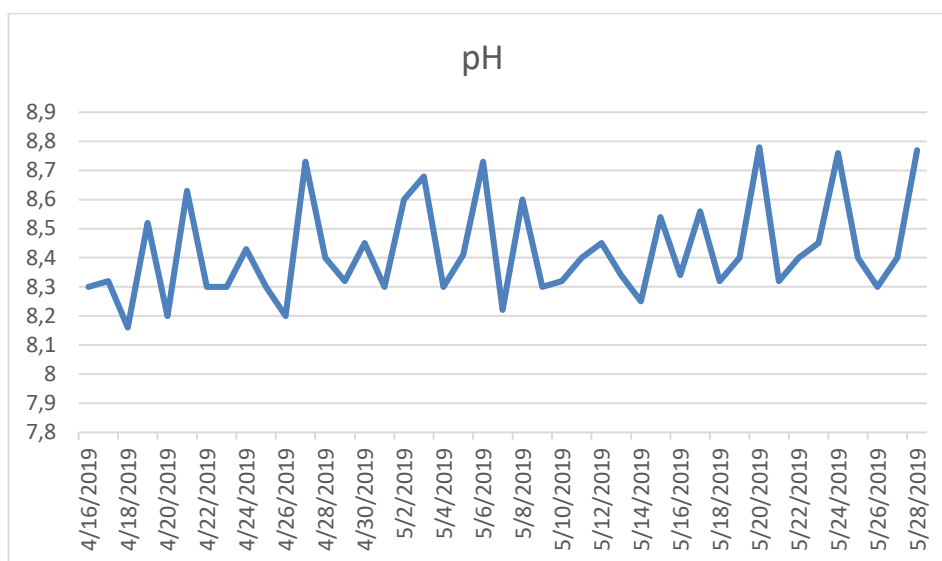


**Grafico 6-3.-** Variación de la DQO en el tiempo de tratamiento.

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

El Grafico 6-3 muestra una reducción de DQO de gran porcentaje a lo largo del proceso de tratamiento.

### 3.3.4.6. pH.



**Grafico 7-3.-** Variación del pH en el tiempo de tratamiento.

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

El pH es uno de los parámetros de control que nos permite controlar el crecimiento bacteriano debido a que este se debe mantener entre 5,5 y 8,5 ya que las bacterias que este trabajan son neutrófilos, como podemos observar en el grafico 7 – 3 este se mantiene en el rango apropiado para que el proceso se mantenga con normalidad.

### 3.3.4.7. Porcentaje de degradación durante las pruebas de tratabilidad.

**Tabla 5-3.** Porcentaje de degradación.

Día	DBO	DQO	NH4
1	71,78	58,32	30,28
2	76,24	61,76	77,48
3	75,74	63,73	79,15
4	81,88	68,00	83,66
5	82,51	75,27	85,61
6	88,23	76,03	86,18
7	83,73	74,97	86,30

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019.

Según se observa en la Tabla 5-3 se puede observar el porcentaje de degradación de los parámetros establecidos, en el cual se tiene que en el quinto día los valores de degradación no

tienen un cambio significativo con respecto a los otros dos días que faltan, es decir la actividad microbiana se mantiene en latencia y si no se introduce un nuevo líquido con una carga orgánica alta, esta empezara a descender.

### 3.4. Cálculo del caudal.

Utilizando los datos presentes en el ítem 2.5.1.- Calculo del caudal, se procedió a obtener los datos que se presentan en la tabla 6-3 obteniendo los datos para el diseño del sistema biológico para el tratamiento de los lixiviados de la celda emergente de Porlón.

Así mismo los datos del monitoreo del caudal se los puede observar en el Anexo M.

**Tabla 6-3.-** Caudal máximo, mínimo y promedio.

<b>Caudal máximo (m<sup>3</sup>/día)</b>	56,75
<b>Caudal mínimo (m<sup>3</sup>/día)</b>	12,87
<b>Caudal Promedio (m<sup>3</sup>/día)</b>	19,87

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019.

### 3.5. Diseño del sistema biológico para la depuración de los lixiviados de Porlón.

**Tabla 7-3.-** Parámetros de diseño.

<b>Parámetro.</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor para diseño</b>	<b>Unidad de medida.</b>
Demanda química de Oxígeno.	DQO	18,2	Kg/m <sup>3</sup> d
Tiempo de residencia hidráulico	TRH	0,7	día
Caudal medido	Q <sub>m</sub>	56,75	m <sup>3</sup> /día
Caudal bomba*	Q	25,2	m <sup>3</sup> /día
Angulo de inclinación de la campana.	A	60	°
Angulo de inclinación los deflectores	B	45	°

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019.

\* La bomba a utilizar para el diseño es una bomba periférica de agua de ½ hp con un caudal regulable que va desde los 5 L/min hasta los 35L/min con una potencia de 370 W de 110 V, de marca LEO modelo APm37

### 3.5.1. *Diseño del tanque de recepción de lixiviados.*

Se realizó el diseño de 2 tanque de recepción con una capacidad del doble del caudal máximo, para que se almacene durante 4 días que demora la recirculación y con un 10 % de sobredimensionamiento para evitar posibles derrames.

$$V = 56,75 \text{ m}^3$$

#### 3.5.1.1. *Volumen del tanque.*

$$V_t = 2V + (0,1 \times (2V))$$

(Ec. 19-2)

$$V_t = 124,85 \text{ m}^3$$

#### 3.5.1.2. *Dimensiones del tanque rectangular.*

$$V = A \cdot h$$

(Ec. 20-2)

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

$$A = \frac{124,85 \text{ m}^3}{3\text{m}} = 41,62 \text{ m}^2$$

$$A = b \cdot L$$

$$L = 2b$$

$$A = b \cdot 2b$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$b = \sqrt{\frac{41,62 \text{ m}^2}{2}} = 4,6\text{m}$$

$$L = 2(4,6) = 9,2\text{m}$$

El tanque se construirá enterrado en el suelo y con un grosor de muro de 20 cm.

El plano del tanque se puede observar en el Anexo I.

3.5.2. *Diseño del tanque de alimentación y del tanque de salida.*

$$V = 25,2 \text{ m}^3$$

3.5.2.1. *Volumen del tanque.*

Usamos la Ecuación 19-2

$$Vt = 2V + (0,1x(2V))$$

$$Vt = 27,72 \text{ m}^3$$

3.5.2.2. *Dimensiones del tanque rectangular.*

Usamos la Ecuación 20-2

$$V = A \cdot h$$

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

$$A = \frac{27,72 \text{ m}^3}{3\text{m}} = 9,24 \text{ m}^2$$

$$A = b \cdot L$$

$$L = 2b$$

$$A = b \cdot 2b$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$b = \sqrt{\frac{9,24 \text{ m}^2}{2}} = 2,15\text{m}$$

$$L = 2(2,15) = 4,3\text{m}$$

El tanque se construirá enterrado en el suelo y con un grosor de muro de 20 cm.

El plano del tanque se puede observar en el Anexo J.

### 3.5.3. *Diseño del reactor UASB.*

Para que el sistema se pueda abastecer se diseñara 4 reactores cada uno abarcara la mitad del caudal máximo medido.

#### 3.5.3.1. *Volumen del reactor.*

Usamos la Ecuación 2-2

$$V_R = TRH \cdot Q$$

$$V_R = 0,7 \text{ dia} \times 25,2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_R = 17,64 \text{ m}^3$$

#### 3.5.3.2. *Área del reactor.*

Usamos la Ecuación 3-2

$$A_R = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_R = \frac{\pi \cdot (1,3\text{m})^2}{4}$$

$$A_R = 1,33 \text{ m}^2$$

#### 3.5.3.3. *Altura efectiva del reactor.*

Usamos la Ecuación 5-2

$$L = \frac{4 \cdot V_R}{\pi \cdot D^2}$$

$$L = 10D$$

$$10D \times D^2 = \frac{4 \cdot V_R}{\pi}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_R}{10\pi}}$$



$$D = \sqrt[3]{\frac{4(17,64 \text{ m}^3)}{10\pi}}$$

$$D = 1,3\text{m}$$

$$L = 10D$$

$$L = 13\text{m}$$

#### 3.5.3.4. Carga Hidráulica.

Usamos la Ecuación 6-2

$$C_H = \frac{Q}{A_R}$$

$$C_H = \frac{25,2 \text{ m}^3/\text{día}}{1,33 \text{ m}^2}$$

$$C_H = 18,95 \text{ m}/\text{día}$$

#### 3.5.3.5. Flujo másico.

Usamos la Ecuación 7-2

$$F = V_R \cdot DQO$$

$$F = 17,64 \text{ m}^3 \times 18,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

$$F = 321,05 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

#### 3.5.3.6. Velocidad de flujo en la campana.

Usamos la Ecuación 8-2

$$V_f = 4C_H$$

$$V_f = 4(18,95 \text{ m}/\text{día})$$

$$V_f = 75,8 \text{ m}/\text{día}$$

3.5.3.7. *Área de abertura.*

Usamos la Ecuación 9-2

$$A = \frac{Q}{V_f}$$
$$A = \frac{25,2 \text{ m}^3/\text{día}}{75,8 \text{ m}/\text{día}}$$
$$A = 0,33 \text{ m}^2$$

3.5.3.8. *Área de sección transversal de la campana.*

Usamos la Ecuación 10-2

$$A_C = A_R - A$$
$$A_C = 1,33 \text{ m}^2 - 0,33 \text{ m}^2$$
$$A_C = 1 \text{ m}^2$$

3.5.3.9. *Radio mayor de la campana.*

Usamos la Ecuación 11-2

$$R_C = \sqrt{\frac{A_C}{\pi}}$$
$$R_C = \sqrt{\frac{1 \text{ m}^2}{\pi}}$$
$$R_C = 0,56 \text{ m}$$

3.5.3.10. *Ancho de la abertura.*

Usamos la Ecuación 12-2

$$W_A = R_R - R_C$$
$$W_A = 0,65 \text{ m} - 0,56 \text{ m}$$
$$W_A = 0,09 \text{ m}$$

3.5.3.11. *Ancho de la abertura de la campana*

Usamos la Ecuación 13-2

$$W_G = R_R - W_A - 0,5(H_T)$$

$$W_G = 0,65 \text{ m} - 0,09 \text{ m} - 0,5(0,25 \text{ m})$$

$$W_G = 0,44 \text{ m}$$

3.5.3.12. *Altura de la campana.*

Usamos la Ecuación 14-2

$$H_g = W_G \cdot \text{tg}\alpha$$

$$H_g = 0,44 \text{ m} \cdot \text{tg}60^\circ$$

$$H_g = 0,76 \text{ m}$$

3.5.3.13. *Traslapo.*

Usamos la Ecuación 15-2

$$T_V = 1,5(W_A)$$

$$T_V = 1,5(0,09 \text{ m})$$

$$T_V = 0,14 \text{ m}$$

3.5.3.14. *Ancho de los deflectores.*

Usamos la Ecuación 16-2

$$W_D = T_V + W_A$$

$$W_D = 0,14 \text{ m} + 0,09 \text{ m}$$

$$W_D = 0,23 \text{ m}$$

3.5.3.15. *Longitud de los deflectores.*

Usamos la Ecuación 17-2

$$L_D = 2W_D \text{tg}\beta$$

$$L_D = 2(0,23 \text{ m}) \text{tg}45^\circ$$

$$L_D = 0,46 \text{ m}$$

El plano del reactor se puede observar en el Anexo K

El plano del sistema completo se lo puede observar en el Anexo L

## CONCLUSIONES

- Los lixiviados de la celda emergente de Pórlon poseen una DBO de 15 853 mg/L, una DQO de 24 800 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 2 050 mg/L, estos fueron tomados como los parámetros iniciales de degradación, mientras que los parámetros de control tuvieron datos de Cloruros de 11 438 mg/L, Alcalinidad de 20 666 mg/L y pH de 8,3.
- Las pruebas de tratabilidad en este proyecto dieron resultados satisfactorios, debido a que en datos bibliográficos se investigó que los reactores UASB degradar la DBO<sub>5</sub> en un 92 %, en el caso de este proyecto se redujo un 82 %, en cuanto a la DQO se esperó una reducción del 82%, obteniendo un 75%. Otro factor que sirvió para la medida de degradación fue el nitrógeno amoniacal con una reducción del 85, 61 %, mientras que los parámetros de control no presentan una variación significativa.
- Los resultados obtenidos ayudaron a determinar el tiempo óptimo de recirculación, que para este caso fue de 5 días, así como el tiempo de resiliencia hidráulica que fue de 0,7 debido a la alta carga orgánica presente en el lixiviado. Además, se determinó mediante la primera caracterización la carga mínima que fue de 18 200 mg/L y la carga máxima mediante la segunda caracterización que fue de 24 800 mg/L, mismos que se ven afectados por las condiciones climáticas. El monitoreo del caudal arrojó un valor máximo de 56,75 m<sup>3</sup>/día, un valor mínimo de 12,87 m<sup>3</sup>/día y un promedio de 19,87 m<sup>3</sup>/día.
- Se diseñó un sistema de 4 reactores UASB con una capacidad de 17, 64 m<sup>3</sup> que serán alimentados por un tanque de 25,2 m<sup>3</sup> y que poseerá un tanque de salida de la misma capacidad, este equipo funcionará por cinco días con recirculación para lo cual poseerá 2 tanques de almacenamiento con una capacidad de 124,85 m<sup>3</sup> que alimentará a todo el sistema y evitará que se generen fugas debido a que tiene un sobredimensionamiento del 10 %. La temperatura del lixiviado en el campo es de 24 °C por lo que no es necesario un sistema de calefacción debido al aislamiento que presenta el suelo

## RECOMENDACIONES

- Debido al tiempo que se tomó para hacer este proyecto no se tuvo más caudales a lo largo del año, por lo que en un futuro si se quisiera replicar sería necesario hacer una medición por lo mínimo cada 3 meses asegurando así un correcto conocimiento del caudal presente, así también se debería hacer una caracterización dependiendo de la época del año para conocer la variación real de estos parámetros y los verdaderos factores que influyen en dicha variación.
- Debido al clima de Riobamba se tomó mucho tiempo en que la temperatura llegue a la óptima en la que las bacterias trabajan eficazmente, debido a que en las noches el lixiviado era enfriado y enfriaba el lodo dentro del reactor, por lo que se recomienda la instalación de un sistema de calefacción o aislamiento tanto en el reactor piloto como en el sistema a trabajar.
- Se recomienda que el GAD municipal de Riobamba adopte el sistema de degradación anaeróbica como una parte del proceso de tratamiento y que sea complementado con otros procesos que logren los parámetros que estén dentro de la normativa y puedan ser descargados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ARRATIA, O.** *Proceso anaeróbico aplicado al tratamiento de lixiviados*. 2012. Disponible en : <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/arratia.pdf>

**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE BOLIVIA.** *Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios*. Bolivia : s.n., 2010.

**CAICEDO MESSA, Francisco Javier.** Diseño, construcción y arranque de un reactor u.a.s.b. piloto para el tratamiento de lixiviados . *Manizales* : Universidad Nacional de Colombia , 2006.

**CARE INTERNACIONAL-AVINA.** "*Gestión Integral de Residuos Sólidos*" 2012. ( GIRS ).

**CONRCHEM ENVITECH.** "*Tratamiento de lixiviados*". 2014. [en línea], Disponible en:

<https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lixiviados-de-vertedero/#composicion>.

**CONSULTORACAV CÍA. LTDA .** "*Estudio de diseño definitivo de cierre técnico de botaderos celda emergente para el paquete 5 conformado por los gobiernos autónomos descentralizados municipales de la Maná y Latacunga, Provincia de Cotopaxi; Baños, provincia de Tungurahua; Riobamba y ch.* 2014.

**CORENA, M.** *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. Sincelejo : niversidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, 2008.

**ASOCIACIÓN DE MUNICIPALIDADES DEL ECUADOR - AME.** Asociación de municipalidades del Ecuador. 2017 [En línea] 2 de febrero de 2017. <http://ame.gob.ec/ec/2017/02/02/en-riobamba-se-recogen-150-toneladas-diarias-de-desechos/>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015.** Registro oficial especial., Ecuador, pp. 1–184

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Ecuador, 2007.

**ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *Solid waste* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions#solidwaste>.

**ESPÍN, E.** *Proyecto de factibilidad para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos*.

*sólidos generados en la ciudad de Riobamba*. S.l.: 2018. s.n.

**ESPINOSA, C., et al.** *Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana.* 2010, vol. 26, no. 4, pp. 313–325.

**GIRALDO, E.** *Tratamiento de Lixiviados de Rellonos Sanitarios.* 2016. pp. 44-55.

**JARA, J.** *Manejo y caracterización de Residuos sólidos urbanos de la provincia de Chimborazo-Ecuador y su potencial uso en agricultura.* 2014. Universidad Hermano Miguel, Huelva, España.

**JIMÉNEZ, B.** *La contaminación Ambiental en México* 2009, [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 6042-X. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA453&dq=Residuo+%2B&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjKq5ncrOLiAhUFzlkKHdLoAckQ6AEILTAB#v=onepage&q=Residuo%2B&f=false>.

**LETTINGA, VELSEN, VAN Y HOBMA.** *Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment.* 1980. págs. 699-734. Vol. 22.

**LÓPEZ, M., et al.** *Caracterización de los lixiviados del vertedero de residuos sólidos urbanos “calle 100”,* 2010, Ciudad de la Habana, Cuba.

**MADIGAN, M., MARTINKO, J.M. y PARKER, J.** Brock - *Biología De Los Microorganismos.* 2010, S.l.: s.n. Ed. Pretince Hall. España.

**MALDONADO, M., et al.** *Treatment landfill leachate in filters anaerobic upflow of two phases (DI – FAFS).* 2017, Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18584601>

**MARTINEZ-LOPEZ, A et al.** *Alternativas actuales del manejo de lixiviados.* Merida, Venezuela : s.n., Enero de 2014, *Avances en Química*, Vol. 9, págs. 37-47.

**MERARY, N. y MARTÍNEZ, J.** *La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México : entre la intención y la realidad* ,2015, pp. 29–56. DOI 10.17141/letrasverdes.17.2015.1419.

**NAJERA, A.** Lixiviados. 2010 no. 1990, pp. 3–5. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/296639645\\_MANEJO\\_DE\\_BIOGAS\\_Y\\_LIXIVIADOS\\_EN\\_RELLENOS\\_SANITARIOS\\_DEL\\_CENTRO\\_DEL\\_PAIS\\_UN\\_PANORAMA\\_GENERAL](https://www.researchgate.net/publication/296639645_MANEJO_DE_BIOGAS_Y_LIXIVIADOS_EN_RELLENOS_SANITARIOS_DEL_CENTRO_DEL_PAIS_UN_PANORAMA_GENERAL)



**OROZCO, C., TRIVIÑO, C., Y MANRIQUE, L.** *"Arranque de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones andino amazonicas"*. Nueva Granada : s.n., 2014.

**PARRA-OROBIO, B.A., et al.** *Influencia del pH sobre la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal.*, 2014 pp. 553–562. Disponible en: [www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a27.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a27.pdf)

**RONDÓN, E., et al.** *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* 2016, Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>

**RUÍZ, A.** *Reaprovechamiento de residuos sólidos en Huamanga , Pucallpa.* 2004 , pp. 1–41. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/guia-reapro.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/guia-reapro.pdf)

**SALAZAR, L. y SAAVEDRA, I.** *Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas.* 2004 , no. 1994.

**TORRES, P., et al.** *Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB. Científica Desarrollo e Ingeniería.* Universidad del Norte, Colombia, 2005, Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/2405>

**TORRI, S.I.** *¿ Qué es un relleno sanitario ?* *Researchgate* 2017, no. May. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/319624681\\_Que\\_es\\_un\\_relleno\\_sanitario](https://www.researchgate.net/publication/319624681_Que_es_un_relleno_sanitario)

**ULLCA, J.** *Los rellenos sanitarios. Ciencias de la vida,* 2006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

**VARNERO, M.T.** *Manual de Biogás.* 2011, [en línea], Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.

**VAZQUEZ, E., 2001.** *Cuantificación y efectos de la producción de lixiviados en el relleno sanitario de Salinas Victoria.* 2001. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Disponible en: [eprints.uanl.mx/6324/1/1080095002.PDF](http://eprints.uanl.mx/6324/1/1080095002.PDF)

**VILLAMAYOR, J. y GRAU, F.** *Determinación de la cantidad de lixiviado generado en rellenos sanitarios.* 2009. Disponible en: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIIRS05.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIIRS05.pdf)

**YONG, E** *"Yo contengo multitudes"*. 2016, Ed. Debate. S.l.:9789585446441.

**YUBAL F.** Xataka Basics. *Arduino*. 2018. [En línea] 21 de Julio de 2018. [Citado el: 14 de Junio de 2019.] <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.

## **ANEXOS.**

### **Anexo A.- Manual de operación del reactor piloto UASB**

Manual de operación del reactor piloto UASB.

Para un correcto funcionamiento se recomienda conectar a un cortapicos, para evitar que la placa arduino se quemé por una descarga de energía.

Se carga el lodo activado por la parte superior hasta el 70 % de la capacidad del reactor.

Se carga el tanque de alimentación de con 14L del líquido a tratar

Se conecta la manguera de salida de gas y el otro extremo se lo coloca en una botella de agua de manera que permita que salga el gas, pero no ingrese oxígeno.

Se abre la manguera que conecta el tanque de alimentación, la bomba y la tubería de ingreso al reactor, moviendo la perilla al lado izquierdo.

Se debe abrir la llave de salida y la llave de recirculación.

Se conecta al cortapicos la fuente de corriente de la placa Arduino y del chip (se debe asegurar que sean conexiones de 12V).

En este punto los sensores de temperatura deben empezar a funcionar y dar lectura en la pantalla LED.

Se conecta la bomba al cable que sale del Arduino.

Con el potenciómetro se prende la bomba hasta conseguir el caudal requerido.

Se trabaja con el tiempo requerido y se posee a vaciar el equipo por medio de las salidas instaladas y teniendo la mayor precaución posible.

### **Anexo B.- Muestreo y monitoreo del lixiviado.**



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

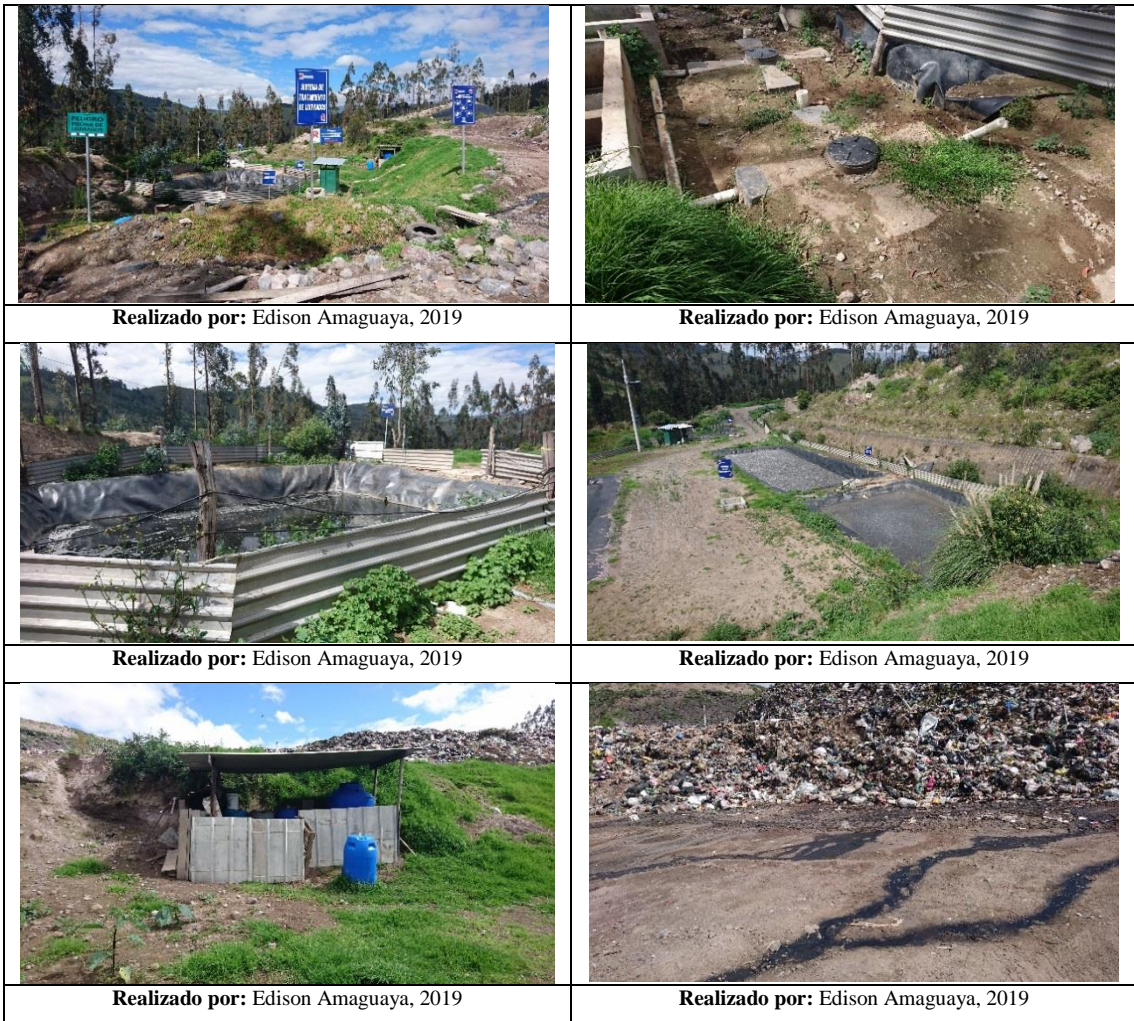


**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



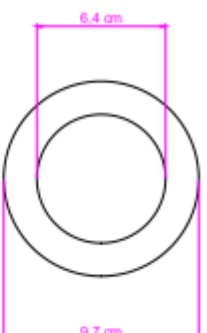
**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019

**Anexo C.-** Actualidad de la planta de tratamiento de lixiviados.

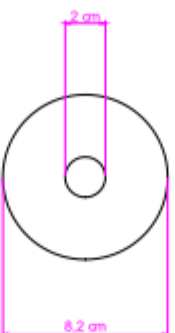


**Anexo D.-** Planos del reactor piloto y el sistema de aislamiento.

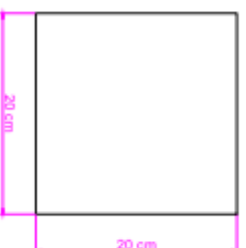
Vista Planta Reactor



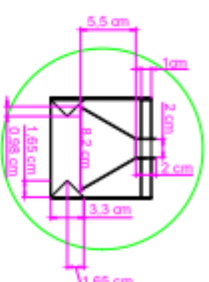
Vista Planta Campana



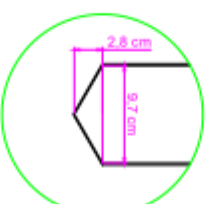
Vista Planta Tanques



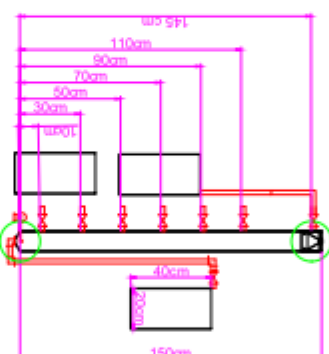
Vista A



Vista B



Vista A

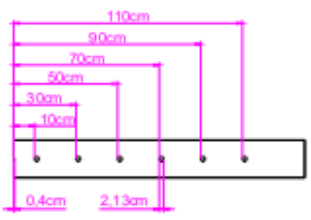


Vista B

Plano Reactor UASB

SIMBOLOGÍA	
	Válvula $\frac{1}{2}$ plg
	Codo $\frac{1}{2}$ plg
	Bomba N <sup>o</sup> . 2000 OUT-4mm
	Tubo $\frac{1}{2}$ plg

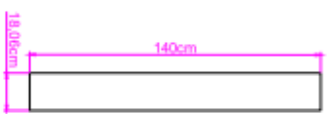
Lado A



Lado C



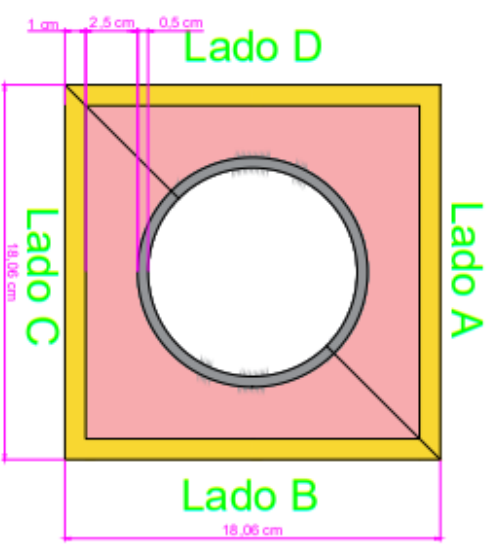
Lado B







Lado D



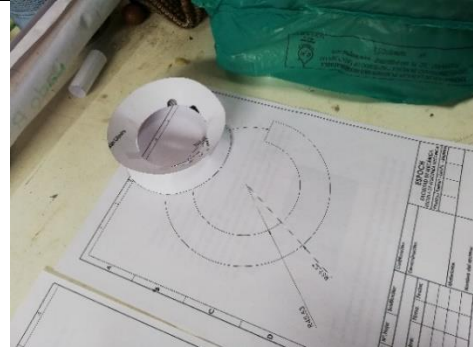







Vista Planta



Plano de Sistema de aislamiento térmico

SIMBOLOGÍA	
	Fibra de vidrio
	Madera
	Espuma flex
	Perforación

Anexo E.- Proceso de construcción.

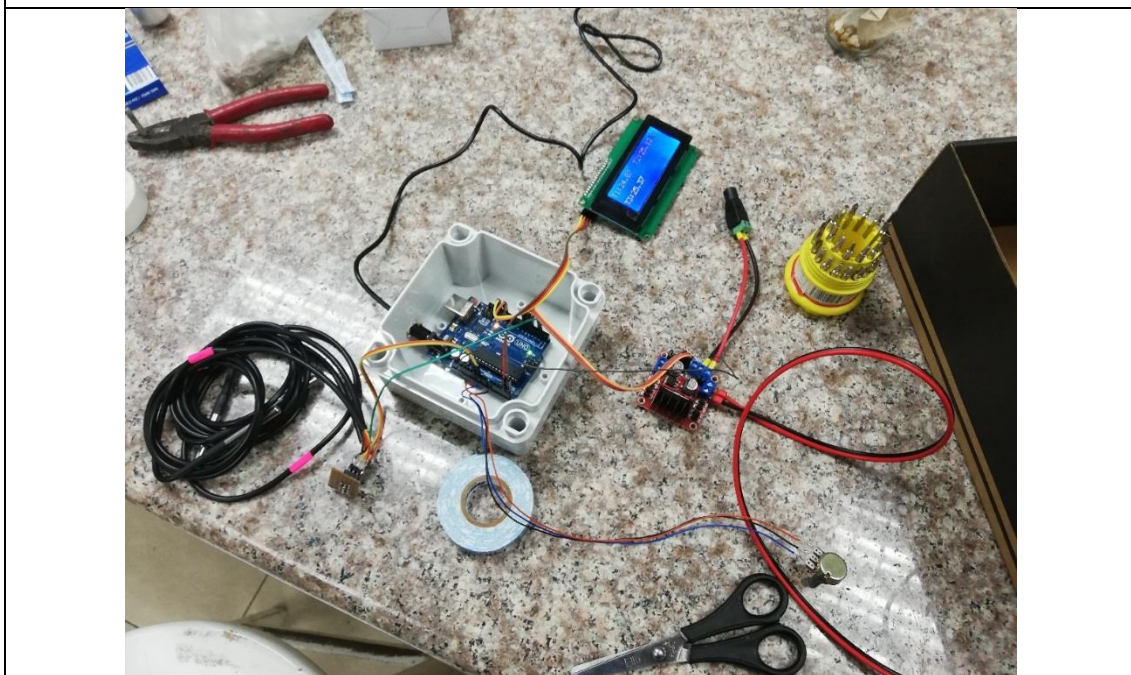
 A technical drawing of a conical component is shown on a workbench. A small metal part, possibly a nozzle or a small cone, is placed on top of the drawing for scale. The drawing includes various lines, circles, and text, including the name 'Edison Amaguaya'.	 A close-up photograph of a metal nozzle or cone-shaped component. It has a threaded section at the top and a wider, flared bottom. The component is resting on a surface covered with newspaper.
<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>	<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>
 A metal nozzle is held in a wooden vise. The nozzle is oriented horizontally, showing its conical shape and the threaded top section.	 A long, cylindrical metal nozzle is shown. It has a conical tip and is mounted on a stand or frame. The background shows a workshop environment.
<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>	<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>
 A long, cylindrical metal nozzle is shown, similar to the one in the previous image. It is positioned horizontally and appears to be part of a larger assembly.	 A metal nozzle is shown with a smaller pipe or tube attached to its side. The nozzle is oriented horizontally, and the side pipe is angled downwards.
<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>	<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>
 A metal nozzle is mounted on a stand or frame. The stand has a yellow top section. The nozzle is oriented vertically.	 A metal nozzle is mounted on a stand or frame, similar to the one in the previous image. The stand has a yellow top section. The nozzle is oriented vertically.
<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>	<p><b>Realizado por:</b> Edison Amaguaya, 2019</p>



**Anexo F.- Construcción Arduino.**



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

**Anexo G.-** Arranque del reactor UASB.



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



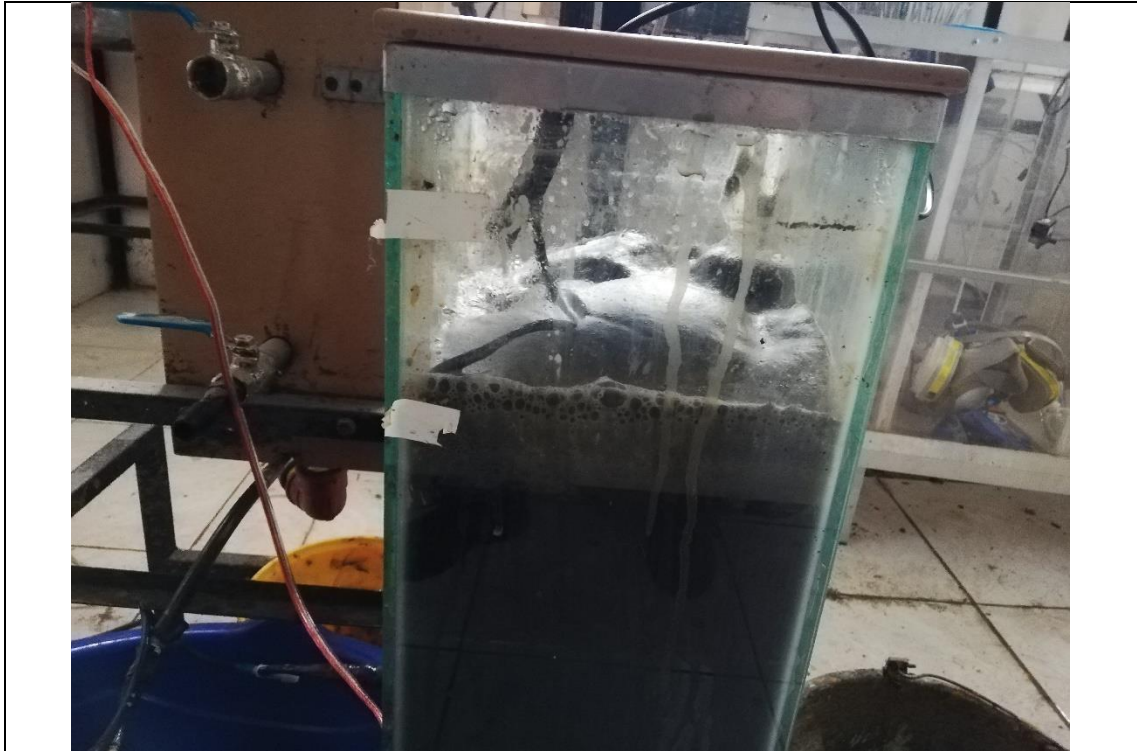
**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



**Realizado por:** Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

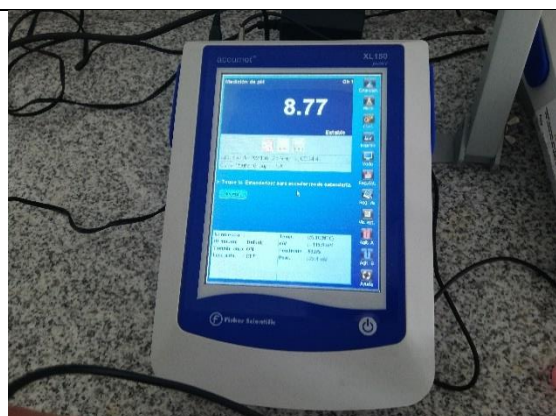
**Anexo H.-** Análisis de Laboratorio.



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

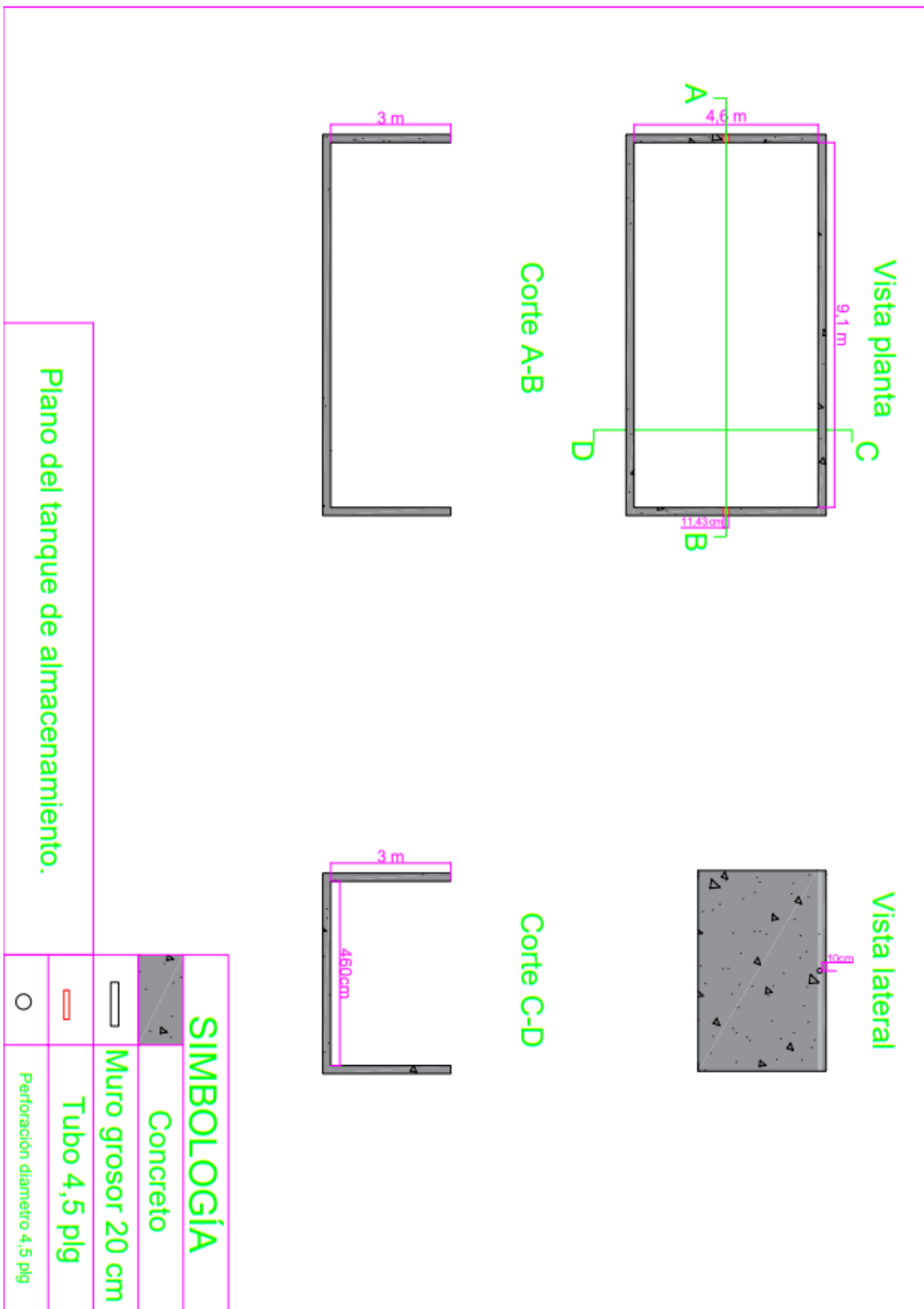


Realizado por: Edison Amaguaya, 2019



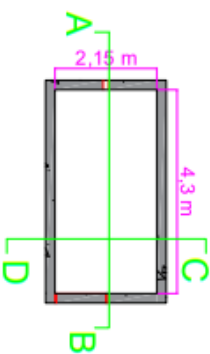
Realizado por: Edison Amaguaya, 2019

Anexo I.- Plano del tanque de almacenamiento.

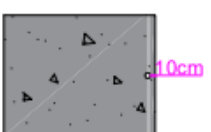


**Anexo J.-** Plano del tanque de alimentación y descarga.

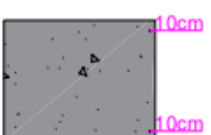
Vista planta



Vista lateral A



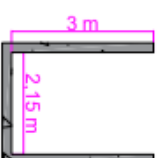
Vista lateral B



Corte A-B



Corte C-D

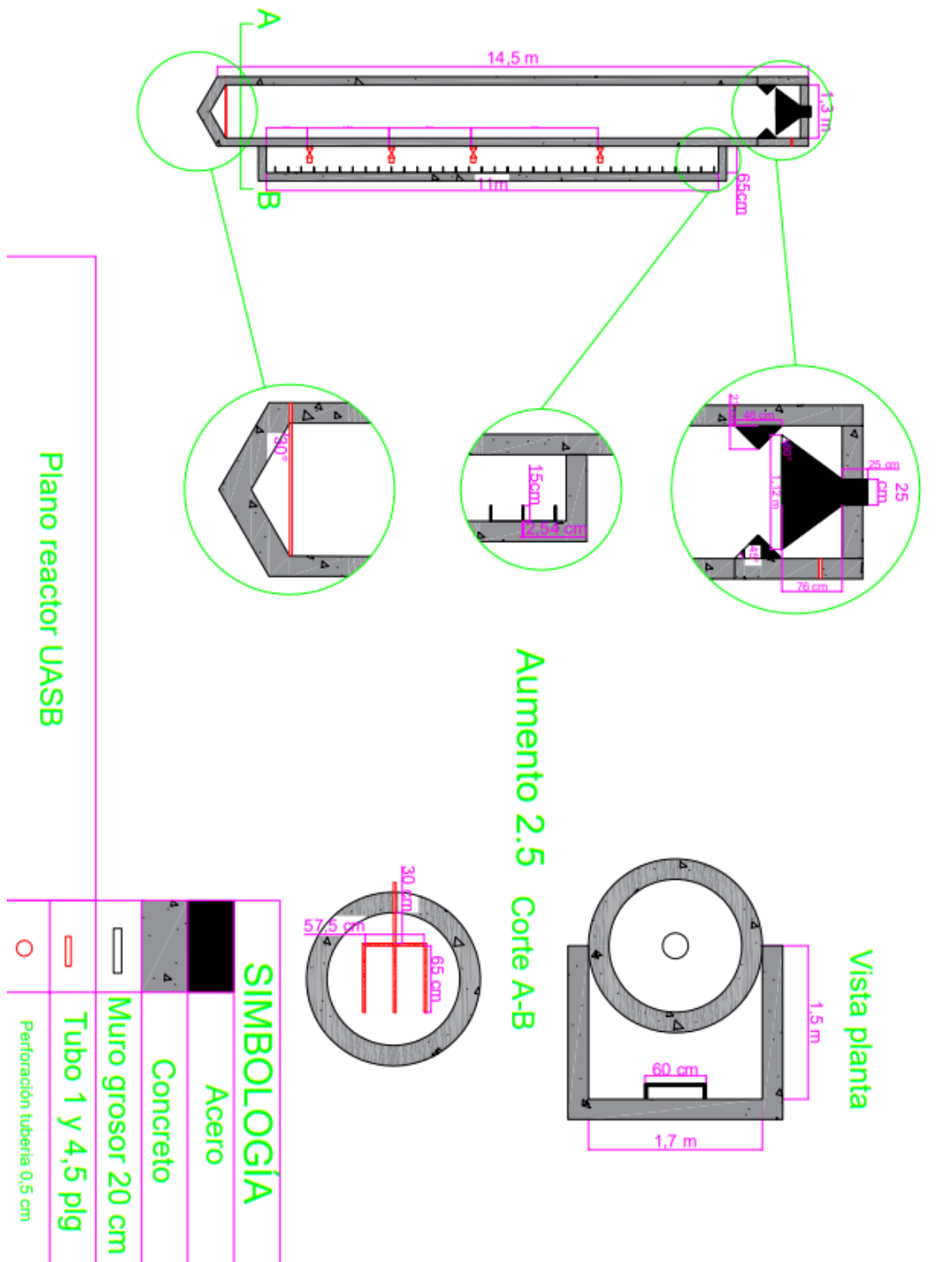


SIMBOLOGÍA	
	Concreto
	Muro grosor 20 cm
	Tubo 1 y 4,5 plg
	Perforación diametro 1 y 4,5 plg

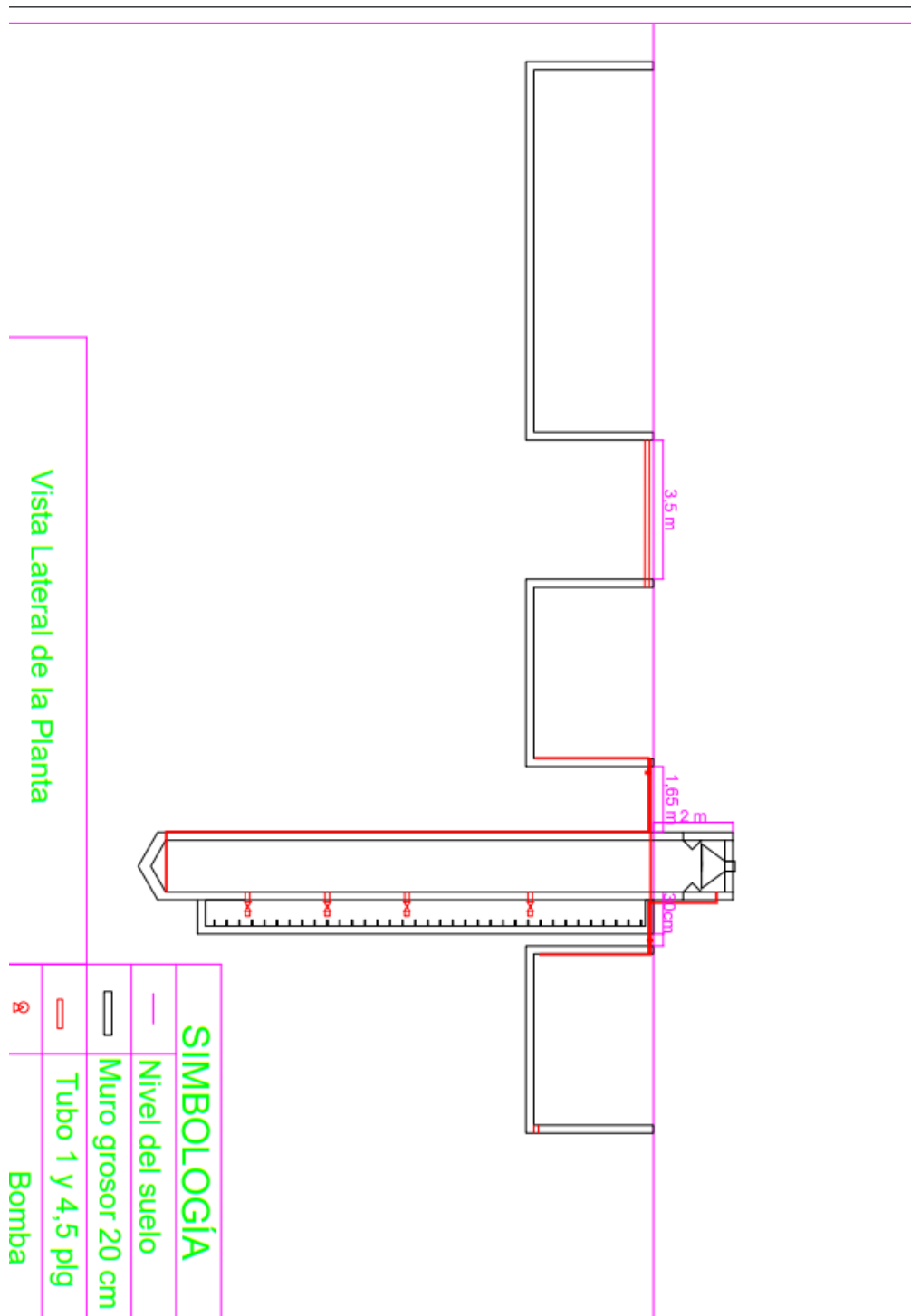
Plano del tanque de alimentación.

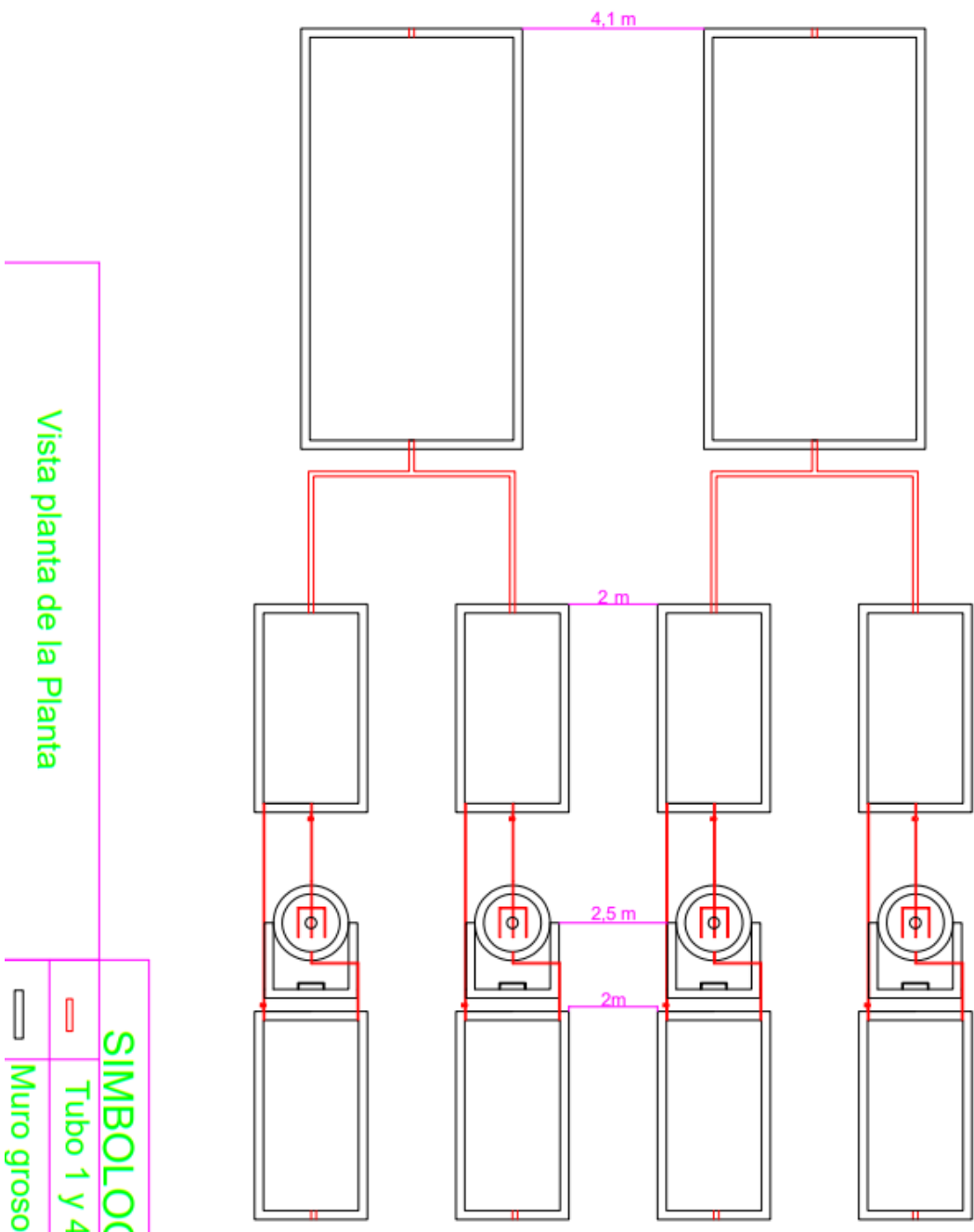


**Anexo K.-** Plano del Reactor.



**Anexo L.-** Sistema biológico para la depuración de lixiviados.





Vista planta de la Planta

SIMBOLOGÍA	
	Tubo 1 y 4,5 plg
	Muro grosor 20 cm

**Anexo M.-** Datos de caudal medido en el vertedero triangular de la planta de tratamientos de los lixiviados.

<b>Medición de Caudal Febrero Marzo</b>					
<b>Fecha</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Ángulo</b>	<b>Caudal (m3/día)</b>	
8-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
9-feb-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
10-feb-19	2	0,02	90	6,84	56,75
	6	0,06	90	106,66	
11-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
12-feb-19	2	0,02	90	6,84	12,85
	3	0,03	90	18,86	
13-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
14-feb-19	3	0,03	90	18,86	35,41
	4,5	0,045	90	51,96	
15-feb-19	2,6	0,026	90	13,18	20,45
	3,5	0,035	90	27,72	
16-feb-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
17-feb-19	2,5	0,025	90	11,95	20,85
	3,6	0,036	90	29,74	
18-feb-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
19-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
20-feb-19	2	0,02	90	6,84	12,85
	3	0,03	90	18,86	
21-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
22-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
23-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28

	3,5	0,035	90	27,72	
24-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
25-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
26-feb-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
27-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
28-feb-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
1-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	21,90
	3,7	0,037	90	31,85	
2-mar-19	2	0,02	90	6,84	20,45
	3,8	0,038	90	34,05	
3-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
4-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
5-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	23,00
	3,8	0,038	90	34,05	
6-mar-19	3	0,03	90	18,86	26,45
	3,8	0,038	90	34,05	
7-mar-19	3	0,03	90	18,86	27,59
	3,9	0,039	90	36,33	
8-mar-19	3	0,03	90	18,86	23,29
	3,5	0,035	90	27,72	
9-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
10-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
11-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
12-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	

13-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
14-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	15,40
	3	0,03	90	18,86	
15-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	19,84
	3,5	0,035	90	27,72	
16-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	15,40
	3	0,03	90	18,86	
17-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	15,40
	3	0,03	90	18,86	
18-mar-19	2	0,02	90	6,84	17,28
	3,5	0,035	90	27,72	
19-mar-19	2	0,02	90	6,84	12,85
	3	0,03	90	18,86	
20-mar-19	3,5	0,035	90	27,72	19,84
	2,5	0,025	90	11,95	
21-mar-19	3,5	0,035	90	27,72	19,84
	2,5	0,025	90	11,95	
22-mar-19	4	0,04	90	38,71	28,78
	3	0,03	90	18,86	
23-mar-19	3	0,03	90	18,86	15,40
	2,5	0,025	90	11,95	
24-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	15,40
	3	0,03	90	18,86	
25-mar-19	3	0,03	90	18,86	23,29
	3,5	0,035	90	27,72	
26-mar-19	3	0,03	90	18,86	15,40
	2,5	0,025	90	11,95	
27-mar-19	2,5	0,025	90	11,95	15,40
	3	0,03	90	18,86	
28-mar-19	3	0,03	90	18,86	23,29
	3,5	0,035	90	27,72	
29-mar-19	3	0,03	90	18,86	23,29
	3,5	0,035	90	27,72	

Realizado por: Edison Amaguaya, 2019.