



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIAS Y CONSTRUCCIÓN

### CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

#### “PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN AZOGUES”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR: CARLOS GONZALO ORBE RUILOVA**

**DIRECTOR: JOSÉ LUIS SOLANO PELÁEZ**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## **UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA INDUSTRIAS Y CONSTRUCCIÓN**

### **CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**“PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL  
RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN AZOGUES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: CARLOS GONZALO ORBE RUILOVA**

**DIRECTOR: JOSÉ LUIS SOLANO PELÁEZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

## DECLARACIÓN

Yo, Carlos Gonzalo Orbe Ruilova, declaro bajo juramento 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; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



---

**Carlos Gonzalo Orbe Ruilova.**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Gonzalo Orbe Ruilova, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, reading "José Luis Solano Peláez", enclosed within a large, hand-drawn oval shape.

---

**José Luis Solano Peláez**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

A mi querida madre, Julia Ruilova López, que siempre me ha demostrado su gran fortaleza, entrega y sacrificio para sacarnos adelante y gracias a su amor, carisma y confianza me dio la oportunidad para seguir con mis sueños, a mis tías: Norma, Fanny y Marieta que siempre han estado ahí apoyándome y guiándome, que a pesar de los tropiezos personales nunca dejaron de creer y confiar en mí, a mis hermanas Jenny y Janeth que me dan el ejemplo de superación tanto profesional como personal, y de manera especial en memoria a mi padre Carlos Gonzalo Orbe Vintimilla, que desde el cielo me cuida y me guía a cada paso que doy.

*Carlos Gonzalo Orbe Ruilova.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a familiares y amigos que ha estado conmigo en los diferentes momentos dentro de esta etapa de mi vida, que siempre estuvieron apoyándome en cada momento.

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca por todos los conocimientos adquiridos a través de los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, a mi tutor, Ingeniero José Solano Peláez y cotutor, Ingeniero Carlos Matovelle Bustos, por el conocimiento, apoyo, paciencia y confianza que me han brindado durante todo el proceso de la elaboración de este trabajo de investigación.

## Resumen

Los lixiviados de relleno sanitario son característicos por su alto contenido contaminante, esto ha propiciado que se conviertan en un problema a escala mundial, debido también a la complejidad y variabilidad de sus compuestos que dificultan su tratamiento, lo que genera la necesidad de desarrollar tratamientos eficaces y sostenibles para su depuración, mediante la combinación de diversas tecnologías, como uno de los principales abordajes en la actualidad. Elegir las técnicas para el tratamiento es una decisión compleja, ya que depende de muchos factores tangibles e intangibles que deben analizarse para lograr un equilibrio entre las técnicas, los costos y el impacto ambiental. En este marco, el presente estudio propone un tratamiento fisicoquímico y biológico para el manejo adecuado de lixiviados aplicado a escala de laboratorio, cuyos resultados fueron sometidos a un análisis de datos para determinar un modelo de comportamiento de los parámetros sometidos al experimento; para ello se utilizó los lixiviados del relleno sanitario de Chapté-Toray del cantón Azogues que presentaron un contenido inicial de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 2.727 mg/l; turbidez de 164 NTU y color 2.113 unidades de color, que fueron sometidos a una etapa de coagulación con Cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) al 40% con una dosificación de 60 gr/l y, a continuación en un segundo proceso, mediante un reactor biológico con un volumen de 40 litros se integró un sistema de aireación y recirculación alimentado con fangos activados con el que se obtuvo una remoción del 70,62% de DQO, 83,53 % de Turbidez y 59,86% de color, en el lapso de 23 días de trabajo continuo.

*Palabras clave:* lixiviados, Tratamiento fisicoquímico y biológico, reactor biológico.

## Abstract

Landfill site leachates are characterized by their high pollutant content, which has made them a problem on a global scale, also due to the complexity and variability of their compounds that make their treatment difficult, which generates the need to develop effective and sustainable treatments for their purification through the combination of different technologies, as one of the main approaches at present. The choice of treatment techniques is a complex decision since it depends on many tangible and intangible factors that must be analyzed to achieve a balance between techniques, costs, and environmental impact. Within this framework, the present study proposes a physicochemical and biological treatment for the adequate management of leachate applied at laboratory scale, whose results were subjected to data analysis to determine a behavioral model of the parameters subjected to the experiment; for this purpose, leachate from the "Chapte-Toray" landfill site in the Azogues canton was used, which presented an initial Chemical Oxygen Demand (COD) content of 2.727 mg/l; turbidity of 164 NTU and color 2.113 color units, which were subjected to a coagulation stage with 40% ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) at a dosage of 60 g/l and then in a second process, A biological reactor with a volume of 40 liters was integrated with an aeration and recirculation system, fed with activated sludge, with which removal of 70.62% COD, 83.53% turbidity and 59.86% color was obtained during 23 days of continuous work.

*keywords:* leachate, physicochemical and biological treatment, biological reactor.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| <b>DECLARACIÓN</b> .....              | <b>iii</b>   |
| <b>CERTIFICACIÓN</b> .....            | <b>iv</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....              | <b>v</b>     |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....          | <b>vi</b>    |
| <b>Resumen</b> .....                  | <b>vii</b>   |
| <b>Abstract</b> .....                 | <b>viii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....     | <b>ix</b>    |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....         | <b>xiv</b>   |
| <b>LISTA DE TABLAS</b> .....          | <b>xvi</b>   |
| <b>LISTA DE ANEXOS</b> .....          | <b>xvii</b>  |
| <b>CAPITULO I</b> .....               | <b>- 1 -</b> |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....          | <b>- 1 -</b> |
| 1.1 Planteamiento del problema .....  | <b>- 2 -</b> |
| 1.1.1 Formulación del problema .....  | <b>- 2 -</b> |
| 1.1.2 Delimitación del problema ..... | <b>- 3 -</b> |
| 1.2 Justificación .....               | <b>- 3 -</b> |
| 1.3 Objetivos .....                   | <b>- 4 -</b> |

|                          |  |              |
|--------------------------|--|--------------|
| 1.3.1                    | General. ....                                      | - 4 -        |
| 1.3.2                    | Específicos.....                                   | - 4 -        |
| 1.4                      | Metodología. ....                                  | - 5 -        |
| <b>CAPITULO II .....</b> |  | <b>- 7 -</b> |
| <b>2.</b>                | <b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>                 | <b>- 7 -</b> |
| 2.1                      | Cantón Azogues.....                                | - 7 -        |
| 2.2                      | Relleno Sanitario. ....                            | - 7 -        |
| 2.3                      | Lixiviados. ....                                   | - 7 -        |
| 2.4                      | Características generales de los lixiviados. ....  | - 8 -        |
| 2.5                      | Impactos ambientales causados por lixiviados. .... | - 8 -        |
| 2.5.1                    | Contaminación de aguas subterráneas. ....          | - 8 -        |
| 2.5.2                    | Contaminación de aguas superficiales. ....         | - 9 -        |
| 2.5.3                    | Contaminación de suelos. ....                      | - 9 -        |
| 2.5.4                    | Efectos en los seres vivos. ....                   | - 9 -        |
| 2.6                      | Sistema de drenaje de lixiviados. ....             | - 9 -        |
| 2.7                      | Caracterización de los lixiviados.....             | - 10 -       |
| 2.7.1                    | Demanda biológica de oxígeno (DBO). ....           | - 10 -       |
| 2.7.2                    | Demanda química de oxígeno (DQO). ....             | - 10 -       |
| 2.7.3                    | Turbidez. ....                                     | - 10 -       |
| 2.7.4                    | Potencial de hidrógeno (pH).....                   | - 10 -       |
| 2.7.5                    | Sólidos suspendidos. ....                          | - 10 -       |

|                           |   |               |
|---------------------------|---|---------------|
| 2.7.6                     | Sólidos sedimentables. ....   | - 11 -        |
| 2.7.7                     | Sólidos totales. ....   | - 11 -        |
| 2.8                       | Tratamiento de lixiviados. ....   | - 11 -        |
| 2.8.1                     | Proceso fisicoquímico. ....   | - 11 -        |
| 2.8.2                     | Flotación. ....   | - 11 -        |
| 2.8.3                     | Coagulación-floculación. ....   | - 12 -        |
| 2.8.4                     | Sistemas de membranas. ....   | - 12 -        |
| 2.8.5                     | Proceso biológico. ....   | - 13 -        |
| 2.8.6                     | Tratamiento aerobio. ....   | - 13 -        |
| 2.8.7                     | Tratamiento anaerobio. ....   | - 13 -        |
| 2.8.8                     | Recirculación de lixiviados. ....   | - 14 -        |
| 2.9                       | Marco legal. ....   | - 14 -        |
| 2.9.1                     | Constitución de la República del Ecuador 2008. ....   | - 14 -        |
| 2.9.2                     | Agenda 21. ....   | - 15 -        |
| 2.9.3                     | Código Orgánico Ambiental (COA). ....   | - 15 -        |
| 2.9.4                     | Reglamento al Código Orgánico Ambiental. ....   | - 16 -        |
| 2.9.5                     | Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.<br>(COOTAD). Reformado el 21 de mayo del 2018. .... | - 16 -        |
| <b>CAPITULO III. ....</b> |   | <b>- 18 -</b> |
| <b>3.</b>                 | <b>MATERIALES Y MÉTODOS. ....</b>   | <b>- 18 -</b> |
| 3.1                       | Zona de estudio. ....   | - 18 -        |

|                                  |   |               |
|----------------------------------|---|---------------|
| 3.2                              | Técnicas e instrumentos para la obtención de datos. ....  | - 21 -        |
| 3.2.1                            | Descripción del procedimiento.....  | - 21 -        |
| 3.2.1.1                          | Muestreo. ....  | - 21 -        |
| 3.3                              | Caracterización de lixiviado generado en el relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues. .... | - 22 -        |
| 3.3.1                            | DQO.....  | - 22 -        |
| 3.3.2                            | Turbidez. ....  | - 24 -        |
| 3.3.3                            | Color. ....   | - 25 -        |
| 3.3.4                            | pH. ....  | - 26 -        |
| 3.3.5                            | Sólidos suspendidos (SS). ....  | - 28 -        |
| 3.3.6                            | Sólidos totales (ST). ....  | - 30 -        |
| 3.3.7                            | Prueba de sedimentabilidad. ....  | - 31 -        |
| 3.3.8                            | Prueba de jarras.....   | - 33 -        |
| 3.3.9                            | Reactor biológico.....  | - 34 -        |
| <b>CAPITULO IV</b>               | .....   | <b>- 35 -</b> |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> | .....   | <b>- 35 -</b> |
| 4.1                              | Tratamiento Biológico.....  | - 37 -        |
| 4.2                              | Proceso de análisis de datos.....   | - 40 -        |
| 4.3                              | Análisis de datos mediante modelos de regresión.....  | - 40 -        |
| 4.3.1                            | DQO.....  | - 41 -        |
| 4.3.2                            | Turbidez.....   | - 43 -        |

|   |               |
|---|---------------|
| 4.3.3 Color .....                       | - 44 -        |
| <b>CAPITULO V .....</b>                 | <b>- 46 -</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES .....</b>            | <b>- 46 -</b> |
| <b>CAPÍTULO VI .....</b>                | <b>- 48 -</b> |
| <b>6. RECOMENDACIONES .....</b>         | <b>- 48 -</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>- 49 -</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                      | <b>- 57 -</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |        |
|---|--------|
| Figura 1: Metodología desarrollada en el proceso experimental de tratamiento de lixiviados. | - 6 -  |
| Figura 2: Diagrama para determinar la Demanda Química de Oxígeno .....                      | - 22 - |
| Figura 3: Termoreactor para digestión de viales de DQO. ....                                | - 23 - |
| Figura 4: Esquema del camino de la luz en el turbidímetro. ....                             | - 24 - |
| Figura 5: Diagrama para determinar la turbidez. ....  | - 24 - |
| Figura 6: Turbidímetro Hach 2100Q.....  | - 25 - |
| Figura 7: Diagrama para determinar el parámetro Color. ....                                 | - 25 - |
| Figura 8: Espectrofotómetro UV-VIS DR6000 .....   | - 26 - |
| Figura 9: Diagrama para determinas el pH.....   | - 27 - |
| Figura 10: Medición de pH de las muestras de lixiviados. ....                               | - 27 - |
| Figura 11: Diagrama para determinar solidos suspendidos.....                                | - 28 - |
| Figura 12: Bomba de filtración al vacío. ....   | - 29 - |
| Figura 13: Diagrama para la obtención de Solidos Totales. ....                              | - 30 - |
| Figura 14: Muestra para determinar solidos totales.....                                     | - 31 - |
| Figura 15: Diagrama para determinar solidos sedimentables.....                              | - 32 - |
| Figura 16: Cono Imhoff. ....  | - 32 - |
| Figura 17: Jar test. ....   | - 34 - |
| Figura 18: Reactor bilógico implementado en el CIITT.....                                   | - 35 - |
| Figura 19: Diagrama de Cajas para datos de DQO.....   | - 38 - |

|   |        |
|---|--------|
| Figura 20: Diagrama de cajas de datos de Turbidez. ....   | - 39 - |
| Figura 21: Diagrama de cajas de datos de Color. ....  | - 40 - |
| Figura 22: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para DQO. ....                      | - 42 - |
| Figura 23: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para Turbidez. ....                 | - 43 - |
| Figura 24: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para Color.....                     | - 44 - |
| Figura 25: Toma de muestra de lixiviados previa entrada a la planta de tratamiento de lixiviados..... | - 57 - |
| Figura 26: Decantador de la planta de tratamiento de lixiviados. ....                                 | - 58 - |
| Figura 27: Laguna de aireación de lixiviados. ....  | - 58 - |
| Figura 28: Laguna de maduración.....  | - 59 - |
| Figura 29: Proceso de Jar test. Adición de coagulante en las muestras de lixiviado .....              | - 60 - |
| Figura 30: Mezcla de coagulante y lixiviado a diferentes velocidades. ....                            | - 60 - |
| Figura 31: Dosis de fango activado para el tratamiento biológico.....                                 | - 61 - |
| Figura 32: Vertido de lixiviado en el reactor biológico previo tratamiento fisicoquímico. ....        | - 61 - |

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización de lixiviado..... - 36 -

## LISTA DE ANEXOS

|  |        |
|--|--------|
| Anexo 1. Toma de muestra en la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario . | - 57 - |
| Anexo 2 Tratamiento de lixiviados en el laboratorio (CIITT). .....                         | - 60 - |

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento poblacional ha generado una preocupación a nivel mundial en el medio ambiente como la generación de desechos sólidos que como mecanismo de disposición final se ha optado usualmente por la técnica del relleno sanitario, por su facilidad en la construcción y la viabilidad económica que representa, una de sus características principales la generación de lixiviados, proporcional a la cantidad de residuos en disposición final y en función de las condiciones climáticas de la zona (Amaral et al., 2013).

Los rellenos sanitarios se han desarrollado técnicamente al pasar de los años controlando las emisiones tanto líquidas como gaseosas que son potencialmente contaminantes para el medio ambiente, la fracción líquida es generada predominantemente en un ambiente anaerobio resultado de la compresión y consumo de oxígeno por el metabolismo de microorganismos. Además de la percolación de agua lluvia a través de los residuos sólidos arrastrando diversas sustancias contaminantes y tóxicas que producen un agua residual particularmente compleja denominado lixiviado. En el caso de no contar con un adecuado tratamiento de estos desechos líquidos debido a su naturaleza causan problemas de contaminación del agua, suelo y aire, en la proliferación de malos olores e incluso generarse nichos de vectores (Pliego-Arreaga et al., 2013).

Los lixiviados son líquidos oscuros con altas concentraciones de ácidos orgánicos y materia disuelta, presencia abundante de patógenos, los cuales al fluir disuelven sustancias y arrastran partículas contenidas en los residuos como metales pesados. Además, pueden contaminar aguas subterráneas, superficiales y suelos, por esta razón los rellenos sanitarios se impermeabilizan, y los líquidos se drenan y recolectan para su respectivo tratamiento que puede emplear una combinación de varios métodos (León-Gómez et al., 2015).

Los lixiviados tratados convencionalmente involucra un alto costo tanto en cimentación como en ejecución (procesos aeróbicos con remoción centrada en nitrógeno 20 \$/m<sup>3</sup>, osmosis inversa en dos etapas 10 \$/m<sup>3</sup>, procesos biológicos y carbón activado más precipitación 35 \$/m<sup>3</sup>, procesos biológicos con evaporación de concentrados 40 \$/m<sup>3</sup>). En varias ocasiones este tipo de remociones son deficientes debido a la complejidad del sustrato a tratar, por este motivo se han

generado la necesidad de optar por técnicas más favorables de tratamiento, rentables económicamente y con alta eficacia como son los humedales artificiales, la electrocoagulación y la adsorción con carbón activado (Giraldo, 2014).

En el Ecuador el tratamiento de los lixiviados es uno de los problemas que ha generado controversias en el adecuado manejo de aguas residuales y de los rellenos sanitarios. Como es el caso de estudio del relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues que no cuenta con los procesos necesarios para atacar este asunto; por tanto, se torna importante establecer métodos para efluentes que consideren los recursos tecnológicos con los que cuenta el país y traten la problemática de este tipo de contaminantes. Al considerar algunos indicadores ambientales, económicos y sociales, como la producción de basura en los centros poblados que van a los diferentes centros de disposición final, también es relevante la creación de políticas, propuestas y alternativas de desarrollo social, desde el fundamento técnico que puedan incorporarse como sostenibles (Guevara et al., 2014).

## **1.1 Planteamiento del problema.**

### **1.1.1 Formulación del problema.**

A medida que los países se van desarrollando sus condiciones de gestión de residuos también evolucionan a la par con la variedad y volumen de residuos sólidos que se generan. El crecimiento en prosperidad y el movimiento hacia áreas urbanas están vinculados a aumentos en la generación per cápita de desperdicio en donde tiene incidencia la rápida urbanización y el crecimiento demográfico, que desencadena en dificultades de recolección y la adquisición de extensiones más grandes de tierras para tratamiento y disposición final (Toro et al., 2016).

Al igual que varios países en vías de desarrollo el Ecuador busca implementar alternativas que ayuden a contrarrestar la problemática ambiental ocasionada por la excesiva producción de residuos sólidos que terminan en el relleno sanitario, donde se da un proceso de descomposición anaerobia produciéndose los lixiviados generados como consecuencia de la humedad de los residuos, la infiltración y percolación de las precipitaciones pluviales que por gravedad se dirigen hacia el fondo del relleno sanitario diluyendo consigo todo tipo de compuestos que constituyen los residuos, convirtiéndose en una composición compleja y variable de agregados orgánicos e inorgánicos solubles, bacterias y sólidos suspendidos (Ategrus, 2010).

Una de las problemáticas ambientales a las que se enfrenta es el control de la generación de lixiviados en las ciudades de países en vías de desarrollo, en donde se tiene limitaciones como la falta de control en el propio vertedor y la implementación de estrategias básicas antes y durante la operación del vertedero; además de tener en cuenta que tras su cierre puede seguir generándose lixiviado hasta 50 años después, por ello es fundamental instaurar medidas de gestión integral que se puedan ejecutar después del cierre técnico del relleno sanitario (Martínez, 2008).

### **1.1.2 Delimitación del problema.**

Todos los residuos sólidos del cantón son transportados al sitio de disposición final del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) de Azogues, a través del Directorio de Higiene en donde se facilita su debido tratamiento y gestión, lo que da como resultado la generación de lixiviados con alta carga contaminante. Este líquido percolado al no tener un debido tratamiento puede ocasionar diversos daños al suelo, agua, aire, flora y fauna e incluso la salud de las personas que utilizan aguas de vertientes cercanas. En este marco, la presente investigación propone realizar un diagnóstico sobre el actual manejo de lixiviados, a través de su caracterización fisicoquímica y biológico, para posteriormente llevar a cabo una experimentación en base a una planta piloto (nivel de laboratorio) para generar propuestas de tratamiento óptimo, un diagnóstico eficiente de la concentración de sustancias existentes a tratar mejorando los procesos realizados en la planta de tratamiento de lixiviados (Chávez, 2011).

### **1.2 Justificación.**

Un relleno sanitario es el procedimiento más empleado como fase final de los residuos sólidos municipales de las principales ciudades de América Latina. El Ecuador cuenta con 72 rellenos sanitarios de ellos 45 poseen licencia ambiental, 11 no la poseen y 16 están en trámites según los Registros de Información Ambiental Económica, los vertederos que existen en la actualidad guardan diversas dificultades operativas y carencia de sistemas para el tratamiento de lixiviados, respiraderos para gases, pozos de monitoreo y cubiertas protectoras (Consejo Nacional de Competencias (CNC), 2019).

En el Ecuador pocos son los rellenos sanitarios que tienen una planta de tratamiento de lixiviados debido a que los estudios planteados teóricamente para el relleno sanitario son viables,

pero llevados a la práctica en campo la realidad es otra, carecen de funcionamiento; sin embargo, por cuestiones económicas y técnicas, no cuentan con un modelo de tratamiento eficaz para la depuración de estas aguas contaminadas, dado que muchos de los tratamientos biológicos aplicados no son factibles para la remoción de carga orgánica de lixiviados generados. En los últimos años se han estudiado e implementado métodos más efectivos como el tratamiento fisicoquímico por su efectiva remoción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST) y metales. Los sitios de disposición final deben tener un eficiente sistema de recolección y tratamiento de tal manera amortigüe su impacto contra el ambiente y la vida del hombre, pues no se debe perder de vista que en los rellenos sanitarios los lixiviados terminan filtrándose en los mantos freáticos, se evapora el contenido acuoso y la parte sólida generan polución ocasionando impactos en la calidad de aire, contaminación de fuentes de agua locales, y en el suelo, lo que tienen un efecto en los ecosistemas y a la vez perjudica a las comunidades aledañas (Martinez-Lopez et al., 2014).

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 General.**

Diseñar una propuesta para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Chapte - Toray del cantón Azogues mediante la implementación de un modelo experimental.

#### **1.3.2 Específicos.**

- Determinar la producción de lixiviados del relleno sanitario del cantón Azogues y sus características físicas, químicas y biológicas.
- Desarrollar un modelo experimental a nivel de laboratorio de tratamientos físico-químico y biológico para los lixiviados.
- Analizar los resultados obtenidos en laboratorio mediante, modelos matemáticos y la implementación de un reactor biológico experimental.

#### **1.4 Metodología.**

La metodología de investigación empleada en este trabajo fue experimental mediante pruebas de laboratorio que consiste en determinar la adecuación o no de hipótesis a la realidad mediante la observación y experimentación combinando metodologías de apoyo como la analítica-sistemática que consiste en descomponer un todo en sus elementos básicos, que va de lo general a lo específico, mediante la combinación y relación entre elementos, para sistematizarlo en múltiples atributos que entran bajo la misma categoría estudiada, constituyendo una homogeneidad bajo los principios que rigen esta metodología (Echavarría et al., 2010).

*Metodología Analítica.* - Consiste en la aplicación de técnicas o procesos formales apropiados para resolver cualquier tipo de problema con base científica al enumerar sus pasos se puede determinar exactamente donde se puede mejorar el desarrollo de la investigación (Valunaite Oleskeviciene & Sliogeriene, 2020).

*Metodología Sistemática.* - Consiste en enunciar el problema recopilar los hechos o datos, analizar los hechos y llegar a ciertas conclusiones ya sea en forma de soluciones hacia el problema en cuestión o en generalizaciones para una formulación teórica (Kothari, 2002).

En la siguiente figura se muestra las fases desarrolladas en el tratamiento experimental de lixiviados.

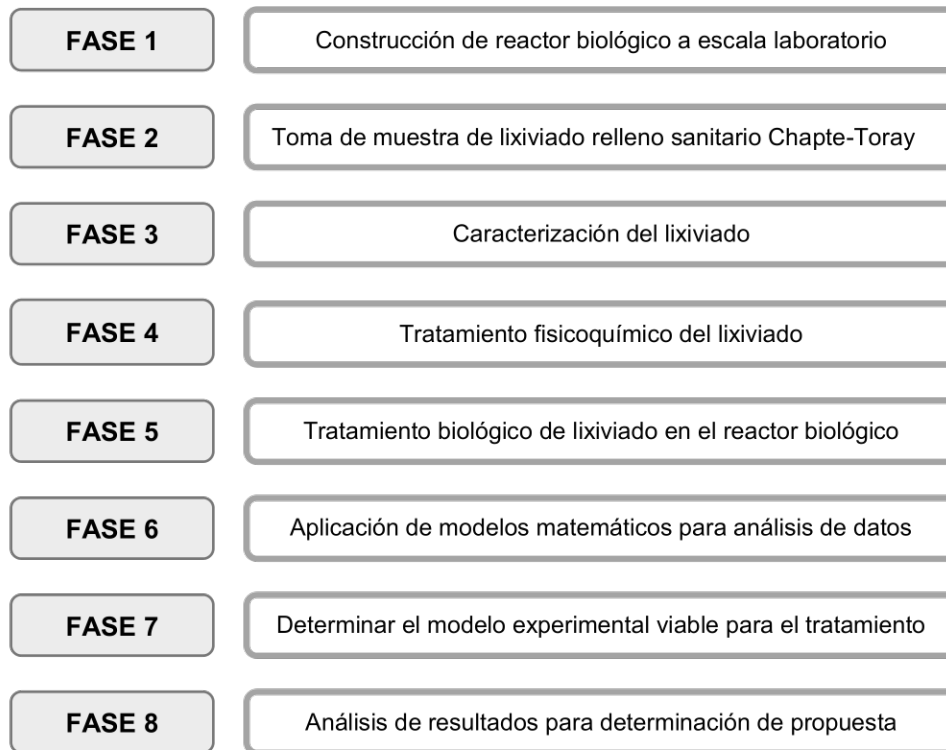


Figura 1: Metodología desarrollada en el proceso experimental de tratamiento de lixiviados.

En la fase 1 se construyó un reactor biológico con capacidad de 0,043 m<sup>3</sup> para el almacenamiento de lixiviado, en la fase 2 se tomó la muestra de lixiviado en el drenaje previo ingreso a la planta de tratamiento, en la fase 3 una vez llevada la muestra de lixiviado al laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca donde se realizó la caracterización, en la fase 4 se realizó un tratamiento fisicoquímico con un Jar test o prueba de jarras empleando FeCl<sub>3</sub> como coagulante, en la fase 5 se realizó un tratamiento biológico con fangos activados obtenidos de la planta de tratamiento de agua residual “Ucubamba” de la ciudad de Cuenca luego de haberse sometido al tratamiento fisicoquímico, en la fase 6 se aplicó modelos matemáticos con el propósito de determinar el mejor modelo de ajuste de datos, en la fase 7 se determinó el modelo experimental que se ajustó a una mejor correlación de datos con mejores cinéticas y ajustes al modelo de degradación y por último en la fase 8 se efectuó un análisis de los datos obtenidos para definir los lineamientos a la mejor propuesta en el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Azogues.

## **CAPITULO II**

### **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1 Cantón Azogues.**

El cantón Azogues está ubicado en la región sierra del país, pertenece a la provincia del Cañar en el sur del Ecuador, con una altura de entre 2.500 a 2.990 msnm, y está conformado por 12 parroquias, cuatro corresponden al área urbana: Azogues, Aurelio Bayas, San Francisco y Borrero, y ocho al área Rural: Guapan, Pindilig, Cojitambo, Javier Loyola, Luis Cordero, Rivera, San Miguel y Taday. Tiene un clima templado debido al piso altitudinal en el que se encuentra (PDOT, 2018).

#### **2.2 Relleno Sanitario.**

El relleno sanitario se ha convertido como alternativa viable para el manejo de los desechos de las ciudades. Es un método en el cual se deposita en el suelo sin causar efectos en el medio ambiente, ni problemas de salud, ni molestias en la población. Esta técnica tiene como objetivo depositar los desechos en una menor área posible por lo cual debe reducir a su menor volumen, y, por último, es recomendable que todos estos residuos sean compactados y tapados con una capa de material de cobertura (Ulloa, 2006). Se coloca los residuos en celdas con sus bases previamente impermeabilizadas y cubriéndolos con tierra arcillosa utilizando maquinaria pesada para el tendido y compactación, evitando problemas posteriores de contaminación de aguas subterráneas y superficiales, al igual que la construcción de obras de control y monitoreo como sistemas de captación y tratamiento de lixiviados, canales de desagüe, sistema de capturas y control de biogás (MMAA de Bolivia, 2010).

#### **2.3 Lixiviados.**

Estos líquidos son formados principalmente por las precipitaciones, el agua cae sobre un desecho sólido o efluente líquido donde interactúan dando paso a la descomposición natural de estos residuos alterando los sustratos contenidos en dicho líquido, ocasionando varias reacciones físicas y químicas. El agua se relaciona con los residuos y forma lixiviados, que también emergen de los residuos que constituyen el relleno sanitario aportando materiales procedentes de estos desechos, por lo tanto, estas combinaciones se consideran nocivas por su

alta concentración de contaminantes. La producción de lixiviados está determinada básicamente por su área rellena, la climatología de la zona, la infiltración o percolación de aguas que se permita filtrar en el relleno y el sistema de drenaje (Toro et al., 2016).

#### **2.4 Características generales de los lixiviados.**

En los lixiviados se pueden encontrar un cúmulo de características ya que se hace especial énfasis en su alta capacidad como contaminante, dichas características dependen directamente de las peculiaridades de los residuos sólidos como metales pesados, presencia de patógenos y por otro lado la temperatura, la humedad, la calidad de agua con la que logren entrar en contacto que pueden afectar los procesos de tratamiento. De forma breve se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países subdesarrollados poseen altas contenido de DQO, amoníaco, metales pesados y sustancias precipitables que los países desarrollados (Giraldo, 2014).

#### **2.5 Impactos ambientales causados por lixiviados.**

El principal problema en los sitios de disposición final como es el caso de los rellenos sanitarios es la formación de lixiviados y su acumulación en el fondo del vertedero. Existe una gran cantidad de sustancias peligrosas que se encuentran en su composición, lo cual se convierte una fuente potencial de contaminación de aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos, que al ser liberado se convierten en una amenaza a nivel mundial tanto para el medio ambiente y la salud humana, debido a su toxicidad. (León-Gómez et al., 2015).

##### **2.5.1 Contaminación de aguas subterráneas.**

Los lixiviados de vertederos son potencialmente contaminantes y pueden afectar directa o indirectamente a las aguas subterráneas, los mismos que son persistentes y difíciles de controlar al no ser visibles, esto conlleva a la contaminación significativa del agua con altas concentraciones de contaminantes, lo que sobrelleva a una larga recuperación por su lento metabolismo de autodepuración, a su vez produce que dicha agua no se pueda ingerir. En caso de que un pozo de suministro de agua haya sido contaminado por lixiviados, este debe ser abandonado como lo ordena la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (Astorga del Canto, 2018).

### **2.5.2 Contaminación de aguas superficiales.**

Este problema ocurre cuando existe un contacto o descarga directa de los lixiviados a un cuerpo de agua superficial. La alta concentración de compuestos orgánicos, tóxicos y metales pesados, influyen en la calidad del agua porque supone una reducción de concentración de oxígeno alterando los ecosistemas acuáticos y afectando a las distintas actividades que hagan uso de esta fuente de agua (Chávez, 2011).

### **2.5.3 Contaminación de suelos.**

Se produce cuando existe la presencia de lixiviados sobre el suelo situado bajo el vertedero y cuando hay aumento de precipitación, es decir, riesgo de derrame de los canales o lagunas de almacenamiento. De igual manera, cuando se produzca en contacto en una determinada zona ya sea por contaminación de aguas subterráneas o superficiales, el suelo se verá afectado por el aumento de salinidad. Esto presume un descenso en su calidad, que acaba erosionando y afectando a los organismos presentes en el suelo (Villacrés, 2013).

### **2.5.4 Efectos en los seres vivos.**

La existencia de lixiviados son un problema a nivel global, siendo un gran riesgo para la salud humana. Es considerado un factor importante de contaminación por que es recomendable prevenir el contacto directo u otras vías, el cual se puede dar a través de la contaminación de suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas, que pudieran haber estado expuesto al contacto con los lixiviados (Moncada, 2016).

## **2.6 Sistema de drenaje de lixiviados.**

Para un adecuado tratamiento de los lixiviados se deben recolectar a través de un sistema de drenaje fuera del relleno sanitario para su posterior tratamiento y disminuir la carga contaminante para que no tenga impactos en el medio ambiente. Actualmente existen diversos sistemas de drenaje, dentro del sistema en el interior de las celdas del relleno sanitario, está el drenaje de grava y drenaje de tubería de PVC, además existe el sistema externo de captación y conducción de lixiviados a tratamiento y sistemas de tratamiento de lixiviados para rellenos manuales y mecanizados (MMAA de Bolivia, 2010).

## **2.7 Caracterización de los lixiviados.**

Las principales características tienen relación con los procesos fisicoquímicos y biológicos que sufren en el relleno sanitario, sin embargo, los principales parámetros a considerar son los siguientes:

### **2.7.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO).**

La DBO es la prueba que mide el oxígeno necesario usado para la respiración de los microorganismos encargados de la estabilización u oxidación de la materia orgánica mediante su actividad metabólica en un medio aerobio; su unidad de medida es  $\text{mgO}_2/\text{l}$  (Sánchez, 2001).

### **2.7.2 Demanda química de oxígeno (DQO).**

Establece el oxígeno requerido para oxidar químicamente las sustancias orgánicas del agua, es importante destacar que no se distingue la materia orgánica biodegradable y no biodegradable midiendo la materia orgánica total; su unidad de medida es  $\text{mg/l}$  (Rodríguez et al., 2007).

### **2.7.3 Turbidez.**

Evalúa el grado de transparencia de luz en el agua, contribuye como unidad de medida de calidad de agua con relación al material suspendido coloidal y residual, sin existir afinidad entre turbidez y sólidos suspendidos. Su unidad de medida en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) (Trujillo et al., 2014).

### **2.7.4 Potencial de hidrógeno (pH).**

Es la medida que indica la alcalinidad o acidez del agua; cuyo mecanismo de medición es la cantidad existente de iones de hidrógeno en el agua, con escala logarítmica con valores de 0 a 14, teniendo la siguiente clasificación: de 0 a 6,5 ácida, de 6,5 a 7,5 neutral y de 7,5 a 14 alcalina (Contreras & Perez, 2016).

### **2.7.5 Sólidos suspendidos.**

Son compuestos inorgánicos que se hallan en el agua, metales pesados, sales y algunos rastros de materia orgánica que se disuelven en el agua. Constituyen el material soluble y

coloidal, usualmente para su remoción se necesita coagulación u oxidación biológica y sedimentación (Molina & Tigreros, 2005).

#### **2.7.6 Sólidos sedimentables.**

Es la cantidad de volumen de sólidos asentados en la base de un cono *imhoff* en el lapso de una hora, es decir, representa la cantidad de fango removible por sedimentación simple, comúnmente se representa en ml/l (Molina & Tigreros, 2005).

#### **2.7.7 Sólidos totales.**

Hace referencia a todo solido tanto disuelto o suspendido que se encuentra en el agua. Los análisis de estos solidos son importantes para el control de procesos de tratamientos biológicos y físicos en aguas residuales. Los sólidos totales se especifican como partículas restantes después de evaporar el agua a 105 °C (Carpio et al., 2017).

### **2.8 Tratamiento de lixiviados.**

Existen varios procesos comunes con los que se puede dar tratamiento a los lixiviados producidos en rellenos sanitarios como:

#### **2.8.1 Proceso fisicoquímico.**

Estos procesos fisicoquímicos se utilizan como pretratamiento o tratamiento total de los lixiviados principalmente cuando se requiere la remoción de compuestos de peso molecular elevado. Ciertos procesos solo modifican el pH, para condicionar al lixiviado para tratamientos posteriores. En algunas ocasiones este método se emplea para la remoción de sólidos en suspensión, partículas coloidales, material flotante, color y otros compuestos por flotación, floculación-coagulación, adsorción y oxidación química, los lixiviados a los que se realiza este proceso por lo general son viejos (mayores a 10 años) por su baja biodegradabilidad (Reyes, 2015; Astorga del Canto, 2018).

#### **2.8.2 Flotación.**

Es un método utilizado para la disociación de partículas sólidas o liquidas de baja densidad de un líquido. Esto se logra incorporando burbujas de aire en el agua a tratar, las mismas que se integran a las partículas y la fuerza ascendente del aire como de las partículas, las llevan a la

superficie y de esa forma se puede remover partículas de densidad menor a la del líquido (Méndez Novelo et al., 2008).

### **2.8.3 Coagulación-floculación.**

Este mecanismo se lleva a cabo con la adición de reactivos químicos para eliminar partículas suspendidas en este medio acuoso denominado lixiviado, compuesto por disoluciones contaminantes sólidas y líquidas, en especial en lixiviados de rellenos sanitarios viejos, este método es utilizado como un pretratamiento a los procesos biológicos para optimizar la muestra y como etapa final para eliminar compuestos no biodegradables. En ciertos procesos las sales metálicas y/o polielectrolitos favorecen a la aglomeración de flóculos e incrementan la velocidad de sedimentación y su fácil separación del lixiviado tratado, lo que denota de forma positiva en la eficiencia del proceso de coagulación-floculación (Renou et al., 2019; Llano et al., 2014).

Por otro lado, existen varios tipos de coagulantes que se pueden emplear tales como sales de aluminio o hierro, cal y polímeros conocidos también como polielectrolitos, que involucran procesos de coagulación, floculación y sedimentación, estas reacciones fisicoquímicas logran desestabilizar los componentes de la disolución para favorecer la conjugación de grumos formados por la agregación de sólidos, con este sistema se puede remover un 75% de sólidos suspendidos, sin embargo, no son favorables a la eliminación de materia orgánica (Vilar, 2015).

### **2.8.4 Sistemas de membranas.**

Este es un sistema que ha sido muy estudiado en los últimos años ya que su implementación se ve frecuentemente implementada en el tratamiento de agua potable, aguas residuales domésticas e industriales e inclusive en los lixiviados de rellenos sanitarios. En estos se encuentran procesos de microfiltración y ultrafiltración, que se pueden emplear en conjunto con procesos biológicos de tratamiento aerobios y la nanofiltración, para la remoción de sustancias precipitables, la osmosis inversa y osmosis directa (Martinez-Lopez et al., 2014), e incluso la pervaporación, esta última consiste en la separación de sustancias líquidas basada en membranas, donde el líquido reposa en el lado de adsorción de la membrana donde se da la difusión de los compuestos de la mezcla a través de la membrana, mientras que un vacío o gas de purga se aplica por el otro lado (lado permeado) provocando la desorción de sustancias y emergiendo en fase de vapor (Echevarría Villa et al., 2017).

### **2.8.5 Proceso biológico.**

Los procesos biológicos son generalmente empleados para el tratamiento de aguas, estos procesos se basan en potenciar la capacidad de autodepuración de las aguas residuales a partir de los microorganismos presentes en ellas, según su tolerancia al oxígeno se pueden catalogar en aeróbicos y anaeróbicos, tomando en cuenta si el proceso de digestión necesita o no aporte de oxígeno, aunque algunos sistemas de tratamiento biológicos son extensivos en espacio los más utilizados son sistemas naturales (carrizales y lagunajes), lodos activados, reactores biológicos, reactores de membrana y la evaporación todos estos destacan por su eficacia en la eliminación de compuestos orgánicos de los lixiviados (Morató & Peñuela, 2017).

### **2.8.6 Tratamiento aerobio.**

Este tratamiento ayuda a la descomposición de materia orgánica que contienen los lixiviados en sustancias más simples a través de microorganismos aeróbicos, que demandan altos volúmenes de oxígeno por lo que se requiere una aireación en forma continua para evitar zonas anóxicas, cumpliendo también la función de agitación y mejorando la funcionalidad del sistema. Durante este proceso se forman sólidos decantables que se separan con facilidad del medio líquido, este tratamiento requiere de ciertas funciones estables como carga orgánica, concentración de nutrientes, pH, entre otros, se utiliza para procesos que necesitan una mínima concentración de DBO y DQO (Corona, 2008; Morató & Peñuela, 2017).

### **2.8.7 Tratamiento anaerobio.**

Empleado en el tratamiento de lixiviados cuando existe alta concentración de materia orgánica biodegradable, este mecanismo desarrolla el mismo proceso de depuración por vía aerobia, pero esta vez el oxígeno es inhibitorio y su metabolismo se desarrolla en la ausencia de este componente generando menor cantidad de lodos presentando una síntesis bacteriana lenta, soportando una carga orgánica alta por la ausencia de limitantes como es el suministro de oxígeno ocasionando que los tiempos de residencia sean por periodos más extensos. La ventaja en este tipo de tratamiento es la simplicidad en el sistema de tratamiento con bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, el aprovechamiento de biogás para la generación de energía. Sin embargo, se debe tener en cuenta la toxicidad ya que se verán afectados los microorganismos que intervienen en el proceso de tratamiento (Reyes, 2015; Romero, 2017).

### **2.8.8 Recirculación de lixiviados.**

La recirculación de lixiviados ha sido implementada con mayor frecuencia en los últimos años debido a su bajo costo. Esta tecnología se adopta en lugares donde la evaporación es superior a la precipitación, ya que se reduciría los volúmenes de los lixiviados y acelera la biodegradación (Chamem et al., 2020). Este método es considerado de control, ya que el lixiviado está en continuo flujo a través del relleno aumentando el contenido de humedad, distribución de nutrientes y enzimas acortando el tiempo de estabilización de varias décadas, mejorando la calidad del lixiviado, aumentando la tasa de degradabilidad y la recuperación de metano (Ledakowicz & Kaczorek, 2004).

## **2.9 Marco legal.**

### **2.9.1 Constitución de la República del Ecuador 2008.**

Es la norma suprema a la que se rige toda la legislación ecuatoriana, la cual fue puesta en vigencia en el año 2008 donde uno de sus artículos más trascendentales es el 14: La población tiene el derecho fundamental a vivir en un entorno saludable y ecológicamente sustentable y sostenible, garantizando a los ecuatorianos un desarrollo sostenible y un Buen Vivir, conocido como Sumak Kawsay o Madre Tierra, donde se da a conocer el interés nacional en la preservación, conservación, prevención y recuperación del entorno natural en el que habitamos (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

Por su parte el Artículo 15 en el cual da principal atención al uso de biotecnologías e impulsa el aprovechamiento de tecnologías limpias, el uso de energías alternativas de mínimo o nulo impacto ambiental, prohíbe la producción y uso de contaminantes orgánicos tóxicos, las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos que perjudiquen la soberanía alimentaria y/o alteren los ecosistemas. Por otro lado, el artículo 71 ampara los derechos de la naturaleza o la Pacha Mama como un ente que amerita respeto por su existencia garantizando sus ciclos normales, estructuras, funciones y procesos evolutivos, ya que es donde se reproduce y se sustenta la vida (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

Desde lo operativo es importante mencionar que en el Artículo 264 responsabiliza a los municipios como prestadores de servicios básicos, cuyo inciso cuarto expone “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de

desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

En lo que respecta al tema de suelos nos da a conocer en el artículo 409 la existencia de una normativa ambiental, como una prioridad nacional y de interés público la protección y el uso razonable del suelo que prevenga la erosión, cuyas consecuencias son por causa de la contaminación, la desertificación y la degradación, motivo por la cual se debe poner especial atención a la capa fértil del suelo (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008).

Así también, el Artículo 415 señala que los gobiernos autónomos descentralizados establecerán proyectos sobre el uso del agua de forma racional, impulsar el reciclaje y el manejo correcto de residuos sólidos y líquidos (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008)

### **2.9.2 Agenda 21.**

En un plan propuesto por la Organización de las Naciones unidas (ONU) que fue aprobado en Rio de Janeiro en 1992 para impulsar la sostenibilidad a nivel internacional con todos los países del mundo, constituyéndose como una estrategia de sostenibilidad y respeto hacia el medio ambiente regulando y ejecutando políticas medioambientales. El Ecuador se suscribió en la agenda 21 en el año 1996. Contiene temas con relación a los residuos sólidos en la sección II, que consiste en emplear nuevas tecnologías de bajo impacto ambiental, considerando el uso de reservas naturales renovales de forma sustentable, el reciclaje de residuos y productos, y la gestión integral de residuos sólidos con énfasis en la disposición final adecuada (Bustos & Chacón, 2009).

### **2.9.3 Código Orgánico Ambiental (COA).**

El código orgánico ambiental está en vigencia desde abril 2018 en el cual destaca la gestión de residuos sólidos por medio de los siguientes artículos:

En el Artículo 9 numeral 2 establece que el estado debe promover en los sectores públicos y privados, desarrollar y potenciar el uso de energías limpias por medio de nuevas tecnologías con el objetivo de reducir los impactos ambientales, sus actividades productivas, el ciclo de vida de

los productos, y el manejo de los residuos desde su inicio hasta la etapa final de producción (COA, 2018).

En el artículo 27 Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) numeral 6: “Elaborar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos o desechos sólidos”, mientras que en el numeral 7 plantea “Generar normas y procedimientos para la gestión integral de los residuos y desechos para prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos, según corresponda” (COA, 2018).

El COA dispone en todo el TITULO V para la “Gestión Integral de Residuos y desechos” teniendo como objetivo brindar información básica y útil para las partes interesadas en la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos (COA, 2018).

#### **2.9.4 Reglamento al Código Orgánico Ambiental.**

De acuerdo con el Reglamento al Código Orgánico Ambiental establece en el libro tercero dedicado a la calidad ambiental, título II de la prevención de contaminación ambiental acoge a la regularización de construcción de obras, con opciones a rediseños de proyectos para conseguir una viabilidad ambiental como destaca el Art. 461 correspondiente a las normas de calidad ambiental que define los lineamientos para garantizar la calidad ambiental de los seres bióticos, abióticos y límites permisibles y en el título VII, que hace referencia a Gestión integral de residuos y desechos en los Artículos 560, 561, 562, 565, 566, sostiene el debido manejo de residuos sólidos y desechos no peligrosos y las competencias que tienen los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) en la gestión y modificación de los planes de gestión integral de residuos sólidos lo cual deberá ser notificado a la autoridad ambiental y los artículos 574 al 611, que dispone de la responsabilidad en la prestación de servicio de barrido y limpieza, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos, y seleccionar alternativas óptimas que consideren diseños y técnicas ambientales, económicas y sociales para un correcto cierre técnico del relleno sanitario (RCOA, 2019).

#### **2.9.5 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (COOTAD). Reformado el 21 de mayo del 2018.**

El COOTAD en el Artículo 55 indica las responsabilidades exclusivas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales con énfasis en los incisos:

- a) Planificar, junto con otras instituciones del sector público y actores de la sociedad, el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural, en el marco de la interculturalidad y plurinacionalidad y el respeto a la diversidad. (COOTAD, 2018)
- d) “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (COOTAD, 2018).

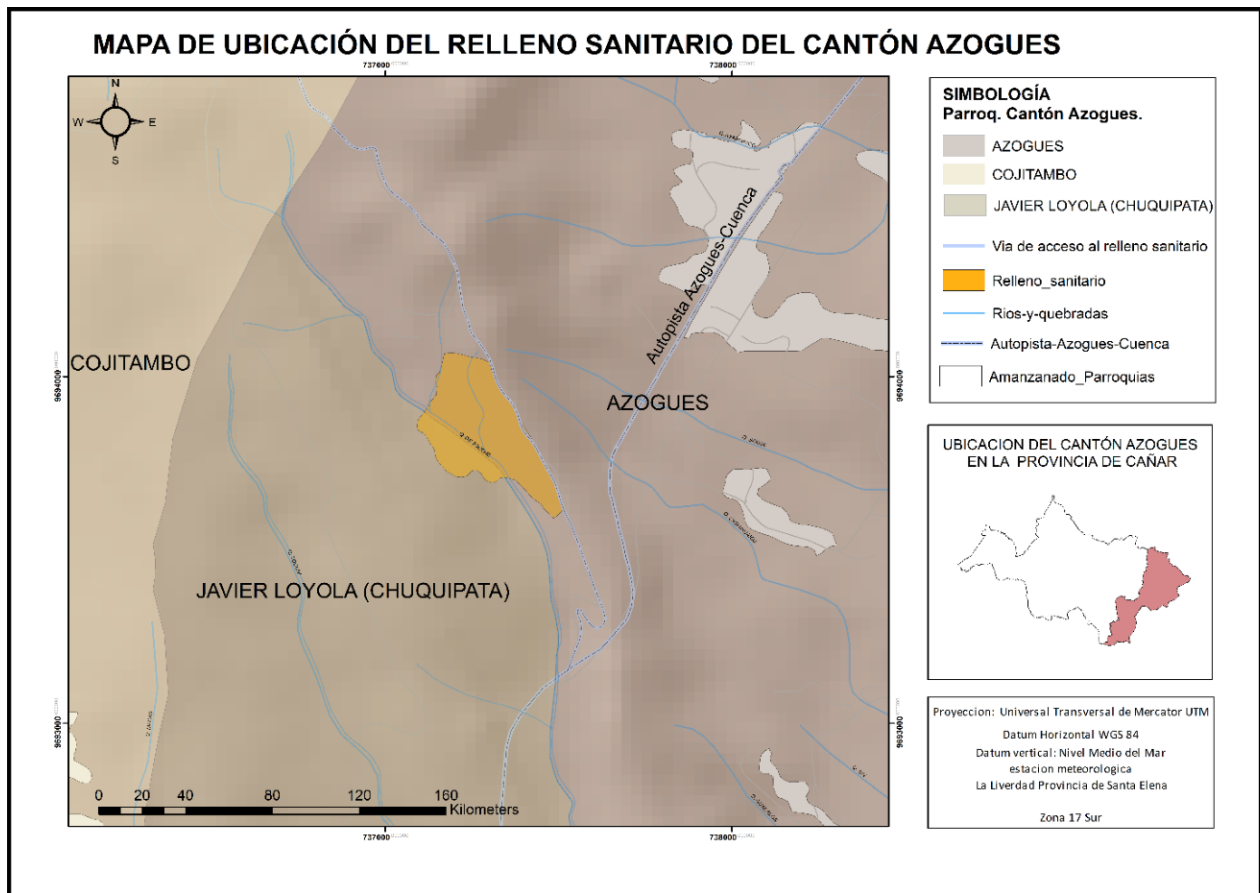
## CAPITULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Zona de estudio.

El Complejo Ambiental se localiza a 4,6 km del centro urbano de la ciudad de Azogues, en el sector de Chapte perteneciente a la parroquia Cojitambo con coordenadas UTM-WGS84 (X:736913, Y: 9693525). La cota más alta del área de estudio es de 2.600 msnm y la más baja es 2.480 msnm, presentando una pendiente de entre 15 y 30 % emplazado en una depresión formada por el valle de la quebrada de Tocche. El relleno sanitario entró en funcionamiento desde el año 2.010 con una vida útil de 19 años, para asegurarse que los lixiviados producidos en el relleno sanitario sean debidamente captados y evacuados hacia el sistema de tratamiento y almacenamiento, cuenta con tres niveles de terrazas cada una con su sistema de drenaje de lixiviado los cuales son conectados a pozos de revisión a través de una tubería de 600 mm que conduce al sistema de tratamiento que consta de un decantador, tanque de tormentas, laguna de aireación y laguna de maduración (GAD Municipal del cantón Azogues, 2008).

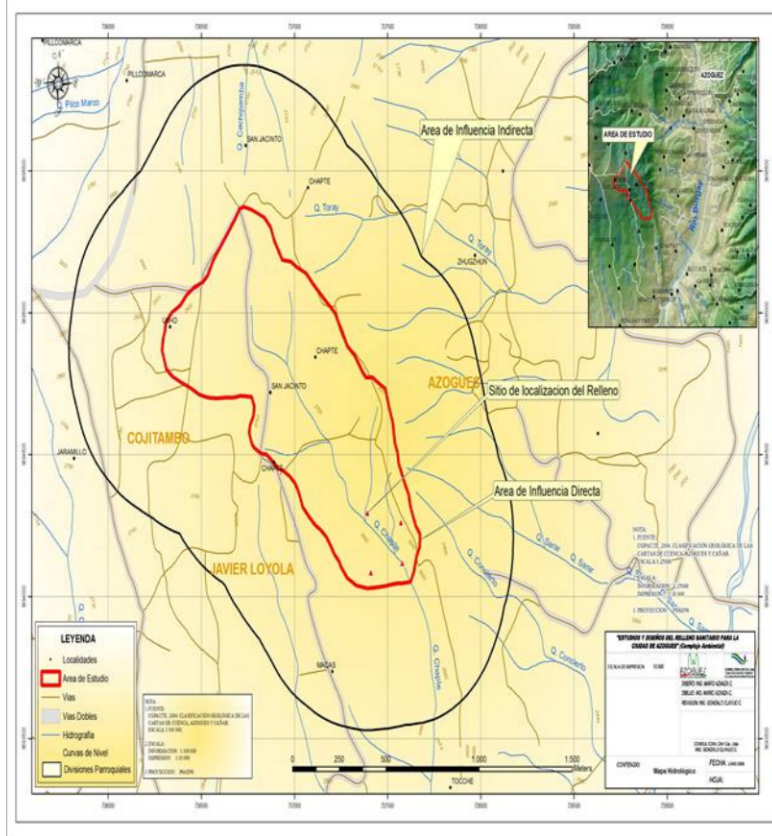
En el siguiente mapa se muestra la ubicación del relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues.



Fuente: GAD Municipal del cantón Azogues.

De acuerdo a la Ordenanza que Reglamenta el Uso del Suelo Urbano y Rural del Cantón Azogues, aprobada el 29 de Agosto de 2005, el sector de Chapte Zona tres- Z3- en la que se encuentra ubicado el proyecto se constituye en zona de uso condicionado EPM, es decir, categoría especial E, tipología Zonal en la que la actividad que puede implementarse dentro de esta zona puede estar destinada para equipamiento de servicios públicos a escala de ciudad o región “para el tratamiento de desechos sólidos, líquidos, gasoducto, oleoducto y similares”, mismas que es administrado por la dirección de Higiene de la Municipalidad de Azogues (GAD Municipal del cantón Azogues, 2008).

En el siguiente mapa se muestra las zonas de influencia directa e indirecta del relleno sanitario del cantón Azogues.



Áreas de influencia directa e indirecta del relleno sanitario Chapte-Toray.

Fuente: GAD Municipal del cantón Azogues.

En el Ecuador la gestión de residuos sólidos es exclusivo de los gobiernos autónomos descentralizados municipales, en ese marco para el año 2016 un total de 43 % correspondiente a 96 GAD municipales vertieron sus residuos sólidos en rellenos sanitarios, el 36% correspondiente a 79 municipios dispusieron en botaderos, y el 21 % correspondiente a 46 municipios colocaron sus desechos sólidos en celdas emergentes (Consejo Nacional de Competencias (CNC), 2019; INEC, 2019). Es significativo acotar que el Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador (MAAE) muestra datos evolutivos a través del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) destaca que en el año 2019 según las declaraciones de los GAD municipales en la actualidad el 48.2 % vierten sus desechos en rellenos sanitarios el 32,7 % en celdas emergentes y el 19,1 % en botaderos, denotando una tendencia a la baja de botaderos y una tendencia al alza de celdas emergentes y rellenos sanitarios (INEC, 2019). Es decir que el 80,9 % de municipalidades a nivel nacional disponen su basura de una forma adecuada cumpliendo con la normativa ambiental vigente.

En el caso del relleno sanitario del cantón Azogues que está en funcionamiento desde el año 2010, recibe aproximadamente 50 toneladas diarias de residuos sólidos, funciona conjuntamente con una planta de tratamiento de lixiviados que los estabiliza, tiene un decantador, tanque de tormentas, laguna de aireación y otra de maduración. En la temporada de invierno la planta no da abasto para el tratamiento debido al aumento de caudal por las lluvias, los excedentes de lixiviados son vertidos directamente a la quebrada por medio de un conducto de desvío de exceso de lixiviado, el sistema de recirculación no está en funcionamiento debido a que en el estudio teórico da resultados satisfactorios los mismos que se han comprobado en países desarrollados, pero una vez implementado en campo la realidad es diferente, es decir, en cuestión de los residuos sólidos de países en vías de desarrollo produce residuos con mayor humedad debido a su bajo nivel de tratamiento en comparación con los países desarrollados, lo que aumentan la tasa de producción de gases generando presiones internas de fluidos, los resultados de este tratamiento no son viables ya que no tiene influencia significativa en el tratamiento de lixiviados y comprometen la estabilidad estructural de los taludes. Por ello es importante la implementación de sistemas de tratamiento de lixiviados generados en rellenos sanitarios que ocupen tecnología desarrolladas en el país y que asistan en su real dimensión la problemática de este tipo de contaminación en el Ecuador (Guevara et al., 2014; GAD Municipal de Azogues 2021).

### **3.2 Técnicas e instrumentos para la obtención de datos.**

#### **3.2.1 Descripción del procedimiento.**

##### **3.2.1.1 Muestreo.**

Un muestreo consiste en obtener una parte representativa de un cuerpo de agua, en este caso del lixiviado generado en el relleno sanitario Chapté-Toray conservando las cantidades relativas de todos los elementos en la muestra y que no presente cambios significativos en su composición previo a su análisis. Se llevó a cabo la recolección de muestras de lixiviado en el área de descarga antes del ingreso a la planta (entrada al decantador -Anexo 1-) con coordenadas UTM-WGS84 (X: 737363, Y: 9693762). Se realizó un muestreo puntual o simple, el cual representa las condiciones de un cuerpo de agua para el lugar, el tiempo y las circunstancias particulares en las que se hizo su recolección, se empleó dos recipientes de plástico de 25 litros que fueron llevados al Centro de Investigación e Innovación y Transferencia

de Tecnologías (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca para su debido tratamiento y determinación de sus propiedades fisicoquímicas.

### 3.3 Caracterización de lixiviado generado en el relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues.

#### 3.3.1 DQO.

La DQO se determinó por el mecanismo de espectrofotometría que es un método analítico utilizado para medir la cantidad de luz absorbida, el valor de cuya absorbancia se reflejara en las diferentes longitudes de onda, su efectividad dependerá de la estructura química de la molécula y las condiciones del medio (Clingsmith, 1984). En la figura 2 se muestra el procedimiento a seguir.

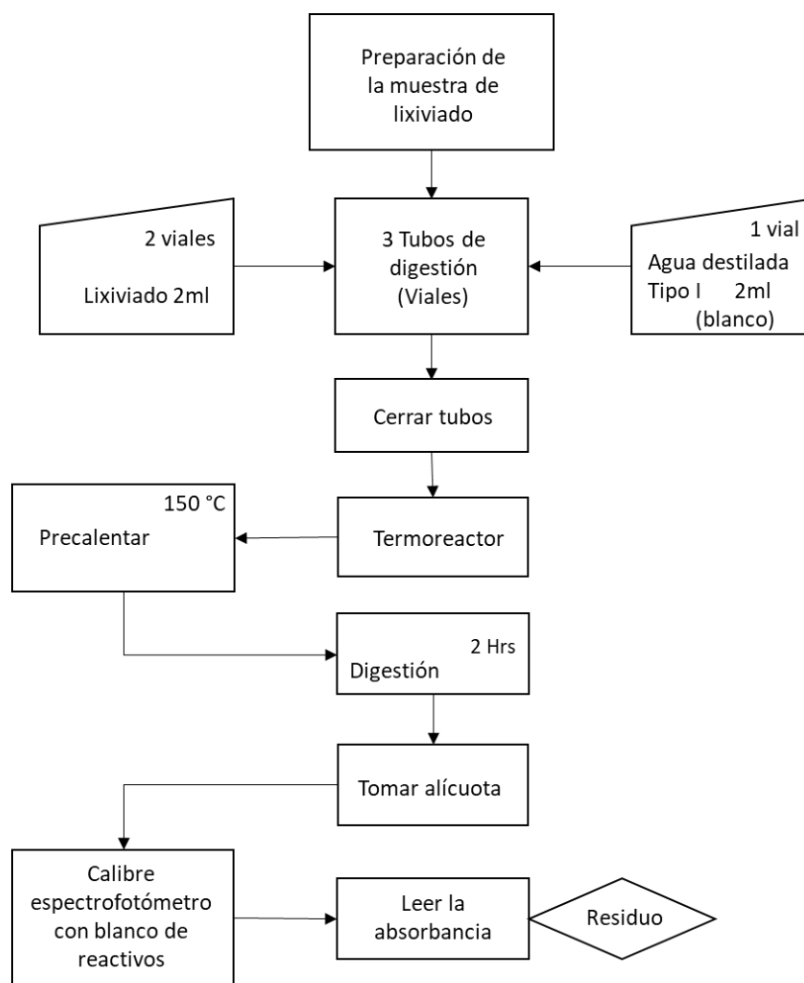


Figura 2: Diagrama para determinar la Demanda Química de Oxígeno.

### Equipo:

- Termoreactor para viales.
- Espectrofotómetro.

### Reactivos.

- Viales de digestión de DQO.

### Descripción del procedimiento.

- Para determinar este parámetro se empleó tres viales para DQO.
- Se preparó un vial blanco en el cual se añadió 2 ml de agua destilada tipo I.
- En los dos viales restantes se adicionó 2 ml de lixiviado en cada uno.
- Se procedió a precalentar hasta los 150 °C el termoreactor para viales.
- Se colocó los viales en el reactor a una temperatura de 150 °C por dos horas, luego se apaga el reactor y se dejó enfriar los viales a una temperatura de 20 °C.
- Se calibró el espectrofotómetro con un blanco (vial con agua destilada) y bajo la luz de onda necesaria.
- A continuación, se llevó los otros dos viales con lixiviado al espectrofotómetro y se registra los datos.

En la figura 3 se muestra el termoreactor empleado en el proceso.



Figura 3: Termoreactor para digestión de viales de DQO.

### 3.3.2 Turbidez.

Este proceso se da mediante un equipo llamado turbidímetro, el mismo que opera bajo el principio nefelométrico que determina la intensidad de la luz, el sensor se encuentra emplazado en un ángulo de 90 grados del rayo de luz incidente cuantificando la intensidad de luz atravesada por la muestra de agua (Hernández-García & Acebo-González, 2013). En la figura 4 se indica el esquema de camino de luz que ejecuta un turbidímetro.

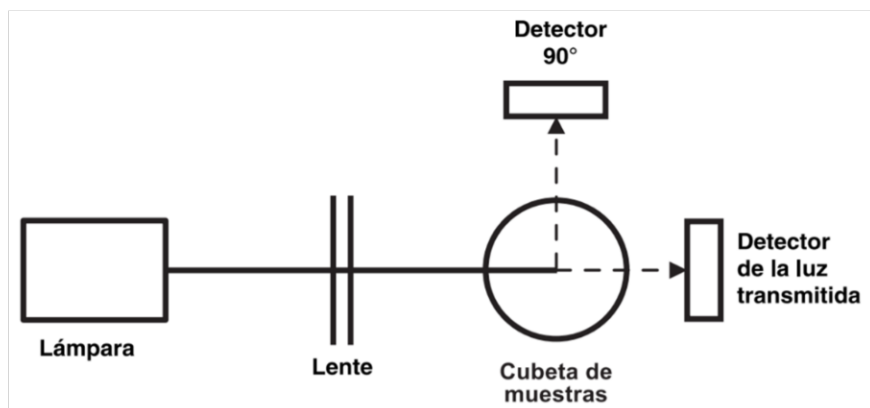


Figura 4: Esquema del camino de la luz en el turbidímetro.

Fuente: (Hach, 2004).

El procedimiento a seguir determinar la turbidez del lixiviado está en la figura 5.

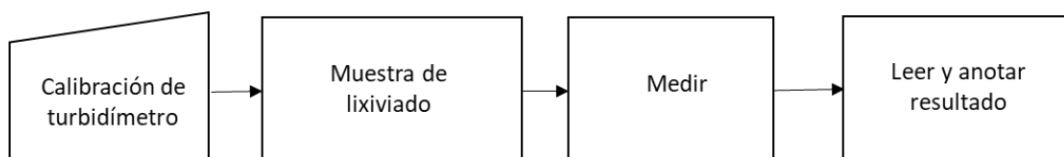


Figura 5: Diagrama para determinar la turbidez.

#### Equipos y materiales.

- Turbidímetro.
- Dos cubetas de vidrio propias para el equipo.
- Vaso de precipitación.

### Descripción del procedimiento.

- Se recogió una muestra en un vaso de precipitación limpio.
- Llenado de cubetas con 20 ml de lixiviado sujetando la cubeta por la parte superior.
- Se limpió las cubetas con un pañuelo limpio eliminando en su mayoría las manchas de agua y posibles huellas dactilares.
- Se introdujo la cubeta con la muestra en el compartimiento del equipo y se procedió con el registro de los datos obtenidos.

En la figura 6 se muestra el equipo empleado para la medición de turbidez.



Figura 6: Turbidímetro Hach 2100Q

### 3.3.3 Color.

Se procedió a medir los datos para conocer la cantidad inicial en el lixiviado, dicha muestra presenta datos muy elevados de color, se realizó su dilución correspondiente, al finalizar se multiplicó por el número de veces que se diluyó. Este proceso se efectuó para cada día de análisis de la misma manera. El procedimiento a seguir se muestra en la figura 7.

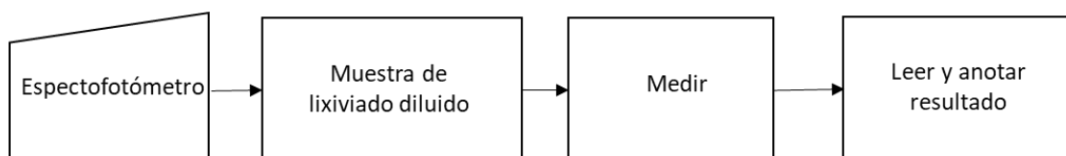


Figura 7: Diagrama para determinar el parámetro Color.

### Equipos y materiales.

- Espectrofotómetro.
- Cubetas de vidrio.
- Probeta.
- Vaso de precipitación.

### Descripción del procedimiento.

- Debido a la alta carga orgánica se diluyó la muestra de lixiviado de 5:1, es decir, 40 ml de agua destilada tipo 1 en 10 ml de lixiviado.
- Se tomó 10 ml de la muestra diluida en un cubeto de vidrio y es medido en el espectrofotómetro.

En la figura 8 se muestra el equipo emplead para la determinación de color.



Figura 8: Espectrofotómetro UV-VIS DR6000

### 3.3.4 pH.

La medida del pH del lixiviado obtenido no presentaron variaciones significativas ya que es un lixiviado alcalino. En la figura 9, se muestra cómo se lleva a cabo su medición.

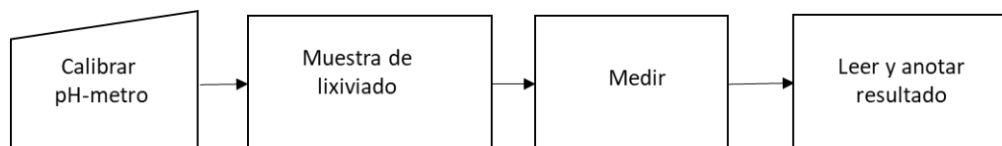


Figura 9: Diagrama para determinar el pH.

### Equipos y materiales.

- pH-metro.
- Vaso de precipitación de 1000 ml.
- Agua destilada.

### Descripción del procedimiento.

- Con el pH-metro previamente calibrado se procedió a tomar el pH de la muestra.
- Se introdujo la sonda en el vaso de precipitación que contiene la muestra de lixiviados.
- Se anotó los datos de pH leídos en el equipo.
- Se lavó la sonda del pH-metro con agua destilada.

En la figura 10 se puede observar el equipo y la toma de muestra de pH.



Figura 10: Medición de pH de las muestras de lixiviados.

### 3.3.5 Sólidos suspendidos (SS).

Para encontrar la cantidad de sólidos suspendidos se realizó filtración mediante una bomba al vacío. Para este caso se pone 50 ml de lixiviado. En la figura 11 se indica el proceso que se realizó para determinar este parámetro.

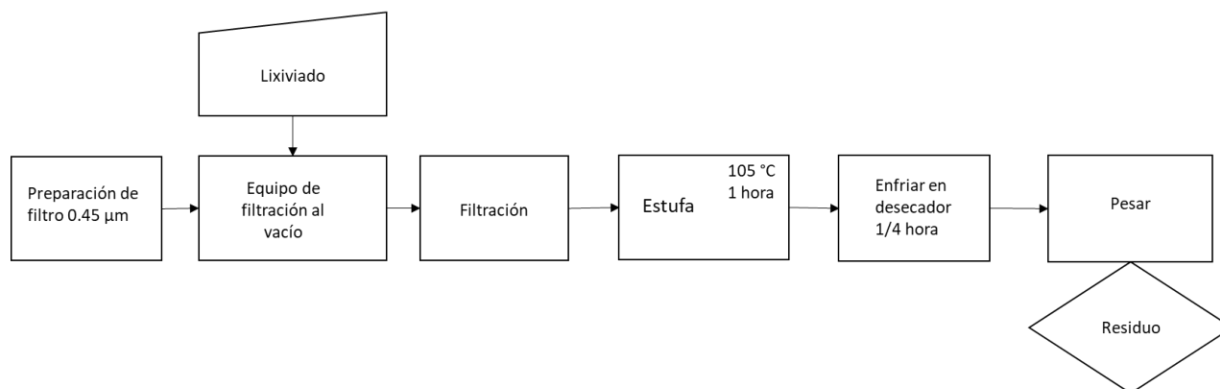


Figura 11: Diagrama para determinar solidos suspendidos.

#### Equipos y materiales.

- Crisol de porcelana.
- Pinza.
- Estufa.
- Filtro fibra de 0,45 μm.
- Balanza analítica.
- Probeta.
- Bomba de vacío.
- Desecador.

#### Descripción del procedimiento.

- Se procedió a quitar la humedad del crisol, poniéndolo en la estufa durante 15 minutos y 10 minutos en el desecador.
- Sacándolo del desecador se llevó a la balanza analítica para determinar su peso inicial con filtro.
- Después de haber pesado, se llevó el filtro o fibra a la bomba de vacío y se le agrega 50ml de lixiviado hasta que se filtre y quede un gran porcentaje de sólidos en el filtro.

- Luego se sacó el filtro con mucho cuidado y se lo deposita en el crisol.
- Teniendo el filtro con los sólidos de la muestra se lo llevó a la estufa por una hora a una temperatura de 105 °C.
- Una vez fuera de la estufa se dejó en el desecador entre diez y quince minutos, luego se pesó en la balanza analítica (peso final).
- Cálculo.

$$SS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{P_{caps.+P_{filt.+SS}} - P_{caps} - P_{filt.}}{V} \quad (1)$$

Donde:

Pcaps: Peso de la cápsula.

Pfilt: Peso del filtro.

Pfilt+SS: Peso del filtro y sólidos suspendidos.

V: Volumen.

En la siguiente figura se muestra la filtración mediante una bomba al vacío.



Figura 12: Bomba de filtración al vacío.

### 3.3.6 Sólidos totales (ST).

La determinación de sólidos totales se llevó a cabo conforme al esquema de la figura 13.

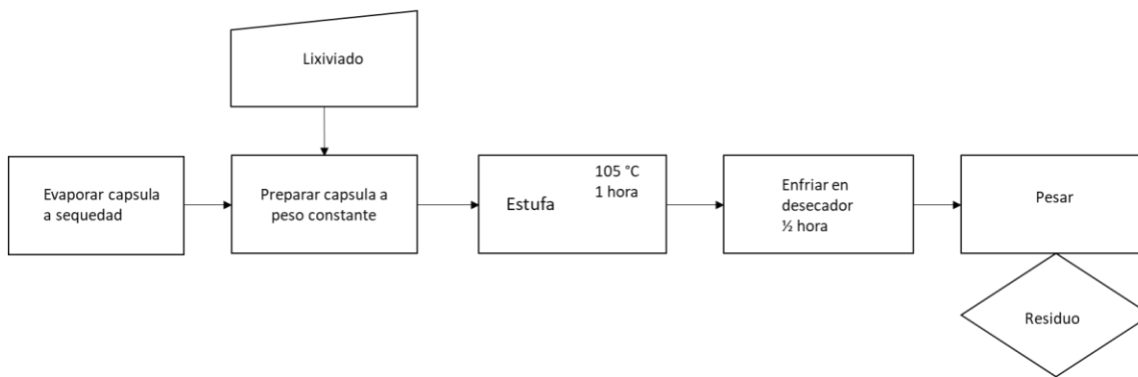


Figura 13: Diagrama para la obtención de Sólidos Totales.

#### Materiales y equipos.

- Crisol de porcelana.
- Estufa.
- Probeta.
- Balanza analítica.
- Desecador.

#### Descripción del procedimiento.

- Se procedió a quitar la humedad de los crisoles en la estufa durante 15 minutos a 105°C y 10 min en el desecador.
- Sacándolo del desecador se lo llevó a la balanza analítica para determinar su peso inicial.
- Luego se adhirió 10ml de lixiviado y se pone en la estufa a evaporar a 105 °C durante una hora.
- Sacándolo de la estufa se dejó en el desecador entre diez y quince minutos, luego se pesó en la balanza analítica (peso final).
- Cálculo.

$$ST = \frac{P_{cap+ST} - P_{cap}}{V} \quad (2)$$

Donde:

P<sub>cap</sub>: Peso de la cápsula.

ST: Sólidos Totales.

V: Volumen.

En la figura 14 se indica el material y el equipo empleado para este parametro.

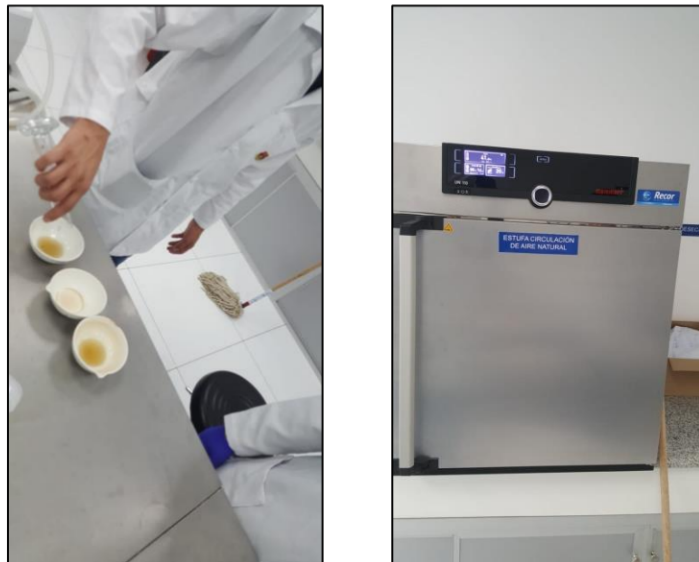


Figura 14: Muestra para determinar solidos totales.

### 3.3.7 Prueba de sedimentabilidad.

La determinación de solidos sedimentables se realizó según la figura 15.

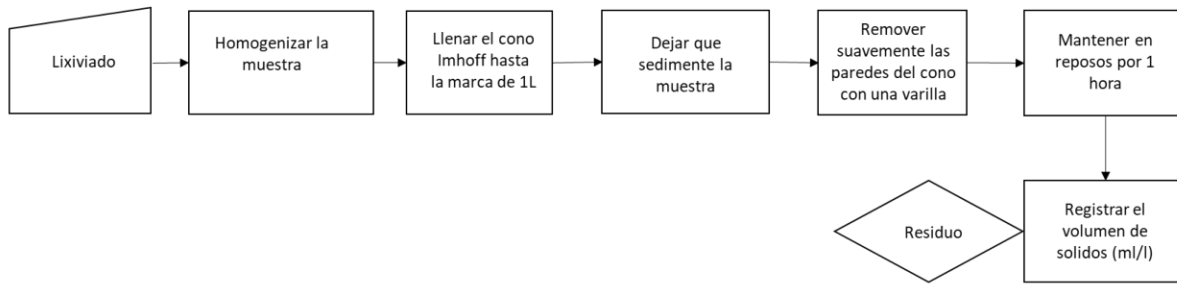


Figura 15: Diagrama para determinar solidos sedimentables.

### Equipos y materiales.

- Cono imhoff.

### Descripción del procedimiento.

- Se utilizó 1000 ml de lixiviado en el cono de imhoff, en el lapso de una hora se pudo determinar la cantidad de sólidos sedimentables. En la figura 16 se muestra el recipiente empleado para determinar este parámetro.

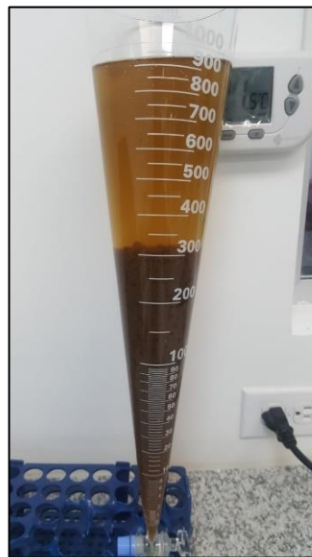


Figura 16: Cono Imhoff.

### **3.3.8 Prueba de jarras.**

En este ensayo se realizó una serie de dosificaciones crecientes de coagulante en distintos vasos de lixiviado a ensayar, fijando después de un periodo de agitación adecuado la cantidad de coagulante necesario a sus características y propiedades físicas y químicas para la determinación de una coagulación óptima.

#### **Equipos y materiales.**

- Coagulante cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).
- Matraz de aforo.
- Agitador magnético con calefacción.
- Vaso de precipitación.
- Balanza analítica.
- Agitador mecánico múltiple.

#### **Descripción del procedimiento.**

- Se procedió a pesar el coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) en la balanza analítica.
- Se colocó en un vaso de precipitación con 200 ml de agua en el agitador magnético con calefacción a una temperatura de 80 °C para diluir el coagulante y mezclarlo con el agua.
- Luego se depositó en el matraz y aforar hasta 1000 ml.
- Para determinar la dosificación óptima se realizó varias pruebas en el agitador mecánico a diferentes dosificaciones con un intervalo de 7,5 ml de coagulante en 1500 ml de lixiviado, llegando a una dosificación óptima de 60 ml tomando en cuenta que fue la ideal para la floculación, sedimentación y color del lixiviado tratado.
- Mezcla rápida: Para la mezcla del coagulante con el lixiviado se realizó a 125 rpm en 1 minuto.
- Mezcla lenta: Para formación de flóculos a una velocidad de 20 rpm durante 20 minutos.
- Dosificación: 60 ml de coagulante disuelto en 1500 ml de lixiviado.
- Por último, se dejó sedimentar por 10 minutos.

En la figura 17 se muestra el equipo empleado para estas pruebas.



Figura 17: Jar test.

### 3.3.9 Reactor biológico.

#### Equipos y materiales.

- Compresor.
- Bomba de agua.
- Mangueras de 1/2 pulgada y 1/8 de pulgada.
- Decantador.
- Tanque de almacenamiento 40 litros.

#### Descripción del procedimiento.

Se procedió a llenar el reactor con el lixiviado previamente tratado en el jar test (excluyendo el fango) para realizar un tratamiento biológico, con circulación continua y suministro de aire constante, donde se añadió fango obtenido de la planta de tratamientos de agua residual de Cuenca "Ucubamba". El mismo que se dejó operando durante 23 días para la recaudación de datos. En la figura 18 se muestra el reactor construido en el laboratorio.

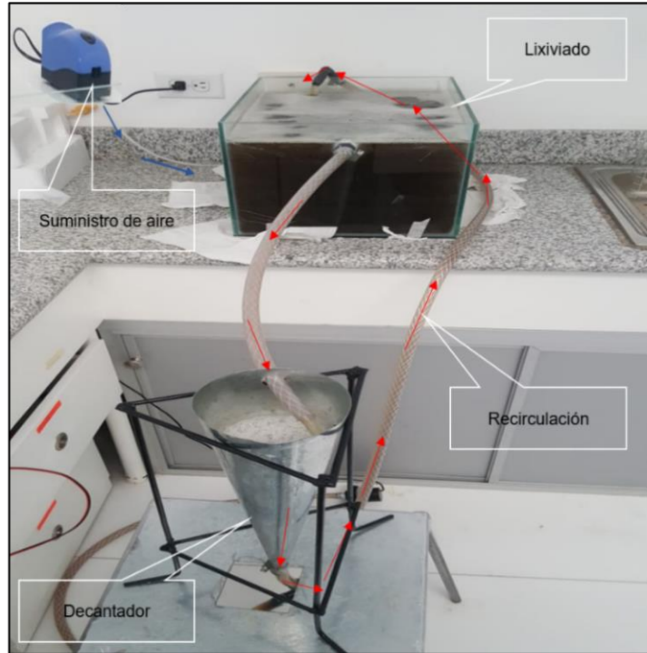


Figura 18: Reactor biológico implementado en el CIITT.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del reactor biológico a escala laboratorio facilita la aplicación y combinación de diversas técnicas que permiten combinar tratamientos para la implementación del método más adecuado, que depende directamente de las características de los lixiviados. Como bien se ha demostrado en otros estudios de tratamiento dando resultados favorecedores al tratamiento de lixiviados como manifiesta (Yong et al., 2018) donde se ha determinado que la remoción de carga orgánica tiene una eficacia del 84,9% en el lixiviado del relleno sanitario de Papan en Perak, Malasia con la combinación de tratamiento biológico y fisicoquímico al igual que (Cuyotupa, 2017), que logro una remoción de 81,11% de carga contaminante en un reactor biológico a escala laboratorio implementado en la Universidad Nacional del Centro de Perú factible para el tratamiento de aguas industriales.

Los métodos físico-químicos no favorecen el tratamiento de lixiviados jóvenes menores a 5 años por su alta biodegradabilidad, estos se recomiendan para el tratamiento de lixiviados más

viejos mayores a 10 años ya que son lixiviados estabilizados (S. Q. Aziz et al., 2014; Moradi & Ghanbari, 2014), en contraste con los lixiviados del relleno sanitario Chapte –Toray que tienen una edad de aproximadamente 11 años, ésta es una de las causas de mayor influencia en las características de los lixiviados dándose fases como: transición de 0 a 5 años, formación de ácidos de 5 a 10 años, fermentación de metano de 15 a 20 años y maduración final mayor a 20 años (S. Aziz, 2013; Kostova, 2006).

Las características de los lixiviados son muy variables ya que se constituye por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua o por su dinámica de descomposición. Los análisis de la toxicidad de los lixiviados demuestran la nocividad para el medio ambiente, los vertederos pueden fallar y contaminar agua subterránea o superficial que son utilizadas para la agricultura en áreas adyacentes. El impacto de los rellenos sanitarios en los ecosistemas se define mediante análisis fisicoquímicos de lixiviados, su toxicidad difícilmente puede predecirse por su composición específica (Vaverková et al., 2020). A continuación, en la tabla 1 se presenta la caracterización del lixiviado del relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1: Caracterización de lixiviado.

| Parámetros      | Valores de muestras |      |      | Valores promedios |
|-----------------|---------------------|------|------|-------------------|
|                 | M-1                 | M-2  | M-3  |                   |
| pH              | 8,1                 | 8,1  | 8,1  | 8,1               |
| DQO (ml/l)      | 1449                | 3352 | 3381 | 2727              |
| Turbidez (NTU)  | 162                 | 163  | 167  | 164               |
| Color (UC)      | 1985                | 2080 | 2275 | 2113              |
| Solidos Totales | 555                 | 570  | 565  | 563               |

Con el análisis experimental en el reactor biológico a escala laboratorio se obtuvo datos durante 23 días, dichos análisis de lixiviado crudo fueron realizados en el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) laboratorios de la Universidad Católica de Cuenca. Para la obtención de datos de laboratorio se realizaron tres repeticiones por cada parámetro para disminuir el margen de error en los resultados, que fueron promediados para su interpretación en el funcionamiento del proceso a lo largo del tratamiento.

La muestra de lixiviado fue sometida a un tratamiento fisicoquímico para determinar la dosificación de coagulante necesario, es fundamental la prueba de jarras (-Anexo 2-), técnica usada en el tratamiento de aguas residuales y agua potable para optimizar la adición de coagulante (Kurniawan et al., 2006; Rui et al., 2012). Para el lixiviado proveniente del relleno sanitario de Azogues se realizó la prueba de jarras en un equipo con capacidad de cuatro recipientes de 1 500 ml cada uno, en los cuales se les agregó 60 mg/l de  $\text{FeCl}_3$  siendo este el valor óptimo de coagulante luego de varias pruebas, logrando eliminar hasta el 48,84% de DQO, 76,82% de turbidez y 40,13% de color.

#### **4.1 Tratamiento Biológico.**

Se efectuó análisis de lixiviado en los días 3, 5, 11, 15, 20 y 23, obteniendo datos de variación de DQO, turbidez, color para determinar su comportamiento. Se realizaron tres repeticiones de cada parámetro por día de análisis, dando como resultado datos semejantes, es decir, que no existe una variabilidad significativa de los datos medidos de cada parámetro, por lo tanto, se puede promediar, ya que carecen de datos atípicos, como se muestra en las figuras 19, 20, 21. Cabe recalcar que el día uno muestra la caracterización de los lixiviados sin tratamiento, previo al ingreso al reactor biológico. En el día tres se añadió 50 g de fango activado obtenido de la planta de tratamientos de agua residual de Cuenca para una degradación microbiana con recirculación continua del lixiviado e inyectando aire constantemente.

La figura 19 muestra la dispersión de datos según la actuación sometido el lixiviado donde se puede apreciar la dinámica de la acción del tratamiento fisicoquímico como pretratamiento en el día 3, y la actuación de microorganismos en el tratamiento biológico a lo largo de los días en el reactor por lo que se ve una disminución en la cantidad de DQO hasta el día 20, sin embargo para el día 23 se observó el ascenso de la cantidad de DQO debido a que el sustrato biodegradable se extinguió provocando la muerte de las bacterias con dispersión de datos uniforme.

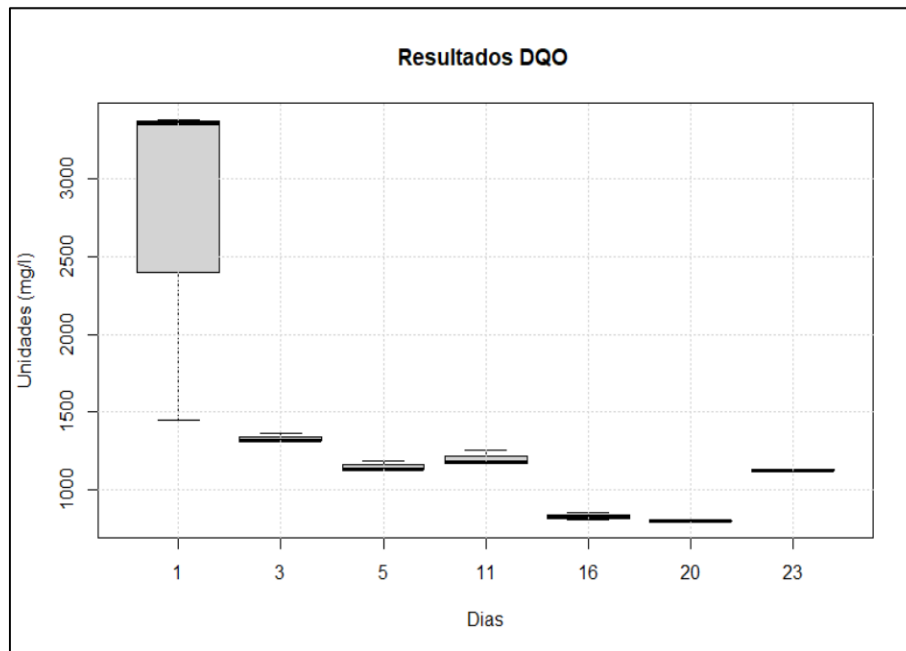


Figura 19: Diagrama de Cajas para datos de DQO.

La figura 20 muestra una dispersión reducida de la carga contaminante, es decir, una disminución significativa de la turbidez que a lo largo del tratamiento, se puede determinar que los procesos de remoción de turbidez y el comportamiento de los datos mantienen sinergias similares.

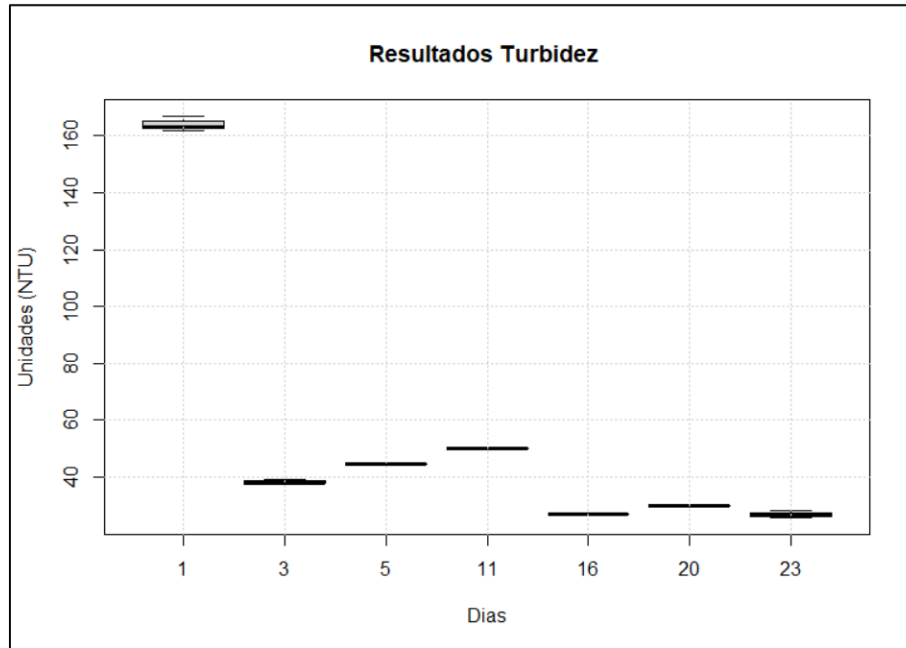


Figura 20: Diagrama de cajas de datos de Turbidez.

Para los datos de color como muestra la figura 21 se considera una dispersión mayor que los parámetros anteriores debido a que su remoción es más compleja, ya que se compone de todo tipo de materia que no reacciona fácilmente a los procesos, el cual en el día 3 se aprecia un porcentaje bajo que fue alterado debido al tratamiento biológico dándose diversas variaciones y dispersión en los datos los mismos que no son significativos ya que se puede apreciar la carencia de datos atípicos en la reacción a lo largo del tratamiento y para el día 23 se consigue una disminución significativa de color con una dispersión muy reducida de datos.

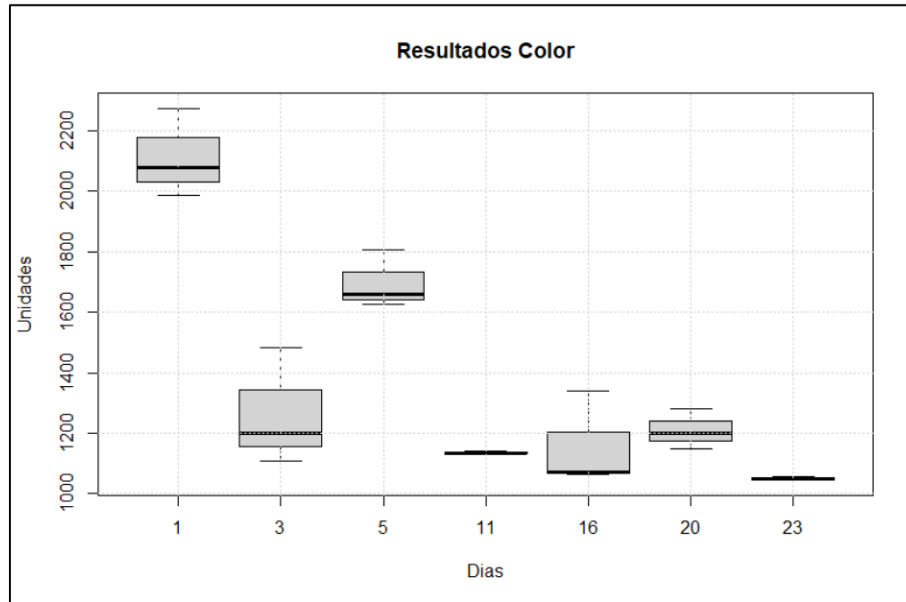


Figura 21: Diagrama de cajas de datos de Color.

#### 4.2 Proceso de análisis de datos.

El modelo de análisis de los datos obtenidos en la investigación fue de tipo experimental conforme a las características y conjunto de información registrada, las variables denotan datos estadísticamente significativos entre sí. Es por ello que se analizaron los datos mediante regresiones, las cuales examinan la relación entre dos variables, en el caso de la regresión logarítmica se toma como alternativa cuando el modelo matemático lineal no consigue un coeficiente de determinación adecuado y la regresión potencial es la que se puede aplicar linealización de regresiones no lineales para determinar el ajuste de la línea de tendencia a los datos mediante transformación logarítmica que permite convertir una variable muy sesgada en un conjunto de datos más normalizados para producir un ajuste con menor error posible. Estos modelos son empleados para situaciones en donde el crecimiento o disminución, que se acelera rápidamente al principio del tratamiento y se ralentiza con el tiempo (Chapra & Canale, 2007).

#### 4.3 Análisis de datos mediante modelos de regresión.

Son técnicas estadísticas para la investigación y diagnóstico de la relación entre dos o más variables es el ajuste de una curva por el método de mínimos cuadrados que proporciona un criterio con el cual se podrá obtener el mejor ajuste que represente los datos adquiridos. Se

realizó una valoración de regresión entre los parámetros que presentaron correlaciones significativas. La función logarítmica y potencial se aplica debido al comportamiento de los parámetros de DQO, turbidez y color, responden de manera similar, es decir, que tienden a disminuir o aumentar de forma sincronizada (Romero, 2017).

Se recolectó muestras de lixiviados del vertedero y fueron analizados para determinar el contenido inicial de DQO, color y la turbidez. El valor inicial de pH fue de 8,1 con un alto contenido de materia no biodegradable, lo que demuestra que las muestras recolectadas se clasifican como estabilizadas o lixiviados viejos caracterizado por un alto contenido de compuestos orgánicos refractarios y valores de pH alcalinos.

#### **4.3.1 DQO**

Las muestras del lixiviado se trataron mediante la adición de  $\text{FeCl}_3$  que es un tipo de coagulante inorgánico con el fin de examinar el efecto de un tratamiento fisicoquímico convencionalmente aplicado para la eliminación de contaminantes donde se puede disminuir hasta un 70% de DQO resultando ser más eficiente que las sales de aluminio (Ntampou et al., 2006). Sin embargo, estos tratamientos presentan algunas desventajas como es la producción constante de lodos y una mayor concentración de hierro o aluminio en la fase líquida (Renou et al., 2019).

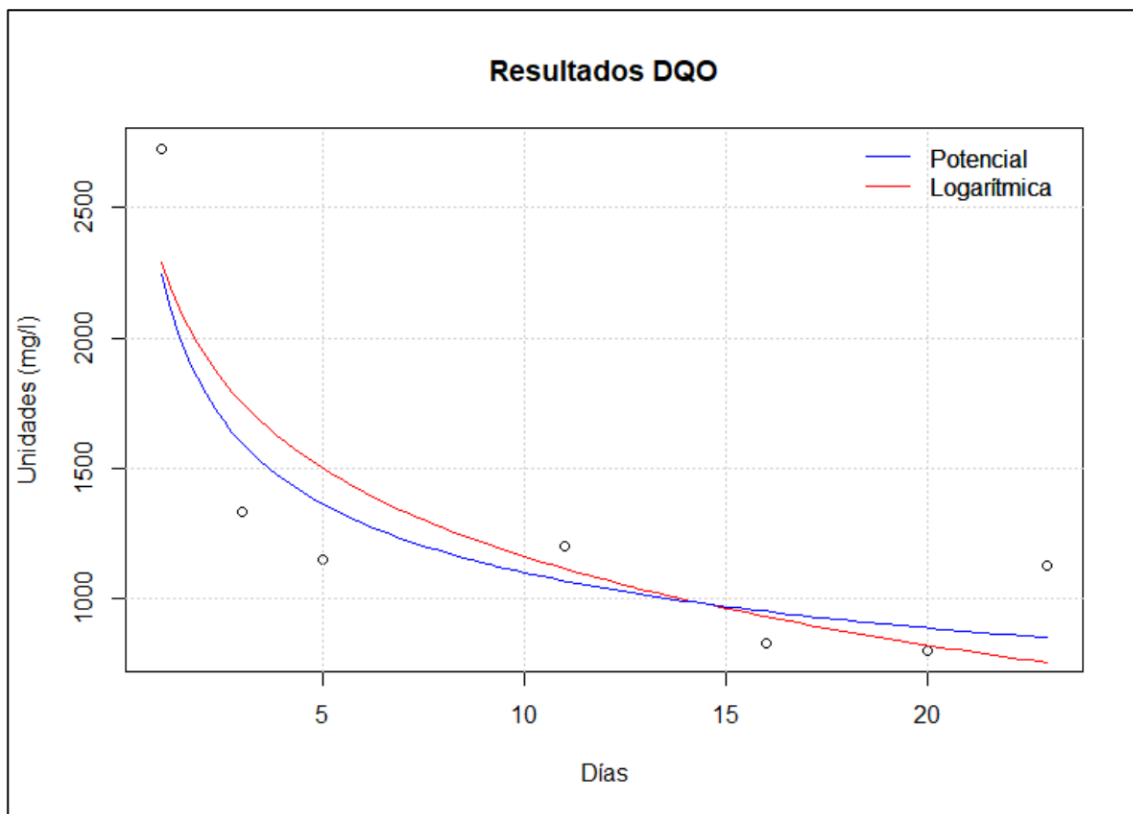


Figura 22: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para DQO.

En la figura 22 se puede observar que en el día 3 se nota una reducción brusca de la DQO desde 2.727 a 1.332 mg/l aproximadamente debido al tratamiento fisicoquímico, en este día se vierte lodos activados que posteriormente en el día 5 el material químico oxidable se oxida lentamente, porque va escaseando y eventualmente hay competencia de otros materiales, hasta 6 días después apenas llega a 1.200 mg/l, solo se degradan 132 mg/l (día 11), y en el día 20 la reducción es de 399 mg/l, debido a que en este tiempo los microorganismos se adaptaron y empezó su proliferación y consumo, por último en el día 23 empieza a subir la carga a 1.130 mg/l debido a que el sustrato biodegradable se extinguió provocando la muerte de las bacterias. Es mejor la curva potencial debido a que existe mejor comportamiento del compuesto con un ajuste correspondiente de  $R^2 = 0,7744$  denotando un mejor ajuste en el modelo y con una cinética  $0,309 d^{-1}$  que se relaciona con la rapidez o velocidad de las reacciones dadas en un determinado proceso, dicha reacciones mantienen velocidades que con condiciones ya sea de temperatura, concentración y contaminantes existentes son proporcionales a la concentración de uno o más reactivos.

### 4.3.2 Turbidez

Se observó que tanto la dosis de coagulante como el pH tienen un factor decisivo en la eliminación de la turbidez, dado que la coagulación elimina compuestos orgánicos de alto peso molecular lo que facilita la remoción de materia orgánica suspendida según lo afirman (Marañón et al., 2010 y Wu et al., 2010).

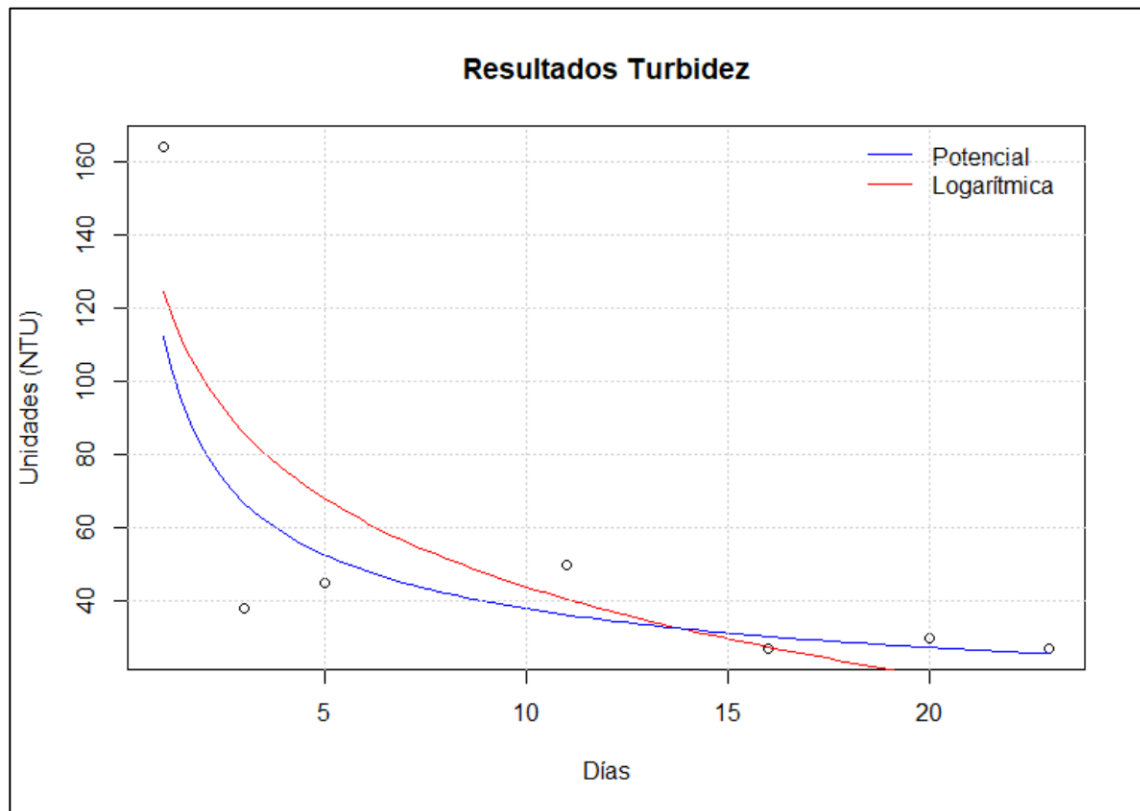


Figura 23: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para Turbidez.

En la figura 23 se muestra un descenso considerable hasta el día 3 con la aplicación del tratamiento fisicoquímico desde 164 NTU hasta 38 NTU, posteriormente se ve un aumento de turbidez hasta 50 NTU por consecuencia de adición de fango activado con microorganismos para dar inicio al tratamiento biológico, dándose una degradación lenta durante el tratamiento de turbidez con una remoción de 23 NTU en el último día de tratamiento, resultando una influencia directa por la actividad biológica, lo que revela un comportamiento similar en el modelo de DQO

y turbidez. En cuanto al modelo matemático potencial existe mayor correlación de ajuste con un  $R^2 = 0,7457$  y con una cinética de  $0,472 d^{-1}$ . Al ser alta existe una mayor remoción de sólidos en suspensión con una eliminación de aproximadamente el 81,76 % de la concentración inicial.

### 4.3.3 Color

El color de lixiviado es un parámetro que está en función de la cantidad de materia orgánica con algunos compuestos insolubles de difícil eliminación y adicionalmente para su remoción se asocia a la sustracción de material suspendido que está relacionado con la cantidad de coagulante vertido en el tratamiento (H. A. Aziz et al., 2007).

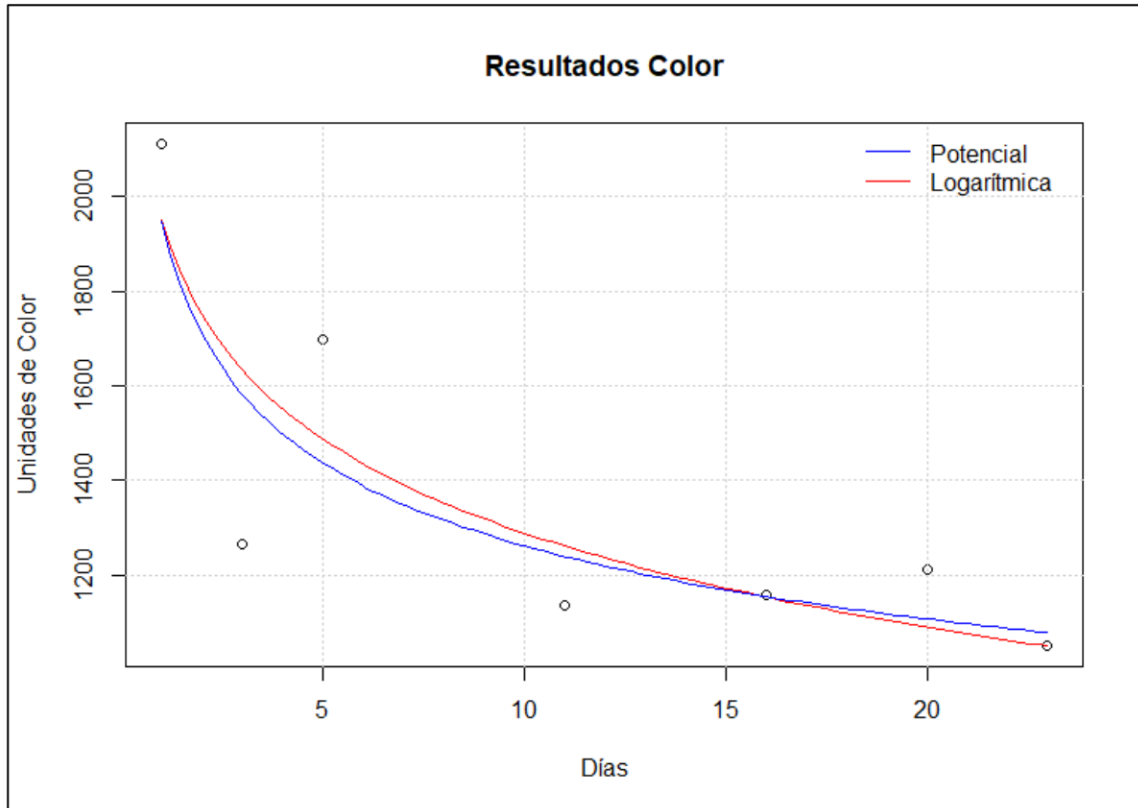


Figura 24: Modelo matemático de regresión potencial y logarítmica para Color.

De igual manera en la figura 24, se muestra los resultados del comportamiento de color, donde en los días 1 y 3 existe una importante disminución de 2.103 hasta 1.265 Unidades de Color con

el tratamiento fisicoquímico, posteriormente con el tratamiento biológico no se muestra una remoción constante entre los días 5 y 20 con unas pequeñas variaciones ascendentes en los niveles de color, a diferencia del día 20 al 23 existe una disminución de 1.210 a 1.050 unidades de color. En cuanto al ajuste matemático del modelo potencial tiene una mínima variación en el factor de correlación siendo este  $R^2 = 0,7382$  y con una cinética de  $0,189 d^{-1}$  considerándose una cinética lenta que a lo largo del proceso se logró remover un 59,86 % del color, siendo este un bajo porcentaje de remoción en comparación con otros estudios (Anouzla, 2014; Ramli & Abdul Aziz, 2015; Rui et al., 2012) donde contemplan características similares y utilizan como principal coagulante el  $FeCl_3$  con una dosificación de 36 gr/l a un pH de 6 del lixiviado logrando eliminar el 95,54% de color, a diferencia de este estudio que se dosificó con 60 gr/l de  $FeCl_3$  con pH de 8,1 eliminando aproximadamente un 60%, debido a la alta alcalinidad y baja biodegradabilidad considerando que es un lixiviado viejo ya estabilizado.

En los análisis realizados en el lixiviado del relleno sanitario Chapte-Toray del cantón Azogues se obtuvo una concentración inicial de DQO 2.727 mg/l, turbidez 164 NTU y color 2.113 unidades de color aproximadamente. Como manifiesta (Ramli & Abdul Aziz, 2015) que el proceso de coagulación desestabiliza las partículas coloidales para incrementar el volumen de las partículas para que puedan asentarse fácilmente, se encontró que con  $FeCl_3$  se da una mayor remoción de compuestos orgánicos logrando remover hasta el 55% de la DQO en lixiviados de diferentes vertederos (Gutiérrez, 2017). Para el caso de los lixiviados del relleno sanitario Chapte-Toray el tratamiento fisicoquímico aplicado con este mismo coagulante con dosificaciones de 60 gr/l de  $FeCl_3$  con pH de 8,1 redujo los niveles de DQO, Turbidez y color un 48,84%, 76,82% y 59,86% respectivamente donde se comprueba que el pH influye de forma directa en la variación y remoción de estos parámetros en los lixiviados y que el tratamiento fisicoquímico es viable para lixiviados mayores a 10 años o viejos ya estabilizados.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

El manejo de lixiviados del relleno sanitario, requiere de la fusión de diferentes técnicas y tecnologías debido a sus características por su alto contenido de compuestos contaminantes para alcanzar un tratamiento óptimo. La ventaja del aprovechamiento de cada tecnología aplicada al tratamiento de lixiviados permite optimizar los recursos económicos y ambientales. Por lo tanto, se diseñó y se construyó un prototipo experimental de reactor biológico a escala laboratorio con la premisa de que los tratamientos en laboratorio puedan ser aplicados en el vertedero Chapte-Toray.

Las características de los lixiviados sin tratar fueron: DQO 2.727 mg/l, turbidez 164 NTU, color 2.113 unidades de color con un pH de 8,1, luego para la depuración de estos parámetros se utilizó un sistema compuesto por dos tratamientos: fisicoquímico y biológico. El primer tratamiento es adecuado en el tratamiento de lixiviados viejos o estabilizados, para complementar el proceso de degradación biológica se usó  $\text{FeCl}_3$  donde el nivel de remoción es considerable en DQO y turbidez con un promedio aproximado del 48,84% y 76,82% respectivamente con respecto al color existe una disminución aproximadamente del 50% debido a que este parámetro está relacionado directamente con la dosificación del coagulante y solidos suspendidos.

Mientras que en el segundo tratamiento la remoción de la carga contaminante fue lenta debido al metabolismo de los microorganismos (fangos activados) vertidos en el tratamiento con el reactor biológico, se logró una remoción del 70,62% de DQO hasta el día 20 con un remanente de 801 mg/l y provocándose un acenso a 1 130 mg/l de DQO en el día 23 debido a la extinción de material biodegradable ocasionando muerte bacteriana, en cambio para la turbidez se mantuvo la remoción hasta el último día con un porcentaje de eliminación total de 83,53% y un remanente de 27 NTU y para color el tratamiento biológico no tuvo mayor influencia ya que su eliminación es más compleja con una remoción total en los tratamientos del 59,86% y con un remanente de 1.050 unidades de color aproximadamente, notándose que la mayor influencia de remoción fue en el tratamiento fisicoquímico, sin embargo el tratamiento biológico logro una remoción de un 10% aproximadamente a lo largo del tratamiento para este parámetro.

Los modelos matemáticos permiten predecir en este caso la degradación diaria de las sustancias orgánica, para establecer el mejor ajuste de datos se empleó los modelos potencial y logarítmico. Obteniendo un mejor resultado con el modelo potencial donde la correlación de datos fue de  $R^2=0,7744$  para DQO,  $R^2 = 0,7457$  de Turbidez y  $R^2 = 0,7382$  de color, con una velocidad de degradación con cinéticas de  $0,309 d^{-1}$  para DQO,  $0,472 d^{-1}$  en turbidez y  $0,189 d^{-1}$  para color, con la influencia del metabolismo de fangos activados lo que permitió una remoción satisfactoria de los compuestos durante el proceso experimental.

Finalmente, los métodos fisicoquímicos y biológicos permiten alcanzar un tratamiento óptimo de lixiviados estabilizados, permitiendo obtener una mayor remoción de los compuestos; así también, dependerá de la selección de tecnologías más adecuadas para el tratamiento de lixiviados de vertederos mayores a 10 años y variaciones climáticas estacionales que influye en las características de los lixiviados. Por ultimo las variables económicas, es decir, inversión y costos de operación de la planta de tratamiento de lixiviado, tienen un papel fundamental en la toma de decisiones que se deben tener en cuenta para la selección de métodos con mayor eficacia técnica, social y ambiental, con el propósito de mitigar los impactos negativos en el relleno sanitario y sus alrededores, siendo objeto de estudios posteriores de investigación que contribuyan con la gestión de lixiviados.

## CAPÍTULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

Proponer combinaciones biológicas donde se determine en función de diferentes estructuras del sistema de tratamiento en cuanto a procesos de oxidación avanzada aportando a la eliminación de materia orgánica y nitrogenada, presentando ventajas en la efectividad de eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos que no son eliminados en tratamientos convencionales. Además, el bajo porcentaje de remociones se puede dar porque se someten a pocos procesos, por ende, es recomendable mantener la opción de la combinación de varios tratamientos con más elementos para una mayor remoción, distintos tipos de coagulantes, electrocoagulación, foto-fentón, entre otros, lo que permitirá obtener mejores resultados, además dependiendo de los procesos puede variar su costo de operación y mantenimiento.

Analizar las distintas variables relacionada con los afluentes generados en rellenos sanitarios como su dinámica de flujo, metabolismo de contaminantes, su capacidad de transformación y reacción química, con las que se pueda conseguir parámetros claves para la creación de diseños óptimos en materia de operación y tratamiento en su real dimensión.

Ejecutar estudios de modelos degradación, modelos de crecimiento bacteriano, modelo metabólico microbiológico contemplando las diferentes variables de la caracterización de lixiviado planteando las condiciones del medio como pH y temperatura adecuadas para un óptimo desarrollo del tratamiento lo que permitirá obtener la mayor cantidad de datos posibles, para un diagnóstico con bajo margen de error. Asimismo, para el análisis de datos se recomienda trabajar con diversos programas estadísticos como Minitab, SPLUS, SPSS, Excel, Rstudio, lo que permite analizar el margen de error para obtener resultados satisfactorios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. G., KAWASHITA, K., Reynolds, J. H., ALMEIDA, F. F. M. D. E., de Almeida, F. F. M., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Oldenzaal, Z., Guida, A., Tchalenko, J. S., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J., Rotevatn, A., Nixon, C. W., Rotevatn, A., Sanderson, D. J., ... Junho, M. do C. B. (2013). Propuesta para el manejo de lixiviados a través del diseño de una planta de tratamiento de floculación iónica para controlar la contaminación existente en el relleno Sanitario del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi. *Journal of Petrology*, 369(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Anouzla, A. (2014). Waste to Treat Waste of Landfill Leachates. *International Journal of Environmental Protection and Policy*, 2(2), 50. <https://doi.org/10.11648/j.ijcpp.20140202.12>
- ASTORGA DEL CANTO, C. F. (2018). Tratamiento De Lixiviados De Un Relleno Sanitario : Propuesta Y. *Tesis*, 1, 100. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152920/Tratamiento-de-lixiviados-de-un-relleno-sanitario-Propuesta-y-evaluación-de-un-sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ategrus, C. (2010). *Curso ATEGRUS sobre Introducción a la Gestión de Vertederos Unidad didáctica III: Lixiviados*. [ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus\\_lixiviados\\_11\\_JUN\\_2010.pdf](http://ategrus.org/images/stories/residuos/vertederos/ategrus_lixiviados_11_JUN_2010.pdf)
- Aziz, H. A., Alias, S., Adlan, M. N., Faridah, Asaari, A. H., & Zahari, M. S. (2007). Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioresource Technology*, 98(1), 218–220. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.11.013>
- Aziz, S. (2013). Produced Leachate from Erbil Landfill Site, Iraq: Characteristics, Anticipated Environmental Threats and Treatment. *The 16th International Conference on Petroleum, Mineral Resources and Development, Cairo, Egypt, June*, 10–12.
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Bashir, M. J. K., & Mojiri, A. (2014). Wastewater Engineering: Advanced Wastewater Treatment Systems. *Wastewater Engineering: Advanced Wastewater Treatment Systems, March 2019*, 1–18. <https://doi.org/10.12983/1-2014-03-01>

- Bustos, C., & Chacón, G. B. (2009). *El desarrollo sostenible y la agenda 21 Sustainable Development*, *Agenda 21*. 11(2), 164–181.
- Carpio, T., Hernandez, A. M., & Duque, M. (2017). Sólidos Totales secados a 103 - 105°C. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 2–8. <http://www.cambioclimatico.gov.co/documents/14691/38155/Sólidos+Totales+secados+a+103+-+105°C..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>
- Chamem, O., Fellner, J., & Zairi, M. (2020). Ammonia inhibition of waste degradation in landfills – A possible consequence of leachate recirculation in arid climates. *Waste Management and Research*, 38(10), 1078–1086. <https://doi.org/10.1177/0734242X20920945>
- Chapra, S., & Canale, R. (2007). *Metodos Numericos para Ingenieros*.
- Chávez, W. M. (2011). Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd . de Chihuahua. Méx. *Cimav*, 8–9. [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy Margarita Chávez Montes MCTA.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/Wendy_Margarita_Chavez_Montes_MCTA.pdf)
- Clingingsmith, T. W. (1984). Series flow tandem fan: A high-speed V/STOL propulsion concept. *SAE Technical Papers*, 1–8. <https://doi.org/10.4271/841496>
- COA. (2018). *Codigo Organico del Ambiente*. 1–93.
- Consejo Nacional de Competencias (CNC). (2019). INFORME SOBRE MAPEO DE ACTORES GENERADORES DE INFORMACIÓN A NIVEL TERRITORIAL E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN DE LA COMPETENCIA DE DESECHOS SÓLIDOS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 64. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Constitucion de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador 2008*. 1–136.
- Contreras, E. V., & Perez, T. R. (2016). *pH: Teorias y problemas*. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf?fbclid=IwAR1PJN8ATrHnu5EzDEhz4fh2i0nuSX4JDtP6KqWbl0wyU2DyA2KPfU9GTJ0>
- COOTAD. (2018). *Codigo organico de organizacion territorial, cootad*. 1–192.

Corona, M. (2008). SISTEMA DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS. *Cell*, 151(4), 1–46. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.01.043>

Cuyotupa, C. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO PARA LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGANICA A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL DISTRITO DE SAN AGUSTÍN DE CAJAS-HUANCAYO*.

Echavarría, L., Diego, J., Gómez, R., Arturo, C., Aristazábal, Z., Ucaris, M., & Vanegas, O. (2010). *EL MÉTODO ANALÍTICO COMO MÉTODO NATURAL*. 25, 2007–2009. [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5501/1/LoperaJuan\\_2010\\_MétodoAnalíticoMétodoNatural.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5501/1/LoperaJuan_2010_MétodoAnalíticoMétodoNatural.pdf)

Echevarría Villa, D., Torices, M. F., Daniel, E., & Cirella, G. (2017). *Membranas Compuestas Con Selectividad Mejorada Para La Separación De Butanol Mediante Pervaporación Trabajo Fin De Master (Tfm)*. <http://bucserver01.unican.es:8080/xmlui/bitstream/handle/10902/13209/406239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GAD Municipal del cantón Azogues. (2008). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL CANTÓN AZOGUES Y EL RESPECTIVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y MANEJO DE GASES*. 1–119.

Giraldo, E. (2014). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*, 14, 12. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>

Guevara, A., Guanoluisa, L., & De La Torre, E. (2014). *Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario El Inga mediante Electrocoagulación y Fitorremediación*. 34(1), 1–8.

Gutiérrez, M. (2017). Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Bacalar Quintana Roo, Mediante Coagulación-Floculación y Foto-Fenton. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 53(9), 1689–1699. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://d>

oi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12

Hach. (2004). *TURBIDÍMETRO PORTÁTIL Modelo 2100P Manual del instrumento*. 13–21.  
<https://es.hach.com/2100p-iso-turbidimetro-portatil-iso-eu/product-downloads?id=25144130066>

Hernández-García, D., & Acebo-González, A. (2013). Turbimetria. *Revista CENIC*, 44(1), 1–18.  
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>

INEC, I. N. de E. y C. (2019). Dirección / Departamento Unidad Elaborado por : Revisado por :  
Aprobado por : Contacto : *Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Municipales*.  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin\\_tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf)

Jose Ulloa, 2005. (2006). *Redalyc.LOS RELLENOS SANITARIOS*.

Kostova, I. (2006). Leachate from sanitary landfills – origin , characteristics , treatment. *Civil Engineering, July*, 26–29.

Kothari, C. R. (2002). *Research Methodology: Method & Techniques*. vii.  
<http://www.newagepublishers.com/samplechapter/000896.pdf>

Kurniawan, T. A., Lo, W. H., & Chan, G. Y. S. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), 80–100. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>

Ledakowicz, S., & Kaczorek, K. (2004). Laboratory Simulation of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 39(4), 859–871. <https://doi.org/10.1081/ESE-120028398>

León-gómez, H. De, Cruz-Vega, C. R., Dávila-Pórcel, R. A., & Chapa-Guerrero, F. V.-T. J. R. (2015). *Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares ( Nuevo León ) sobre la calidad del agua superficial y subterránea*. 514–526.

Llano, B. A., Cardona, J. F., & Ocampo, D. (2014). *Tratamiento Fisicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los*

*Lodos Generados en el Proceso Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative uses* . 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>

Marañón, E., Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Fernández-Méndez, A., & Fernández-Sánchez, A. (2010). Colour, turbidity and COD removal from old landfill leachate by coagulation-flocculation treatment. *Waste Management and Research*, 28(8), 731–737. <https://doi.org/10.1177/0734242X09352504>

Martínez-Lopez, A. G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Rosas, M. A. E., Hernández-Lara, J. M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A., Tinoco-Magaña, J. C., & Martínez-Castillo, J. (2014). *Alternativas actuales del manejo de lixiviados*. <https://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>

Martínez, O. P. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada*.

Méndez Novelo, R., Novelo López, A., Coronado Peraza, V., Castillo Borges, E., & Sauri Riancho, M. R. (2008). *Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto*.

MMAA de Bolivia. (2010). *Guía para la Implementación , Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. 1–62.

Molina, A., & Tigreros, J. (2005). EVALUACION PRELIMINAR DE LA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ARAUCA. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 12 Suppl 1(9), 1–9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049><http://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21918515><http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20083217094>

Moncada, V. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS MEDIANTE OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA*. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27603/TFG\\_Victor\\_Florindo\\_Moncada.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/27603/TFG_Victor_Florindo_Moncada.pdf)

- Moradi, M., & Ghanbari, F. (2014). Application of response surface method for coagulation process in leachate treatment as pretreatment for Fenton process: Biodegradability improvement. *Journal of Water Process Engineering*, 4(C), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.09.002>
- Morató, J., & Peñuela, G. (2017). *MANUAL DE TECNOLOGIAS SOSTENIBLES EN TRATAMIENTO DE AGUAS*. <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2017/10/Manual-de-Tecnologias-Sostenibles-en-Tratamiento-de-Aguas.pdf>
- Ntampou, X., Zouboulis, A. I., & Samaras, P. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/ flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere*, 62(5), 722–730. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.067>
- PDOT. (2018). *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON AZOGUES* (pp. 1–383).
- Pliego-Arreaga, R., Regalado, C., Amaro-Reyes, A., & García-Almendárez, B. E. (2013). BIORREACTOR EMPACADO CON MATERIALES ESTABILIZADOS (BEME), COMO PRETRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 505–511. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966013>
- Ramli, S. F., & Abdul Aziz, H. (2015). Use of Ferric Chloride and Chitosan as Coagulant to Remove Turbidity and Color from Landfill Leachate. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 1163–1167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.1163>
- RCOA. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. 752, 1–192.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2019). *Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity*. *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. February. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Reyes, M. (2015). *Lixiviados en plantas de residuos. Una contribución para la selección del proceso de tratamiento*. 1–296.

- Rodriguez, C., Coy, A. G., & Duque, M. E. (2007). Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado Y Volumetrica. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*, 11. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Romero, D. (2017). *Gestión ambiental del sistema de tratamiento de lixiviados producto de la biodegradación de residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario colombiano*. 1–119.
- Rui, L. M., Daud, Z., & Latif, A. A. A. (2012). Treatment of Leachate by Coagulation-Flocculation using different Coagulants and Polymer: A Review. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(2), 114. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.2.166>
- Sanchez, M. M. D. A. (2001). *Contribucion al estudio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Química+de+Oxígeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- Toro, E. R., Szantó, M., Juan, N., Pacheco, F., Contreras, E., Gálvez, A., & CEPAL. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación / floculación usando almidón de plátano Turbidity removal in a water sample from a natural source via coagulation / flocculation using plantain starch Remoção de turbidez em água de. *Revista ION*, 27(1), 17–34.
- Valunaite Oleskeviciene, G., & Sliogeriene, J. (2020). Research methodology. *Numanities - Arts and Humanities in Progress*, 13, 39–52. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37727-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37727-4_2)
- Vaverková, M. D., Elbl, J., Koda, E., Adamcová, D., Bilgin, A., Lukas, V., Podlasek, A., Kintl, A., Wdowska, M., Brtnický, M., & Zloch, J. (2020). Chemical composition and hazardous effects of leachate from the active municipal solid waste landfill surrounded by farmlands. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12114531>
- Vilar, A. (2015). *Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos*

*urbanos.*

Villacrés, M. (2013). Estructura, Implementacion y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario Ambato. *Nature*, 3er, 150.

Wu, Y., Zhou, S., Qin, F., Peng, H., Lai, Y., & Lin, Y. (2010). Removal of humic substances from landfill leachate by Fenton oxidation and coagulation. *Process Safety and Environmental Protection*, 88(4), 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2010.03.002>

Yong, Z. J., Bashir, M. J. K., Ng, C. A., Sethupathi, S., & Lim, J. W. (2018). A sequential treatment of intermediate tropical landfill leachate using a sequencing batch reactor (SBR) and coagulation. *Journal of Environmental Management*, 205, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.068>

## ANEXOS

### Anexo 1. Toma de muestra en la planta de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario



Figura 25: Toma de muestra de lixiviados previa entrada a la planta de tratamiento de lixiviados.



Figura 26: Decantador de la planta de tratamiento de lixiviados.



Figura 27: Laguna de aireación de lixiviados.



Figura 28: Laguna de maduración.

## Anexo 2 Tratamiento de lixiviados en el laboratorio (CIITT).



Figura 29: Proceso de Jar test. Adición de coagulante en las muestras de lixiviado



Figura 30: Mezcla de coagulante y lixiviado a diferentes velocidades.



Figura 31: Dosis de fango activado para el tratamiento biológico.



Figura 32: Vertido de lixiviado en el reactor biológico previo tratamiento fisicoquímico.



**Carlos Gonzalo Orbe Ruilova** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302456660**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Propuesta para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Azogues**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **15 de junio de 2021**

F: .....

**Carlos Gonzalo Orbe Ruilova.**

**C.I. 0302456660**