



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE
ELECTROCOAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN
FRANCISCO DE ORELLANA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A AMBIENTAL

AUTORES: CRISTIAN PATRICIO CUMBICUS VICENTE

MAYRA PAOLA HURTADO CAYAMBE

DIRECTOR: ING. JULIO ROLANDO COELLO CABEZAS, MSc.

El Coca - Ecuador

2023


©2023, Cristian Patricio Cumbicus Vicente & Mayra Paola Hurtado Cayambe

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

Nosotros, Cristian Patricio Cumbicus Vicente y Mayra Paola Hurtado Cayambe, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 01 de junio del 2023



Cristian Patricio Cumbicus Vicente

2200153993



Mayra Paola Hurtado Cayambe

2200327050

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO CONTROLADO DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA**, realizado por los señores: **CRISTIAN PATRICIO CUMBICUS VICENTE** y **MAYRA PAOLA HURTADO CAYAMBE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Tannia Jazmín Vargas Tierras Mgs. PRESIDENTA DEL TRIBUNAL	 _____	2023-06-01
Ing. Julio Rolando Coello Cabezas MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-06-01
Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-06-01

DEDICATORIA

Primeramente, agradecer a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A mi madre Elena desde cielo estuvo siempre a mi lado dándome aliento para llegar a culminar mi profesión, a mi padre Saul, por ser un ejemplo para seguir, a mis hermanas que fueron fuente de luz, convirtiéndolos en pilares fundamentales para mi formación profesional. A mi amada esposa Diana que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañó en todos mis sueños y metas.

Cristian

Primeramente, agradecer a Dios por permitirme estar con vida. Dedico mi Trabajo de Integración Curricular a mis padres y a mi hija quienes me apoyaron y motivaron día a día para que salga adelante sobre todo enseñándome para que sea una persona responsable y respetuosa, a mi tutor y a mi miembro porque han sido quienes han estado aportando sus conocimientos y guiándonos continuamente en la realización del proyecto técnico y así poder cumplir una meta más en mi vida. A todas las personas que confiaron en mí y que estuvieron presentes en todo el proceso profesional.

Mayra

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darnos la oportunidad de estudiar en su prestigiosa Institución y permitirnos conocer excelentes maestros que nos impartieron sus conocimientos en todo proceso académico. A Dios y a nuestra familia por que han sido un apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso profesional, a la vez, agradecer al GADPO (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Orellana) por aprobar nuestra solicitud y permitirnos realizar los análisis con ayuda de técnicos especializados y así poder culminar nuestro Trabajo de Integración Curricular.

Cristian y Mayra

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Residuos sólidos.....	6
2.2. Manejo de residuos sólidos.....	6
2.3. Botadero.....	6
2.4. Lixiviado.....	7
2.4.1. <i>Lixiviados jóvenes</i>	7
2.4.2. <i>Lixiviados Maduros</i>	7
2.4.3. <i>Orígenes de los lixiviados</i>	7
2.4.4. <i>Producción de lixiviados</i>	8
2.5. Composición y caracterización de los lixiviados.....	8
2.6. Parámetros físicos.....	8
2.6.1. <i>Potencial de Hidrogeno (pH)</i>	9
2.6.2. <i>Turbidez</i>	9
2.6.3. <i>Sólidos Totales Suspendidos (STS)</i>	9
2.7. Parámetros químicos.....	9

2.7.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	9
2.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	10
2.7.3. Metales Pesados	10
2.7.3.1. Cadmio (Cd)	10
2.7.3.2. Cobre (Cu)	10
2.7.3.3. Cromo (Cr)	10
2.7.3.4. Plomo (Pb)	11
2.7.3.5. Zinc (Zn)	11
2.8. Tratamiento de lixiviados	11
2.8.1. Sistemas físicos-químicos	11
2.8.2. Sistemas Naturales	11
2.8.3. Evaporación de lixiviados	12
2.8.4. Método mediante membrana	12
2.8.5. Biodegradación: Procesos anaerobios y aerobios	12
2.8.6. Electrocoagulación	13
2.8.6.1. Unidad o reactor de electrocoagulación	13
2.8.6.2. Zonas del reactor en la electrocoagulación	14
2.8.7. Factores que afectan a la electrocoagulación	14
2.8.7.1. Densidad de corriente	14
2.8.7.2. Efecto de la temperatura	14
2.8.7.3. Efecto del potencial de hidrogeno	15
2.8.7.4. Tiempo de retención	15
2.8.7.5. Distribución espacial de los electrodos	15
2.9. Legislación	15
2.9.1. Normativa Internacional	15
2.9.2. Normativa Nacional	16
2.9.3. Normativa empleada para el muestreo	18
2.9.4. Normativa para el transporte y conservación de la muestra	18
2.9.5. Normas de seguridad y precauciones	18

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Área de estudio	19
3.2. Enfoque de la Investigación	20
3.3. Alcance de la investigación	20

3.4.	Diseño de la investigación	20
3.4.1.	<i>Diseño Experimental</i>	20
3.5.	Tipos de investigación	21
3.5.1.	<i>Investigación bibliográfica y descriptiva</i>	21
3.6.	Desarrollo Experimental	21
3.6.1.	<i>Recolección de muestra de los lixiviados</i>	21
3.6.2.	<i>Rotulado y cadena de custodia</i>	22
3.6.3.	<i>Transporte y conservación</i>	23
3.7.	Análisis y caracterización de lixiviados	23
3.7.1.	<i>Caracterización de los parámetros físicos</i>	23
3.7.1.1.	<i>Determinación de la temperatura</i>	23
3.7.1.2.	<i>Determinación de la turbidez</i>	24
3.7.1.3.	<i>Determinación del potencial de hidrógeno (pH)</i>	24
3.7.1.4.	<i>Determinación de sólidos totales suspendidos</i>	24
3.7.2.	<i>Caracterización de los parámetros químicos</i>	25
3.7.2.1.	<i>Determinación de metales pesados</i>	25
3.7.2.2.	<i>Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)</i>	26
3.7.2.3.	<i>Procedimiento para la determinación del color y la demanda biológica de oxígeno (DBO)</i>	26
3.8.	Proceso de diseño y construcción de un prototipo para el proceso de electrocoagulación	27
3.9.	Determinación de las condiciones óptimas para el tratamiento de electrocoagulación de los lixiviados	28
3.10.	Eficacia del proceso de electrocoagulación	29

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
4.1.	Caracterización de los lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana	30
4.2.	Diseño y construcción del prototipo para el proceso de electrocoagulación	31
4.2.1.	<i>Dimensiones del reactor</i>	31
4.2.2.	<i>Número de electrodos</i>	32
4.2.3.	<i>Dimensiones de los electrodos</i>	33
4.2.4.	<i>Prototipo final para el proceso de electrocoagulación</i>	35

4.3. Porcentajes de remoción mediante el proceso de electrocoagulación para los lixiviados del Botadero Controlado del Cantón Francisco de Orellana	36
4.4. Eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de los lixiviados	39

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1. Conclusiones.....	44
5.2. Recomendaciones	45

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Normativa de vertido lixiviados	16
Tabla 3-1: Diseño factorial del tratamiento experimental.....	21
Tabla 3-2: Materiales y equipos para la toma de la muestra.....	22
Tabla 3-3: Instrumentos para la determinación de sólidos totales suspendidos.....	25
Tabla 3-4: Caracterización del color y la demanda biológica de oxígeno	27
Tabla 3-5: Condiciones óptimas para el proceso de electrocoagulación de los lixiviados	29
Tabla 4-1: Resultados de la caracterización de los lixiviados.....	30
Tabla 4-2: Resultados de la caracterización de los lixiviados.....	36
Tabla 4-3: Promedios de los resultados de la caracterización de los lixiviados	38
Tabla 4-4: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Esquema de la electrocoagulación en una unidad de alta tasa.....	13
Ilustración 2-2: Zonas del reactor de electrocoagulación.....	14
Ilustración 3-1: Ubicación del Botadero controlado del cantón Francisco de Orellana.....	19
Ilustración 3-2: Toma de la muestra de lixiviados	22
Ilustración 3-3: Determinación de la temperatura del lixiviado.....	23
Ilustración 3-4: Determinación del pH del lixiviado.....	24
Ilustración 3-5: Caracterización de los metales pesados	25
Ilustración 3-6: Caracterización del DQO.....	26
Ilustración 4-1: Dimensiones del reactor.....	32
Ilustración 4-2: Número de electrodos	33
Ilustración 4-3: Dimensiones de los electrodos.....	34
Ilustración 4-4: Prototipo final del reactor	35
Ilustración 4-5: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados.....	40
Ilustración 4-6: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados.....	41
Ilustración 4-7: Porcentaje de remoción de los lixiviados a un voltaje de 2,5	41
Ilustración 4-8: Porcentaje de remoción de los lixiviados a un voltaje 3,0	42
Ilustración 4-9: Porcentaje de remoción DBO, DQO, turbidez y color real	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS INICIALES DE LOS PARÁMETROS

ANEXO B: CADENA DE CUSTODIA PARA TOMA DE MUESTRA DEL LABORATORIO
AQLAB

ANEXO C: CADENA DE CUSTODIA PARA TOMA DE MUESTRA DEL LABORATORIO
GADPO

ANEXO D: MUESTRAS DE LOS METALES

ANEXO E: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

ANEXO F: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO CON
2,5V A 20 MIN, PRUEBA 1

ANEXO G: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO CON
3,0V A 20 MIN, PRUEBA 1

ANEXO H: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO CON
2,5V A 15 MIN, PRUEBA 1

ANEXO I: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO CON
3,0V A 15 MIN, PRUEBA 1

ANEXO J: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 2,5V A 15 MIN, PRUEBA 1

ANEXO K: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 3,0V A 15 MIN, PRUEBA 1

ANEXO L: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 2,5V A 20 MIN, PRUEBA 1

ANEXO M: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA,
TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 3,0V A 20 MIN, PRUEBA 1

ANEXO N: PROTOTIPO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

RESUMEN

En el botadero controlado del cantón Francisco de Orellana los lixiviados se producen mediante factores climáticos, que constituyen un alto riesgo de contaminación por su alta concentración de compuestos tóxicos, los cuales ponen en riesgo a la población y a los ecosistemas; el objetivo de la investigación fue determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana. Se utilizó técnicas e instrumentos como visita de campo para la recopilación de información, análisis de laboratorio, revisión de la normativa vigente y aplicación del proceso de electrocoagulación. Se obtuvo como resultados, la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados, parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente TULSMA, libro VI tabla 9, como el Color, Demanda biológica de oxígeno, Demanda Química de oxígeno, Sólidos totales y Turbidez; siendo altamente contaminantes. Se consideraron variables de diseño y construcción del prototipo para los lixiviados basado en un reactor de vidrio acrílico con medidas de 28cm de largo, 21cm de ancho y 11cm de alto; empleando 5 placas con 15cm de largo y 10cm de ancho, colocadas a una distancia de 4cm de separación entre las placas y una fuente de poder de 0-5 amperios y 0-15 voltios. El tratamiento con mayor porcentaje de remoción de contaminantes se obtuvo a partir de un voltaje de 2,5 y 20 minutos con una reducción de 85,23 por ciento para la demanda química de oxígeno. En conclusión, no existe un buen manejo en el tratamiento de los lixiviados que se originan en el botadero, es así como se propone determinar la eficacia en el tratamiento de lixiviados mediante el proceso de electrocoagulación logrando controlar y minimizar los impactos negativos que se generan al medio ambiente.

Palabras claves: <ELECTROCOAGULACIÓN>, <LIXIVIADOS>, <CONTAMINANTES>, <BOTADERO CONTROLADO>, <CARACTERIZACIÓN>, <LIXIVIADO> <TRATAMIENTO>.

Cristian Tenelanda S.
03-07-2023.



Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

1365-DBRA-UPT-2023

0604686709

ABSTRACT

The present research was aimed to determine the effectiveness electrocoagulation process in the treatment of leachates from the controlled dump from Francisco de Orellana canton. This controlled dump leachates are produced by climatic factors, which constitute a high risk of contamination due to their high concentration of toxic compounds, it puts in risk to the population and ecosystems. Techniques and instruments were used, such as a field visit to collect information, laboratory analysis, review of current regulations and application electrocoagulation process. The results obtained were characterization physicochemical properties of leachate, parameters that are outside the maximum permissible limits established in current TULSMA regulations, book VI table 9, such as color, biological oxygen demand, chemical oxygen demand, total solids, and turbidity, which are highly contaminating. Design and construction variables were considered prototype for leachates based on an acrylic glass reactor measuring 28cm long, 21cm wide and 11cm high; using 5 plates 15cm long and 10cm wide, placed at 4cm between the plates and a power source 0-5 amps and 0-15 volts. The treatment with the highest percentage of pollutant removal was obtained from a voltage 2.5 and 20 minutes with a reduction of 85.23 percent for chemical oxygen demand. In conclusion, there is not a good management in treatment of leachates that originate in the dump, so it is proposed to determine, effectiveness in treatment of leachates through the process of electrocoagulation to control and minimize the negative impacts that are generated to the environment.

Keywords: <ELECTROCOAGULATION>, <LEACHATE>, <CONTAMINANTS>, <CONTROLLED DUMP>, <CHARACTERISATION>, <LEACHATE> <TREATMENT>.

Translated by:



Lic. Zoila Victoria Herrera Andrade Mgs.

DOCENTE-SEDE ORELLANA ESPOCH

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población trae consigo la generación de desechos sólidos a grandes escalas (Ninan y Zambrano, 2019: p.14). Este hecho es motivo de gran preocupación debido a que la tasa y el volumen de generación de residuos ha aumentado de manera significativa en los últimos años (Amasuomo y Baird, 2016: p.88). Pero cabe mencionar que el problema no solo es la cantidad de residuos, sino también como se los gestiona.

Por otro lado, la mayoría de los países reconocen la importancia de la disposición adecuada y segura de los desechos, y como tal, varios estados han promulgado diversas leyes para regular la producción y disposición de los desechos. Carvajal et al., (2016: pp.267-268), menciona que, a nivel mundial, la región de Medio Oriente y África del Norte tiene el porcentaje más bajo en generar desechos sólidos, con un 6%; mientras que, Asia oriental y el pacífico, producen un 23% de los residuos.

Sin embargo, el informe de la organización del Banco Mundial del país existe un aumento de desperdicio de 2.0% anualmente, donde nos da a conocer que la producción global de desechos aumentará en un 70% para el año 2050. Es así que, de acuerdo con el mismo informe en la actualidad se generan alrededor de 2 mil millones de toneladas de desechos cada año, y entre las principales causas se encuentra el crecimiento demográfico, seguido por el consumo excesivo y la mala gestión de residuos en ciertos países desarrollados, produciéndose así este inconveniente para el ambiente.

Por tal razón, las entidades encargadas del manejo de los residuos buscan medidas resilientes para frenar esta situación (Gómez y Bardales, 2020, p.995), generando alternativas que ayuden a minimizar la producción de residuos. En algunos países latinoamericanos, los rellenos sanitarios, vertederos y botaderos controlados, son lugares frecuentes donde se colocan los residuos sólidos, siendo muy utilizados para la disposición final de estos.

Como parte del manejo de los residuos sólidos se generan fluidos que percolan a través de los desechos, dándose lugar a la formación de los denominados lixiviados. La producción de éstos depende de muchos factores como: el grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de la materia orgánica siendo el principal factor que ayuda a su generación de manera acelerada (Caiza et al.,2018: p.15), También se puede mencionar como otros factores, el material de cubierta de la celda, precipitaciones, humedad de la atmosfera, temperatura, evapotranspiración, la capacidad de campo del relleno y el escurrimiento. De manera general se puede decir que es

muy difícil estimar el volumen de lixiviado que se produce en un relleno o botadero controlado (Méndez et al., 2004: p.3), destacando que son un desafío para los profesionales que se dedican al tratamiento del lixiviado ya que no son fáciles de tratar, por su alta concentración en contaminantes (Cedeño,2022, p. 16).

El cantón Francisco de Orellana, cuenta con un botadero controlado que se encuentra ubicado en el sector la Paz, Parroquia el Dorado km 9 vía al Auca, en un terreno de propiedad municipal con una extensión de 10 hectáreas. El botadero está en funcionamiento desde el año1998 hasta la actualidad. En el botadero controlado del cantón Francisco de Orellana, los lixiviados recolectados y almacenados en un depósito, son transportados por succión a un sistema que consta de varias piscinas en las que, primero son tratados con sulfato de aluminio para luego pasar por un proceso de fitorremediación y finalmente, por un proceso de oxidación antes de ser evacuados al ambiente.

Una de las alternativas para el tratamiento de efluentes provenientes del manejo y disposición de los desechos es la electrocoagulación, ya que es una técnica con grandes ventajas, porque, requieren de equipos sencillos de fácil manejo que ayuda a suprimir el uso de productos químicos.

Dicha técnica, tiene un amplio rango de remoción de contaminantes (Albornoz,2019, p.18) y también genera lodos compactos en menor cantidad. Además, tiene una gran importancia en la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y remoción de metales pesados (Morales y Acosta,2013, p.20).

El presente Trabajo de Integración Curricular se centró en determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana, dividiéndose su desarrollo en cuatro fases de acuerdo con cada objetivo planteado. Es así como, la primera fase se centra en la caracterización los lixiviados producidos en el botadero controlado; la segunda fase busca diseñar y construir un prototipo para el proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados; mientras que, la tercera fase se enfoca en determinar las condiciones óptimas del tratamiento de electrocoagulación. Finalmente, en la cuarta fase se establece la eficacia del proceso de electrocoagulación para el tratamiento de los lixiviados.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los lixiviados de los rellenos sanitarios se producen por factores climáticos, de diseño, operación del relleno y composición (Quintero y Melo, 2019: pp.66-78). Además, los lixiviados constituyen un alto riesgo de contaminación al suelo, a las fuentes de agua superficiales y a los cuerpos de agua subterráneos, ya que por su alta concentración de compuestos tóxicos poseen características muy agresivas, las cuales ponen en riesgo a la población y a los ecosistemas. Así mismo el lixiviado, es considerado como el contaminante principal de un relleno sanitario o botadero controlado, que al ser descargado sin un debido tratamiento ocasiona graves daños al ecosistema; por lo que, es necesario estimar su producción, variación y composición para planificar adecuadamente tratamientos que controlen esta problemática, minimizando los impactos negativos al medio ambiente (Sánchez, 2020, p.14).

La falta de gestión de los residuos sólidos es un problema mundial (Sandris, 2021, p.7) con una fuerte incidencia en Francisco de Orellana. La problemática ambiental que genera el botadero controlado de residuos sólidos produce a su vez, un impacto negativo visible, debido a que, no existe un buen manejo en el tratamiento de los lixiviados que se originan en el botadero. Pese a que, éste cuenta con piscinas para la disposición de los lixiviados procedentes de los residuos, se les aplica un tratamiento de manera empírica y se los evacúa al medio ambiente.

Es importante considerar un tratamiento adecuado para que la descarga de los lixiviados producidos en el botadero controlado de Francisco de Orellana, cumpla con los límites establecidos en el acuerdo ministerial 097A, del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (Quiroz, 2020, pp.19-20).

1.2. Justificación

Uno de los problemas latentes de los rellenos sanitarios y botaderos es la generación de los lixiviados, los cuales tienen altas concentraciones de contaminantes que pueden alterar el recurso agua, suelo y aire si no tienen un adecuado tratamiento (Quiroz, 2020, p.20). Ante el crecimiento poblacional que tiene la ciudad de Francisco de Orellana y ante el incremento continuo de su producción per-cápita de residuos sólidos que en la actualidad es de 0,715 kg/hab/día (Macas, 2014, p.105), resulta de interés aplicar el método de electrocoagulación para el tratamiento de los lixiviados que se generan en el botadero controlado municipal., Ya que además, los resultados mostrados en varios estudios y tratamientos realizados, se obtienen remociones importantes de contaminantes .

El presente Trabajo de Integración Curricular surge de la necesidad de determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados. Esto, con el propósito de brindar una alternativa útil y eficiente y así cumplir con la normativa ambiental vigente. Por otra parte, con el análisis de los lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana y con el diseño y construcción de una celda a escala laboratorio para aplicar el tratamiento de electrocoagulación se contribuye con datos reales en cuanto a la eficacia en la remoción de contaminantes.

Este trabajo aporta amplios conocimientos en la técnica de electrocoagulación, misma que podrá ser replicada en otras futuras investigaciones y a su vez se podrá aplicar en el tratamiento de los lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los lixiviados producidos en el botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana.
- Diseño y construcción de un prototipo para el proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana.
- Determinar las condiciones óptimas, del tratamiento de electrocoagulación de los lixiviados del Botadero Controlado del Cantón Francisco de Orellana.
- Establecer la eficacia del proceso de electrocoagulación para el tratamiento de los lixiviados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Residuos sólidos

Según Tello et al., (2018: pp.3-5) los residuos sólidos que se generan en el diario vivir de las personas pueden ser de tipo sólido, líquidos o gaseosos; estos residuos sólidos agrupan todos aquellos que están bajo esta denominación (sólidos) y son todos aquellos que se generan dentro de los núcleos urbanos y sus zonas de influencia, entre los principales residuos que se puede encontrar está el papel usado, botellas de plástico o de vidrio o envases de cartón. Los residuos sólidos de alguna manera afectan al ambiente y a la sociedad hoy en día se genera una gran cantidad de residuos sintéticos como las baterías, plásticos, lámparas, artículos electrónicos entre otros (Lázaro et al., 2021: p.169).

Los impactos negativos que generan la acumulación de residuos sólidos son múltiples, dado que generan enfermedades entéricas, como tifus, cólera y hepatitis, como también cisticercosis, triquinosis, leptospirosis, toxoplasmosis, sarnas, micosis, rabia, salmonelosis, dependiendo de las condiciones locales (Rondón et al., 2016: pp.18-20). Por otro lado, los efectos ambientales que se destaca es el deterioro de la calidad de las aguas superficiales, esto se debe al escurrimiento de los lixiviados y por la acción de los líquidos percolados.

2.2. Manejo de residuos sólidos

El manejo de residuos sólidos se refiere al uso de técnicas para eliminar de forma segura y eficaz los residuos sólidos. Esto incluye que debe tener como propósito, la reducción de la producción, el reciclaje, la recolección, el tratamiento y la disposición final adecuada (Chacín, 2008, p.10). Sin embargo, el uso inadecuado puede causar grandes problemas de salud pública, ya que la tasa de producción de estos residuos supera los procesos de degradación, lo que contribuye al aumento de las fuentes de contaminación (Pazmiño, 2018, pp. 2-3).

2.3. Botadero

Un botadero es un lugar donde se depositan residuos sin ningún tipo de control, lo que provoca olores, gases. Además, se necesita gestionar acciones porque estos son focos de contaminación para aguas superficiales, aguas subterráneas. Sin embargo, los botaderos se pueden convertirse en

relleno sanitario o cerrarse para que el área pueda repararse completamente sin contaminación a nuestro alrededor (Huamani, 2017: pp. 5-7).

2.4. Lixiviado

El lixiviado no es más que la humedad presente en la materia orgánica de los residuos sólidos, los productos de biodegradación de la materia orgánica, el líquido derivado de las células del lixiviado y los residuos agregados que permean la cubierta. Es decir que es materia disuelta o en suspensión extraída de la masa de residuos (Cunha y Pereira, 2013: p. 11). Los lixiviados son generados por líquidos que ingresan al vertedero desde fuentes externas como el drenaje superficial y las precipitaciones, consecuencia de la descomposición de los residuos (Montes, 2011, pp. 17-18).

2.4.1. Lixiviados jóvenes

Cuando el lixiviado proviene de rellenos sanitarios con menos de dos años de operación, caracterizados altamente biodegradables, con rango de pH de 5 a 7,5 y altas concentraciones de DBO₅, DQO, TOC, nutrientes y metales pesados. De lo contrario, a medida que envejece el vertedero, la concentración de DBO₅, DQO, TOC, nutrientes y metales pesados en el lixiviado se reducirá significativamente y el lixiviado antiguo tendrá un valor de pH relativamente neutro (6,5-7,5) (Cuichán, 2022, p. 29).

2.4.2. Lixiviados Maduros

Si el lixiviado proviene de un vertedero o de un vertedero en funcionamiento desde hace 10 años o más, se denomina lixiviado viejo. Generalmente se caracteriza por niveles más bajos de contaminación orgánica en comparación con los lixiviados más jóvenes. Por lo tanto, la proporción de material biodegradable es alta. También tiene un bajo contenido de metales pesados y tiende a ser neutral (Torres, 2018, pp. 26-27). Las concentraciones son más bajas y las correlaciones entre las variables son menos fuertes, por lo que se deben caracterizar más variables, como los materiales inorgánicos y las tasas de contaminantes específicos, en relación a las características y fuentes (Torres et al., 2014: p. 9).

2.4.3. Orígenes de los lixiviados

Cuando los residuos sólidos son compactados, los líquidos orgánicos y el agua son liberados y filtrados, donde los residuos que transportan nutrientes y minerales se penetran al mismo tiempo. Además, las aguas pluviales arrastran y diluyen sólidos suspendidos, compuestos orgánicos y

sólidos solubles, aumentando el flujo de este líquido, con altas concentraciones de contaminante denominado lixiviado (Torres, 2018, p. 8). Los lixiviados se originan por humedad de los residuos y por fuentes externas, como el aporte o derrame de líquidos en el relleno sanitario y las precipitaciones que cae directamente sobre los desechos sólidos (López, 2011, pp. 33-34).

2.4.4. Producción de lixiviados

A medida que aumenta el contenido de humedad o porcentaje de materia orgánica degradable, aumenta la producción de lixiviados (Buchwald y Martínez, 2019: p.8). Es decir, a menor compactación, mayor su producción, donde los lixiviados están influenciados por varios factores, que incluyen la precipitación, el cambio climático estacional y el tipo y la composición de los desechos (Montes, 2011, pp. 18-19).

2.5. Composición y caracterización de los lixiviados

La composición de los lixiviados en los vertederos depende de factores como la antigüedad del vertedero, su composición y la cantidad de residuos (Dávila y Aguirre 2013: p.50). De tal manera que, se debe tener en cuenta que la composición del lixiviado puede variar según el área donde se encuentre, según el suelo, la tasa de desperdicio o la precipitación. Además, los lixiviados pueden contaminar el medio natural, especialmente si son filtrados por aguas superficiales o subterráneas (Cuichán, 2022, p 25).

La degradación de los residuos sólidos es el principal componente de la composición de los lixiviados, siendo un proceso complicado que involucra una serie de reacciones químicas y bioquímicas que conducen a la formación de gases y líquidos en los vertederos (Cuichán, 2022, p. 23).

2.6. Parámetros físicos

Según Cuichán (2022, pp.30-33), en su estudio menciona que, los parámetros físicos del agua son una secuencia de ensayos, pruebas y exámenes de sus características físicas que se encuentran en la muestra, como color, olor, turbidez, entre otros; además los resultados de estos parámetros nos ayudan a establecer la calidad del agua a tratar.

2.6.1. *Potencial de Hidrogeno (pH)*

El agua utilizada para consumo humano suele provenir de manantiales y tiene un pH de 6 a 8, mientras que, para las aguas residuales y lixiviados, suelen tener un pH muy ácido o básico, provocando problemas de corrosión (Verdesoto y Williams, 2019: p. 28). Por otro lado, la relación entre la concentración de iones de hidrógeno está inversamente relacionada con la acidez de la solución en una escala logarítmica porque el pH aumenta a medida que disminuye la acidez (Sanabria y Garay, 2020: p.9).

2.6.2. *Turbidez*

La turbidez se debe a la presencia de partículas sólidas en la suspensión, que impiden el reflejo de luz que se produce en el agua (Verdesoto y Williams, 2019:p.29). De manera general, las partículas coloidales de diámetros pequeños menores ($< 10 \mu\text{m}$) son las que le dan color al agua, mientras que partículas mucho más grandes con mayor diámetro, ya sean coloidales o no, producen la turbidez (Novelo, et al., 2004: pp.1-10). Por consiguiente, los lixiviados a tratar del botadero controlado son altos en turbiedad, debido a que tienen concentraciones de partículas muy altas.

2.6.3. *Sólidos Totales Suspendidos (STS)*

Los sólidos totales son la cantidad de material que queda como residuo después de la evaporación y el secado a $103-105^{\circ}\text{C}$. A estos valores se agregan los sólidos totales como la fracción que pasa por el filtro y los sólidos disueltos y sólidos no disueltos como porcentaje de sólidos totales retenidos por el filtro (Cuenca, 2019, p. 26).

2.7. *Parámetros químicos*

2.7.1. *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)*

Es un término que describe la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua que puede ser oxidada por oxidantes fuertes. La prueba demanda química de oxígeno mide el oxígeno molecular que utilizan los microorganismos para degradar la materia orgánica en un tiempo de cinco días. (Cercado, 2019, p.8).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) es una magnitud de la cantidad de oxígeno que es requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica en agua a 20°C durante

5 días. La DBO no mide compuestos específicos, pero es biodegradable y se mide aeróbicamente (Sánchez, 2020, p. 32).

2.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida aproximada del contenido orgánico total en una muestra de agua. En condiciones normales, esta materia orgánica puede biodegradarse lentamente y oxidarse a CO₂ y H₂O en un proceso lento que puede durar desde días hasta millones de años, según el tipo de materia orgánica presente y las condiciones de biodegradación (Sancha, 2013, p.30).

2.7.3. Metales Pesados

2.7.3.1. Cadmio (Cd)

Es un metal utilizado en la industria de acero y de plásticos. Los compuestos de cadmio son ingredientes comunes en las baterías, la cual el cadmio en los ambientes de aguas residuales, los fertilizantes y la contaminación del aire local causan una contaminación difusa (Medina, 2014, p.15).

2.7.3.2. Cobre (Cu)

Es uno de los 20 elementos indígenas, un mineral que se encuentra en estado puro en la naturaleza, la cual, se puede usar para disminuir la contaminación de los lixiviados de residuos orgánicos, es decir, es recomendable tratar el almacenamiento de residuos previamente con una capa de viruta o también limadura de cobre, o podría ser bien con sulfato de cobre, donde el Cobre actúa como un fuerte oxidante por su poder ionizante, inhibiendo o matando los microorganismos no deseables que pueden contaminar los mantos freáticos (Martínez, 2019, p.11).

2.7.3.3. Cromo (Cr)

Es un metal duro, quebradizo, de color blanco plateado, pero relativamente blando y dúctil cuando no está sometido a esfuerzos o es muy puro. Su uso principal es en la producción de aleaciones duras, resistentes al calor, resistentes a la corrosión y en recubrimientos galvanizados (Medina, 2014, p. 38).

2.7.3.4. Plomo (Pb)

Se utiliza en el proceso de fabricación de esmaltes, pigmentos sintéticos y cerámicas y termina en vertederos, donde provoca la muerte de organismos acuáticos y es otro componente de los lixiviados que se bioacumula y daña a los humanos (Verdesoto y Williams, 2019, p.31).

2.7.3.5. Zinc (Zn)

El Zinc es un elemento que se encuentra distribuido en la naturaleza, de manera escasa, representando un 0,012%, ya que en corteza terrestre (Rubio et al., 2007: p. 1). En el cuerpo humano se encuentra de manera abundante y está presente principalmente como un ion intracelular en el citosol. Su cantidad en adultos oscila entre 1 y 2,5 g, lo que lo convierte en el segundo oligoelemento más abundante en relación con el peso corporal total, solo superado por el hierro (Rubio et al., 2007: p.2).

2.8. Tratamiento de lixiviados

Existen varios métodos de tratamientos de lixiviados que provienen de rellenos sanitarios o rellenos controlados, incluyendo métodos de tratamientos tradicionales como tratamiento físico químico, tratamientos naturales, evaporación de lixiviados, método de membrana, biodegradación y electrocoagulación (Montes, 2011, p.4).

2.7.4. Sistemas físicos-químicos

Los procesos físicos y químicos incluyen suspensión, coagulación, agregación, adsorción y reducción por oxidación química de suspensiones, partículas coloidales, suspensiones, colorantes y toxinas. Los tratamientos fisicoquímicos de los lixiviados de vertedero se utilizan combinados dentro de las líneas de tratamiento (pretratamiento o limpieza final) o para tratar contaminantes específicos (Astorga, 2018, p.11).

2.7.5. Sistemas Naturales

Son una buena alternativa para el tratamiento de lixiviados y humedales artificiales, se caracterizan por ser fáciles de manejar, pudiendo obtener buenos resultados (Giraldo, 2001, pp. 5-6).

Esta tecnología es muy competitiva comparándolas con otras alternativas, una de las desventajas es la cantidad de terreno que se necesita para el proceso de posicionamiento (Giraldo, 2001, pp.48-

49). Se han sugerido como alternativas los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales porque tienen una capacidad de lograr diferentes niveles de procesamiento desde un pretratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse (Alvarado, 2017, p.49).

2.7.6. Evaporación de lixiviados

La evaporación es un sistema de tratamiento de lixiviados que, utiliza la energía del biogás del vertedero para calentar y vaporizar el lixiviado. La tecnología existente permite la descarga total de lixiviados de un vertedero, dejando lodos que se envían de vuelta al vertedero (Bozkurt, 2000, p.30).

2.7.7. Método mediante membrana

Estos sistemas son muy utilizados, debido a que esta tecnología se ha desarrollado muy rápido en los últimos diez años, estas membranas se las aplican en varios tratamientos de efluentes en los que se incluye los lixiviados que provienen de los rellenos sanitarios y botaderos controlados (Cedeño, 2022,p.16). También existen otras aplicaciones que tratan los lixiviados de una manera directa o a su vez se unen a otros tipos de tratamiento, como la ósmosis inversa y la ósmosis directa para una mayor eficiencia (Cuenca, 2019, p.23).

2.7.8. Biodegradación: Procesos anaerobios y aerobios

La separación de materia orgánica por el proceso de lodos activados se considera el método más eficiente y económico para lograr los resultados esperados. La cual la baja energía durante el proceso anaeróbico combinada con la eficiencia de la técnica aeróbica puede minimizar en gran medida el daño ambiental causado por los lixiviados (Bastos, 2021, p.10).

Las principales ventajas de los procesos anaeróbicos son sistemas de tratamiento y menor producción de lodos. Esto se refleja no solo en menores requerimientos técnicos para el personal que opera el sistema, sino también en menores costos de inversión y operación y mantenimiento (Giraldo, 2001, p.5).

Los procesos aeróbicos se utilizan a menudo cuando se desean obtener bajas concentraciones de DBO en el efluente. La concentración de DBO en el lixiviado es realmente alta, por lo que es fácil lograr eliminar 90% y porcentajes superiores para lograr este parámetro (Cuenca, 2019, p.31).

2.7.9. Electrocoagulación

Es un método en el que se aplican los principios de la coagulación-floculación de un reactor electrolítico en el que se forma el coagulante por oxidación. Los metales aluminio y acero se utilizan de manera frecuente como electrodos y cationes (Al^{3+} y Fe^{2+}) la cual se forman cuando se funden ánodos de sacrificio después de aplicar electricidad (Guanoluisa, 2012, p.43).

Una de las partes más importantes del proceso electrolítico es la neutralización de las cargas de partículas en suspensión, por lo que es importante controlar la probabilidad de Z que es la misma que la probabilidad de transmisión de Z cero con el propósito de la formación y adhesión de flóculos con burbujas de gas (Reyes y Mercado, 2003, p.27).

2.7.9.1. Unidad o reactor de electrocoagulación

Es una celda electroquímica en la que, a diferencia de la clarificación química, la generación de coagulante se realiza in situ mediante la electrólisis de un ánodo metálico, hecho de hierro y aluminio; (Holt, 2003, p.40). En este proceso las especies iónicas se eliminan del agua por reacción con iones de carga opuesta y adsorción con los flóculos de hidróxidos metálicos producidos como se muestra en la ilustración 2-1.

El tipo de reactor de electrocoagulación se debe seleccionar dependiendo el modo de operación si en lotes o continuo y si está acoplado con una unidad de electro flotación (EF), o una etapa de sedimentación que utiliza burbujas de gas generadas en el proceso (Huaman, 2016, p.40).

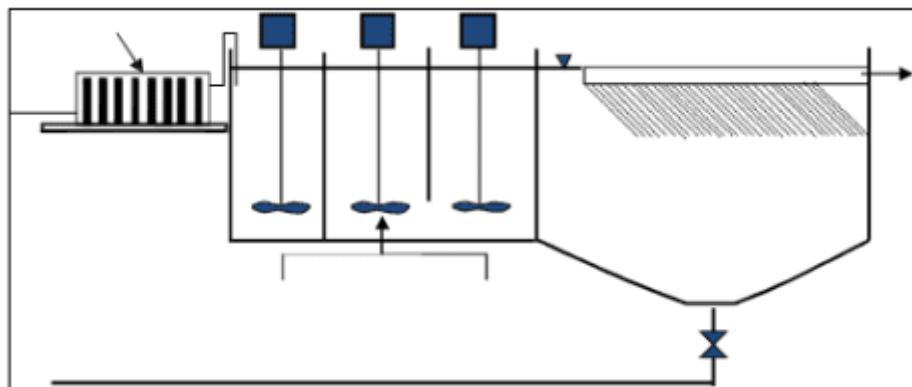


Ilustración 2-1: Esquema de la electrocoagulación en una unidad de alta tasa

Fuente: Mollah G., 2019

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

2.7.9.2. Zonas del reactor en la electrocoagulación

Estas zonas se las visualiza en el reactor como se ve en la figura 2-2, las mismas que se componen por: el área desde flotación, que contiene lodos ligeros o espuma, misma que se ubica en la parte superior del reactor. en la zona de reacción, se ubican los electrodos y se encuentra situada en el fondo del reactor. es así que entre las dos zonas se encuentra la zona de sedimentación, es decir que en este lugar se depositan los lodos que han precipitado(Arango y Garcés 2007, pp.1 - 12).

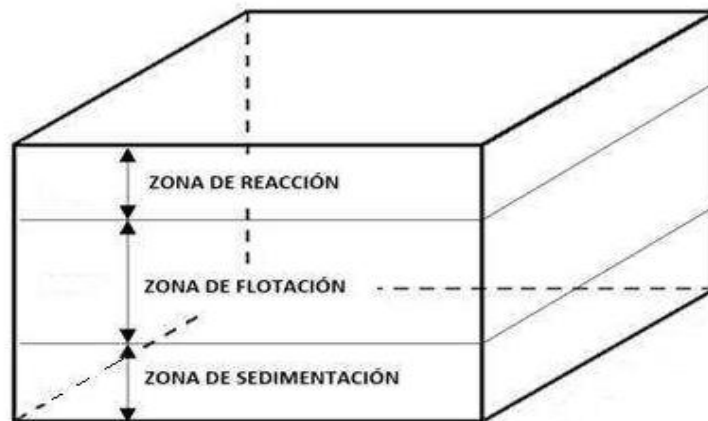


Ilustración 2-2: Zonas del reactor de electrocoagulación

Fuente: Arango y Garcés, 2007.

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

2.7.10. Factores que afectan a la electrocoagulación

2.7.10.1. Densidad de corriente

La electrocoagulación utiliza corriente continua, una alta tasa de corriente, principalmente para la eliminación de impurezas y la formación de burbujas con electrodos. además, la energía eléctrica se convierte en energía térmica, que calienta el agua, lo que provoca una pérdida de energía (Mendieta, 2013, pp.43-44).

2.7.10.2. Efecto de la temperatura

El efecto de la temperatura en esta tecnología no ha sido estudiado en detalle, la corriente más efectiva se encuentra si se aumentando la temperatura a 60 °C, el aumento del rendimiento de la corriente con la temperatura está asociado con el aumento de la actividad de destrucción del aluminio. película de óxido en el electrodo (Ninan y Zambrano, 2019, p.54).

2.7.10.3. Efecto del potencial de hidrogeno

El pH está directamente relacionado con la presencia de hidróxido metálico. La mejor eliminación de la contaminación se encuentra a un pH cercano a 7, pero se usa más energía porque a pH 7 la conductividad cambia. Además, si la fuerza es alta se trabaja a pH neutro, al reducir la conductividad; por otro lado, si la conductividad es alta, el efecto del pH no es visible (Mendieta, 2013, p.34).

2.7.10.4. Tiempo de retención

El tiempo de residencia, determina que a mayor valor se formen más partículas sólidas, debido a que se favorece la actividad del electrodo y la floculación y sedimentación de las partículas sólidas. Se forman unos gases que, al ascender, desplazan hacia arriba las partículas de óxido en forma de espuma, y por otro lado, contribuyen al crecimiento de las escamas (Ninan y Zambrano, 2019: pp.55-56).

2.7.10.5. Distribución espacial de los electrodos

Es muy importante conocer la distancia que debe haber entre cada electrodo en el reactor, porque cuanto menor es la distancia entre cada uno, mayor es el campo para eliminar los contaminantes. Además, si la distancia entre cada electrodo aumenta, el gasto de energía también aumenta considerablemente (Mendieta, 2013, p.45).

2.8. Legislación

2.8.1. Normativa Internacional

Las normativas europeas y nacionales sobre aguas continentales y eliminación de aguas residuales, regula la eliminación de los residuos, utilizando sedimentos de vertederos. El anexo I, menciona que la ubicación y el diseño de los rellenos sanitarios deben reunir las condiciones necesarias para evitar contaminar el suelo, aguas subterráneas y superficiales. A su vez debe estar alejados de riberas y zonas de pobladas garantizando la recogida eficaz del lixiviado en las condiciones establecidas en el apartado 3.2 del mismo anexo. Cabe mencionar, que en la fase activa y aprovechamiento del vertedero se debe hacer combinaciones de la barrera biológica con el revestimiento artificial bajo la masa de residuos (Ambiente, 2007,p.17). En la tabla 2-1, se da a conocer los limites permisibles de descarga de los lixiviados.

Tabla 2-1: Normativa de vertido lixiviados

Contaminante	Descarga máxima Para un día (mg/l)	Descarga promedio mensual (mg/l)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	220	56
Sólidos suspendidos totales	88	27
Amonio	10	4.9
Arsénico	1.1	0.5
Cromo	1.1	1.4
Zinc	0.5	0.3
Potencial de hidrogeno	6.0-9.0	6.0 - 9.0

Fuente: Ambiente, 2007

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

2.8.2. Normativa Nacional

La normativa que se encuentra vigente en el Ecuador es el texto unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiental, anexo I, que es la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de efluentes al Recurso Agua, Tabla 9, donde menciona los límites máximos permisibles en que se debe descargar los efluentes a un cuerpo de agua dulce. Así mismo regula las cargas máximas permisible a los cuerpos receptores, siendo los municipios los asignados para definirlos y justificarlos de manera técnica (Cedeño, 2022, p.21). En la tabla 2-2, se presentan los rangos en que está permitido realizar la descarga a cuerpos de agua dulce.

Tabla 2-2: Límites de descargas a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust.solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	Bo	mg/l	2,0
Cadmio	Ca	mg/l	0,02
Cianuro total	CN-	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5

Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl-	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliforme Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacoal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno total Kjedahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrogeno	Ph		6 – 9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000

Sulfuros	S-2	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural +3
Tensoactivo	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: MAE, 2015

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

2.8.3. Normativa empleada para el muestreo

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 de Calidad del agua, Muestreo, y Técnicas de muestreo, indica las guías que deben aplicarse para obtener datos en los estudios de control de la calidad del agua natural, aguas que estén contaminadas y aguas residuales para su caracterización respectiva. De tal manera que solo se aplica a las técnicas de muestreo general (NTE, 2016, pp.1-15).

2.8.4. Normativa para el transporte y conservación de la muestra

Para la recolección de muestras de los lixiviados y transporte se debe tomar en consideración la normativa INEN 2169, con su nombre establecido, Muestreo manejo y Conservación de Muestras. Esta normativa da a conocer técnicas y precauciones que se deben tener en cuenta para la recolección, conservación y transporte de cualquier tipo de aguas. Cabe mencionar que esta norma se utiliza para muestras simples y compuestas que no se pueden analizarse en campo, siendo obligatorio su traslado al laboratorio (NTE-INEN, 2013: pp.1 - 26).

2.8.5. Normas de seguridad y precauciones

Se establece en la normativa 45001 que los Equipos de Protección Personal son de gran importancia pese a que este debe ser el último mecanismo de defensa a considerar para evitar riesgos de seguridad y salud de sus trabajadores. A partir, de esta normativa los elementos de protección personal en el laboratorio son: mandil, guantes, mascarillas y lentes de seguridad.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

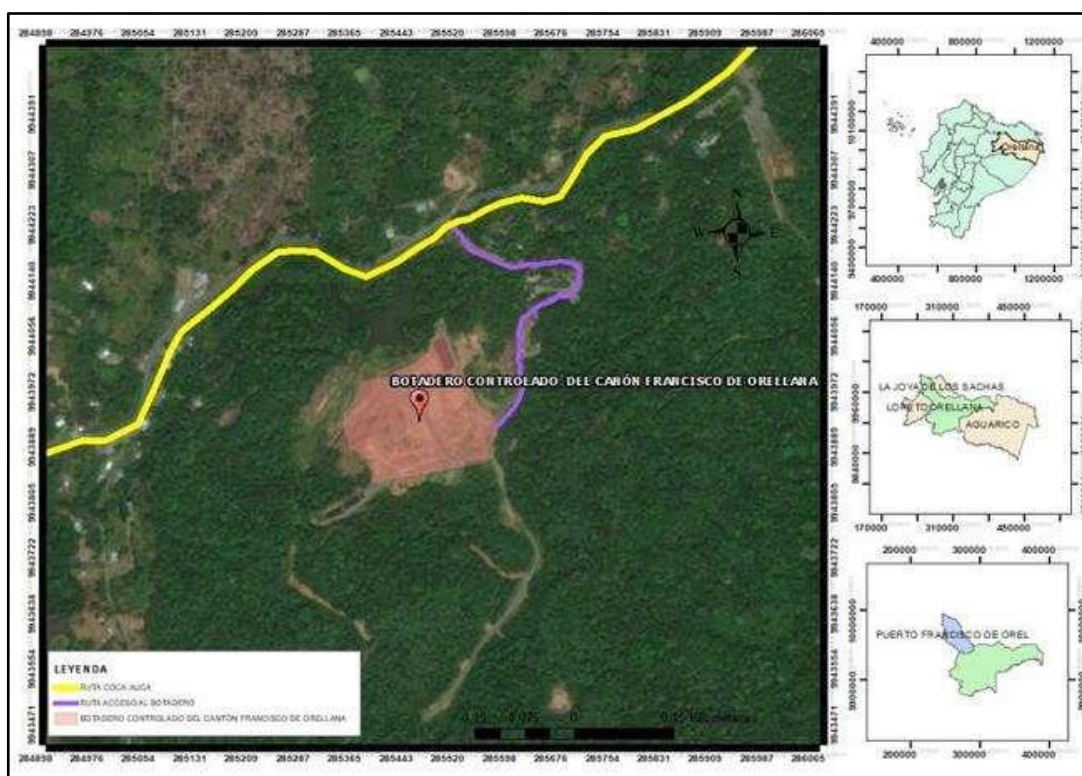


Ilustración 3-1: Ubicación del Botadero controlado del cantón Francisco de Orellana

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

El cantón Francisco de Orellana se encuentra ubicado al nororiente de la Región Amazónica Ecuatoriana, con una superficie total de 143.6 km² (Andrade et al., 2018). El Botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana se encuentra ubicado en el sector La Paz, Parroquia el Dorado km 9 vía al Auca, en un terreno de propiedad municipal. El área de estudio cuenta con una extensión de 10 hectáreas; su funcionamiento empezó desde el año 1998 hasta la actualidad. Como referencia aledaña se menciona que se encuentra a lado derecho el vivero forestal y a lado izquierdo el Zoológico Municipal de Francisco de Orellana - Coca Zoo (Arias y Gonzáles, 2021, p.11).

3.2. Enfoque de la Investigación

El desarrollo del presente Trabajo de Integración Curricular (TIC), tiene un enfoque cuantitativo y experimental debido a que se realiza un prototipo a escala de laboratorio para la experimentación con variaciones en los parámetros de interacción durante el proceso de electrocoagulación (voltaje y tiempo) para la caracterización y optimización, en el tratamiento de los lixiviados.

3.3. Alcance de la investigación

El TIC, está limitado a la elaboración del prototipo a escala de laboratorio para determinar las condiciones óptimas y establecer cuan eficaz es el proceso de electrocoagulación en el tratamiento del lixiviado proveniente del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana piscina N.º 1.

3.4. Diseño de la investigación

El Trabajo de Integración Curricular, es técnico-experimental debido a que se realiza investigación y es aplicada en el trabajo de campo con experimentaciones para obtener datos cuantitativos reales que permiten dar resultados a los objetivos propuestos. Para el diseño de la investigación se procedió con una revisión bibliográfica con el fin de plantear el tema, objetivos y realización del marco teórico. La experimentación se realizará mediante muestreo en el área de estudio para la caracterización inicial del lixiviado. También, se diseñará un prototipo a escala de laboratorio para aplicar el método de la electrocoagulación. Además, se analizarán los resultados obtenidos y evaluará la eficacia del tratamiento.

3.4.1. *Diseño Experimental*

El diseño experimental es de tipo factorial de 4X3, es decir cuenta con cuatro factores y tres niveles de repetición en cada factor, este experimento factorial tendría en total doce combinaciones de tratamiento (ver tabla 3-1), debido que se logra identificar cuan eficiente es el proceso de electrocoagulación y cuáles son los efectos que produce en el lixiviado, dando a conocer cuanta remoción de contaminantes se puede obtener en los siguientes parámetros como: cadmio, cinc, cobre, cromo, plomo, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, potencial de hidrógeno, turbidez, color y temperatura; aplicando diferentes tiempos y voltajes dando como resultado alteraciones que se dan entre cada factor o parámetro estudiado.

Tabla 3-1: Diseño factorial del tratamiento experimental

Unidades experimentales	Tiempo (min)	Voltaje (V)	Amperaje (A)
1	15	2,5	5
2			
3			
1	15	3	5
2			
3			
1	20	2,5	5
2			
3			
1	20	3	5
2			
3			

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.5. Tipos de investigación

3.5.1. Investigación bibliográfica y descriptiva

La presente investigación fue de carácter exploratorio y descriptivo, ya que se basó en hallazgos de libros, artículos, tesis e investigaciones, que fueron necesarias para el desarrollo del tema, objetivos y marco teórico del Trabajo de Integración Curricular. También fue descriptiva por su enfoque científico para observar y documentar el comportamiento actual de cada factor involucrado, destacando el análisis de los lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana, aplicando el proceso de electrocoagulación para remoción de contaminantes presentes.

3.6. Desarrollo Experimental

El TIC, fue experimental, debido a que las variables que se utilizaron fueron independientes como el tiempo, amperaje y voltaje, estas variables pueden ser manipuladas para determinar cuan efectiva es la remoción de contaminantes presentes en el lixiviado a tratar.

3.6.1. Recolección de muestra de los lixiviados

Se determinó el punto de recolección del lixiviado; luego se procedió a colocarse el equipo de protección personal y bioseguridad; además, se homogenizó la botella de vidrio ámbar con el lixiviado (ver tabla 3-2), posteriormente se tomó una muestra simple, que fue al inicio de la

piscina, una vez recolectada la muestra, se llenó la botella de vidrio ámbar con un litro de lixiviado. Finalmente, se procedió a cerrar el envase.

Tabla 3-2: Materiales y equipos para la toma de la muestra

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Gafas 	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de vidrio ámbar 1l
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Etiquetas
<ul style="list-style-type: none"> • Mascarilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Cooler
<ul style="list-style-type: none"> • Overol 	<ul style="list-style-type: none"> • Hielo
<ul style="list-style-type: none"> • Zapatos de seguridad o botas 	<ul style="list-style-type: none"> • Embudo

Fuente: INEN, 2013

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023



Ilustración 3-2: Toma de la muestra de lixiviados

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.6.2. Rotulado y cadena de custodia

Una vez obtenida la muestra en las botellas de vidrio ámbar, se colocó la etiqueta autoadhesiva con los datos de la muestra, las que incluyen el nombre del solicitante, hora, fecha y lugar. Así mismo, se llenaron las cadenas de custodia de los laboratorios AqLab y GADPO (ver anexos A y B) de acuerdo con lo establecido en la norma INEN 2176:98, Agua: Calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo (INEN, 2013, p.13).

3.6.3. *Transporte y conservación*

Las muestras recolectadas fueron guardadas en un cooler con refrigerante, para que conserve sus características originales y se transportaron a los laboratorios de AqLab y GADPO, en la ciudad del Coca, para los respectivos análisis. Además, los recipientes fueron protegidos de la luz directa en un ambiente fresco y sellados de manera que no se durante el transporte (INEN,2013, pp.1-12).

3.7. **Análisis y caracterización de lixiviados**

Los análisis de lixiviados jóvenes se realizaron mediante la caracterización de parámetros físicos y químicos iniciales de una sola muestra como cadmio, cinc, cobre, cromo, plomo, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, potencial de hidrógeno, turbidez, color y temperatura. Mientras que para los ensayos posteriores se realizaron tres análisis a cada parámetro antes mencionado con su respectivo procedimiento.

3.7.1. *Caracterización de los parámetros físicos*

3.7.1.1. *Determinación de la temperatura*

Para la determinación de la temperatura del lixiviado se utilizó el multitermómetro (*multi-thermometers*) de manera in situ en el botadero controlado del cantón Francisco de Orellana como se muestra en la ilustración 3-3. Previamente calibrado el equipo, se sumergió el electrodo en la muestra y finalmente, se registraron los resultados obtenidos (LABGADPO, 2012, p.5).

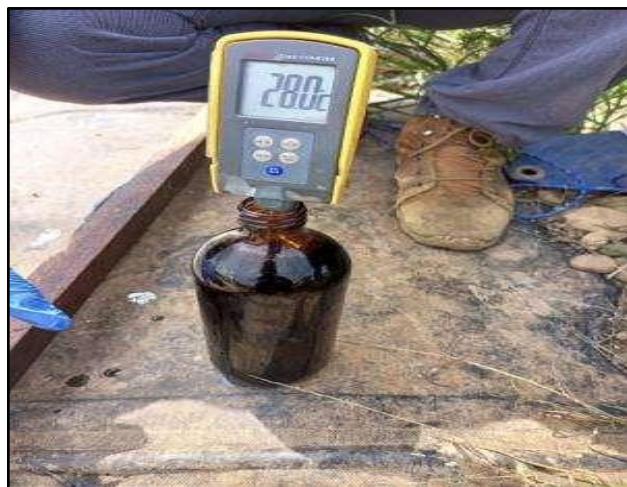


Ilustración 3-3: Determinación de la temperatura del lixiviado

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.7.1.2. *Determinación de la turbidez*

Como indica Sevilla (2017, p.73), para determinar la turbidez, se utilizó el método nefelométrico. Para esto, se calibró previamente el turbidímetro (portátil 2100Q), luego se colocó en una celda 15 ml del lixiviado y se retiró con un paño todos los residuos existentes. Posteriormente, se aplicó una película delgada de aceite de silicona y se ubicó en el turbidímetro. Finalmente, se obtuvieron los resultados de la turbidez en NTU (LABGADPO, 2012, p.5).

3.7.1.3. *Determinación del potencial de hidrógeno (pH)*

Según lo mencionado por Carmona (2019, p.22), para determinar el potencial de hidrógeno (pH), se utilizó el método electrométrico. Se colocó en un vaso de plástico, 20 ml del lixiviado (ilustración 3-4), se sumergió los electrodos del pHmetro (PCE-PH 28L) en la muestra, se la homogenizó y finalmente, se anotaron los valores obtenidos (LABGADPO, 2012, p.5).



Ilustración 3-4: Determinación del pH del lixiviado

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.7.1.4. *Determinación de sólidos totales suspendidos*

Se utilizó el método gravimétrico para la determinación de los sólidos totales suspendidos (Chacon,2016, pp.36-38). Una vez obtenidos los materiales y equipos (ver tabla 3-3), se lavó el filtro con 20ml de agua destilada dentro del crisol gooch, luego se retiró el crisol y se trasladó al horno de secado a 103 - 105°C por 1 hora. Posteriormente se puso en el desecador por 10min y después

se pesó el crisol seco. Se volvió a ubicar el crisol con el filtro donde colocó 50 ml de lixiviado y se filtró al vacío. Finalmente se pesó y se registraron los datos en ppm de los sólidos totales suspendidos presentes en la muestra.

Tabla 3-3: Instrumentos para la determinación de sólidos totales suspendidos

Materiales	Crisoles gooch y filtros	Probeta de 50 ml	Matraz Kitasato	Desecador
Reactivos	Muestra problema	Agua destilada		
Equipos	Hornso de secado (103-105°C).	Balanza de analítica	Bomba de vacío	

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.7.2. Caracterización de los parámetros químicos

3.7.2.1. Determinación de metales pesados

Para analizar los metales pesados se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Sanchez,2016, pp.38-39). Este método fue usado para la determinación de los siguientes metales pesados disueltos: Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo y Plomo. El equipo utilizado fue el espectrofotómetro de absorción atómica (FASS), Marca *thermofisher*, ICE 3000 perteneciente al GADPO. Se procedió filtrando las muestras del lixiviado con un filtro de 40 μm de espesor, después se acidificó la muestra y se analizó por el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Finalmente se determinó la concentración de los metales con la lectura de la curva de calibración que arrojó el equipo, y se registraron los datos obtenidos.



Ilustración 3-5: Caracterización de los metales pesados

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.7.2.2. *Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)*

Para el análisis de la demanda química de oxígeno en lixiviados se utilizó la técnica de reflujo cerrado y para su cuantificación se empleó el método espectrofotométrico (LABGADPO, 2013: pp.4-9). Los equipos fueron previamente calibrados. Primero se colocó las muestras y los estándares de ftalato junto al bloque de digestión y al equipo UV en un tiempo de 30min antes, para su debida aclimatación. Posteriormente, se procedió a colocar la muestra en blanco y los estándares en su respectivo tubo de digestión y la muestra a ser analizada, tanto el blanco como los estándares, es decir, 2mL de agua destilada, 2mL de muestra, 2mL del estándar de ftalato con una concentración de 20 mg/L y 100mg/L. Luego, se encendió el bloque de digestión y se colocaron los tubos digestores a 150°C por 2 horas. Una vez concluyó el tiempo se retiraron los tubos cuidadosamente y se agitaron para homogenizar, y se colocó en gradillas para su enfriamiento. Finalmente, se midió la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO), con ayuda del espectrofotómetro y se registraron los resultados obtenidos.



Ilustración 3-6: Caracterización del DQO

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

3.7.2.3. *Procedimiento para la determinación del color y la demanda biológica de oxígeno*

Esta actividad se ejecutó con la ayuda y supervisión del técnico responsable del Botadero controlado del cantón Francisco de Orellana para la recolección de muestras de lixiviados y posteriormente ser llevados al laboratorio para ser analizados.

Tabla 3-4: Caracterización del color y la demanda biológica de oxígeno

Parámetro	Unidad	Método	Equipos
Color real	U Pt-Co	SM 2120 C / 23	Fotómetro
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	SM 5210 D / 08	Medidor de Oxígeno, Incubadora

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023.

3.8. Proceso de diseño y construcción de un prototipo para el proceso de electrocoagulación

Tanto Mercado (2003), como Yangal (2017), Reyes y Bermeo (2017), indicaron en sus estudios que el uso del vidrio acrílico es un eficaz aislante eléctrico en la aplicación de procesos de electrocoagulación; así mismo es necesario tomar en cuenta que este material es de bajo costo y se encuentra disponible en el mercado. Por esta razón, se realizó el diseño y construcción del prototipo para el proceso de electrocoagulación con un reactor de vidrio acrílico.

Las dimensiones del reactor se calcularon mediante la siguiente formula:

$$Q = v / t \text{ (Ecuación 1) donde;}$$

Q= Caudal

V= Volumen

t= Tiempo

El número de electrodos según lo menciona Yagual (2017, p.31) se tomó en cuenta el largo de reactor de 28cm y la distancia de separación de 4cm entre las placas, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(\text{largo de la celda}) - 2 * (\text{Dist.electrodos a cara lateral})}{(\text{Dist.màxima de electrodos} + \text{espesor de placa})} \text{ (Ecuación 2).}$$

Según Reyes y Bermeo (2017, p.31) se determinó las dimensiones de los electrodos tomando en cuenta el alto y ancho del reactor, mediante la formula:

$$D = \frac{I}{A}; \text{ (Ecuación 3) donde;}$$

D: densidad

I: intensidad

A: amperaje

Además, se consideró por Mercado (2003, p.18), al aluminio y hierro como buenos conductores de la electricidad. Estos electrodos fueron ubicados a una distancia de separación de 4cm de cada una.

Para determinar el volumen del reactor según lo mencionado por Revelo (2021, p.35), se utilizó en las muestras experimentales se calculó con la siguiente fórmula:

$$V_{\text{reactor}} = x * y * z \text{ (Ecuación 4), donde;}$$

V_{reactor} : volumen del reactor.

x : medida del alto de reactor.

y : medida del largo del reactor.

z : medida del ancho del reactor.

Todo esto es conectado a la fuente reguladora de voltaje marca Phywe con amperaje de 0-5 amperios y voltaje de 0-15 voltios. Finalmente, con el prototipo se realizaron las pruebas experimentales con los tiempos y voltajes establecidos en la tabla 3-1.

3.9. Determinación de las condiciones óptimas para el tratamiento de electrocoagulación de los lixiviados

Para determinar las condiciones óptimas para el tratamiento de electrocoagulación se toma en consideración el voltaje, tiempo y amperio. Las variables de operación obtenidas para el reactor de electrocoagulación son de voltajes 2,5V y 3,0V; con una intensidad de corriente de 5 Amperios y el tiempo de reacción son de 15 y 20 minutos, estas variables tienen relación con el estudio de Yagual (2017) y Revelo (2021), donde se analizó tipos de aguas provenientes de lixiviados y se consideraron las mismas variables. Los parámetros establecidos para la determinación de las condiciones óptimas del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de lixiviados del botadero controlado del cantón Francisco de Orellana fueron: cadmio, cinc, cobre, color real, cromo, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, plomo, potencial de hidrogeno, sólidos totales suspendidos, temperatura y turbidez.

En esta investigación se realizaron tres pruebas de cada parámetro para obtener mejor precisión en los resultados como se muestra en la tabla 4-4. Con este proceso se busca remover la mayor materia contaminante y presentes en el lixiviado, donde se harán las configuraciones necesarias para tener buenos resultados.

Tabla 3-5: Condiciones óptimas para el proceso de electrocoagulación de los lixiviados

Unidades experimentales	Tiempo (min)	Voltaje (V)	Amperaje (A)
3	15	2,5	5
3		3	
3	20	2,5	
3		3	

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023.

3.10. Eficacia del proceso de electrocoagulación

Para determinar la eficacia del proceso de electrocoagulación se comparó los valores obtenidos de los parámetros al inicio de la caracterización y previo a la aplicación del proceso de la electrocoagulación y posterior a éste, de acuerdo con los porcentajes de remoción de cada parámetro analizado se procedió a realizar los cálculos aplicando la siguiente ecuación (Revelo,2021, p.40).:

$$n = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

n : Porcentaje de remoción del parámetro analizado.

C_i : Concentración inicial del parámetro.

C_f : Concentración final del parámetro.

Los porcentajes de remoción de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente se registraron en diferentes tablas de resultados.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Caracterización de los lixiviados del botadero controlado del Cantón Francisco de Orellana

Los resultados obtenidos en este Trabajo de Investigación Curricular se presentaron en base a los objetivos planteados y la metodología utilizada. En la primera fase se da a conocer los resultados de la caracterización de los lixiviados del Botadero controlado del cantón Francisco de Orellana, se consideró la normativa vigente TULSMA, libro VI tabla 9. A continuación, se presenta la caracterización Físico – Químico de la muestra del lixiviado.

Tabla 4-1: Resultados de la caracterización de los lixiviados

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	Condiciones iniciales
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	< 0,03
Cinc	Zn	mg/l	5,0	< 0,10
Cobre	Cu	mg/l	1,0	< 0,30
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20	133
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5	< 0,30
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/l	100	5700
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	200	113715,45
Plomo	Pb	mg/l	0,2	< 0,30
Potencial de Hidrogeno	pH		6 – 9	6,73
Sólidos totales suspendidos	STS	mg/l	130	295,00
Temperatura	°C	°C	Condición natural +3	28
Turbidez	Turbidez	NTU		7372,804

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la tabla 4-1 de los resultados obtenidos se observa que la demanda bioquímica de oxígeno tiene un valor de 5700mg/l, demanda química de oxígeno tiene un valor 113715,45mg/l, sólidos

totales suspendidos 295,00mg/l, turbidez se tiene un valor 7372,804NTU, y el color real se tiene un valor de 133 estos parámetros se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente, ya que su composición tiene por ejemplo, materia orgánica en descomposición, sobras de detergentes, resto de líquidos, entre otros; generando este subproducto que es el lixiviado (Torres, 2014; pp. 15-17). Mientras que los parámetros como cadmio, zinc, cobre, plomo, cromo, temperatura y potencial de hidrógeno se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente.

4.2. Diseño y construcción del prototipo para el proceso de electrocoagulación

4.2.1. Dimensiones del reactor

Se construyó el reactor de vidrio acrílico con dimensiones de 21cm de ancho, 28cm de largo y 11cm de alto con un espesor 2mm como se muestra en la ilustración 1-4, estas medidas fueron tomadas como referencia de la investigación de Reyes y Bermeo (2017, p.63), las siguientes fórmulas son:

Caudal de lixiviados

$$Q = v / t \text{ (Ecuación 5)}$$

$$0,0073 \frac{L}{s} * \frac{0,001m^3}{1L} * \frac{3600s}{1h} = 0,026 \frac{m^3}{h}$$

Volumen del reactor a escala piloto

$$V = \Theta / t \text{ (Ecuación 6)}$$

$$V = (0,026 \frac{m^3}{h}) / (0,22h)$$

$$V = 5,7816 \times 10^{-3} m^3$$

$$V = 5,7816 L$$

Volumen máximo que tratar es de 5,7816 L

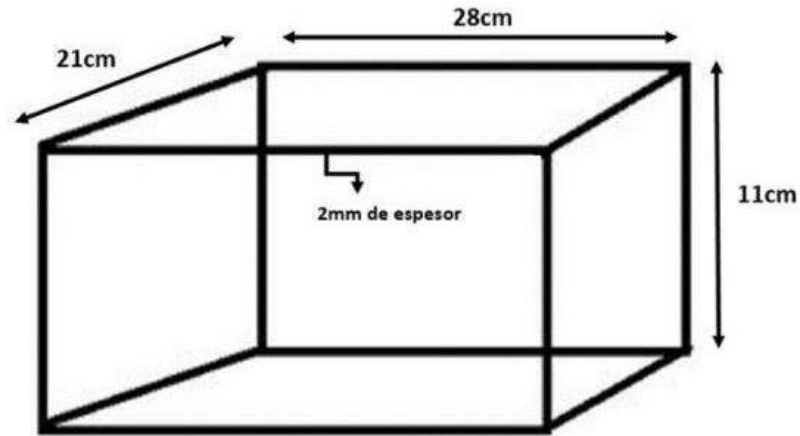


Ilustración 4-1: Dimensiones del reactor

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

Se calculó el volumen del reactor, aplicando la siguiente formula:

$$V_{\text{reactor}} = x * y * z \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

V_{reactor} = Volumen del reactor

x = Alto(cm)

y = Largo (cm)

z = Ancho(cm)

$$\text{Volumen del reactor} = (11\text{cm}) (28\text{cm}) (21\text{cm})$$

$$\text{Volumen del reactor} = 6468\text{cm} * \frac{0.001\text{L}}{1\text{cm}}$$

$$\text{Volumen del reactor} = 6,468 \text{ litros//}$$

Como resultado se obtuvo que la capacidad de volumen del reactor es de 6,468 litros.

4.2.2. Número de electrodos

Según Yagual (2017: pp. 25-27), para determinar el número de electrodos a utilizar en el prototipo para el proceso de electrocoagulación de lixiviado se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(\text{largo de la celda}) - 2 * (\text{Dist. electrodos a cara lateral})}{(\text{Dist. máxima de electrodos} + \text{espesor de placa})} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(280) - 2 * (40)}{(40 + 2)}$$

$$N_p = 5 \text{ electrodos}$$

Como resultado se utilizaron 5 electrodos de los cuales 3 sirven cátodos (aluminio) y 2 de ánodos (hierro) como se muestra en la ilustración 2-4.

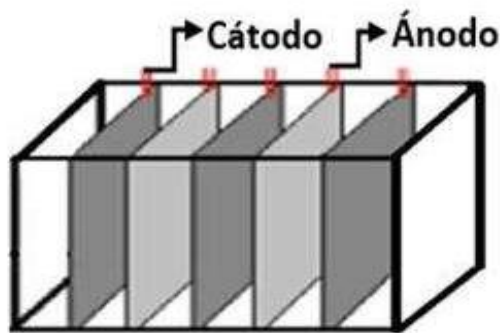


Ilustración 4-2: Número de electrodos

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

4.2.3. Dimensiones de los electrodos

Se calculó las dimensiones de los electrodos mediante la siguiente formula:

$$D = \frac{I}{A} \quad (\text{Ecuación 9})$$

A partir del cálculo de la densidad de la corriente, se despeja la siguiente variable;

$$D = \frac{I}{A * Au * Hu} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$D = \frac{2}{(5) * (0.7) * (0,10)}$$

$$D = 5,71 \text{ A/m}^2$$

Despejamos;

$$A * Au * Hu = \frac{I}{D} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$Au = \frac{I}{D * A * Hu}$$

$$Au = \frac{2}{(5,71) * (2) * (0,10)}$$

$$Au = 0,15m^2 * Hu$$

Despejamos;

$$0,15 * Hu = \frac{I}{D * A * Hu} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Hu = \sqrt{\frac{I}{D * A * 0,15}}$$

$$Hu = \sqrt{\frac{2}{(5,71) * (2) * (0,15)}}$$

$$Hu = 0,10m^2$$

$$Au = 0,15m^2 = 15cm^2 //$$

$$Hu = 0,10m^2 = 10cm^2 //$$

Como resultado se obtuvo que cada placa tiene una dimensión de 15cm de ancho, 10cm de alto y un espesor de 2mm como se muestra en la ilustración 3-4.

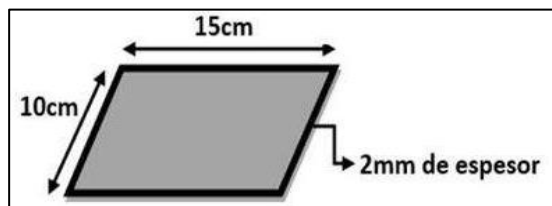


Ilustración 4-3: Dimensiones de los electrodos

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

4.2.4. Prototipo final para el proceso de electrocoagulación

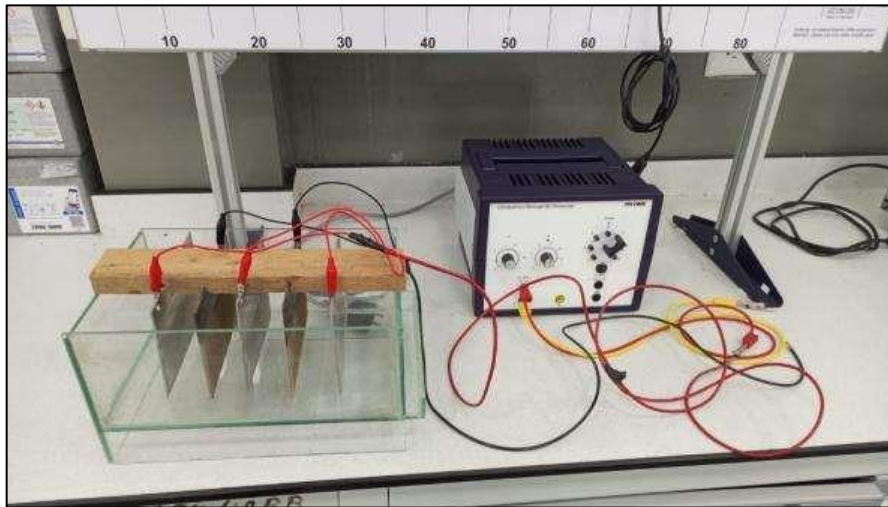


Ilustración 4-4: Prototipo final del reactor

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la ilustración 4-4 se muestra el prototipo construido que se utilizó en el proceso de electrocoagulación para las diferentes pruebas experimentales. Este prototipo está constituido por una fuente de poder de 5 amperios y 15 voltios, también cuenta con 5 placas de las cuales son 3 de aluminio y 2 de hierro; un reactor de vidrio acrílico y un cableado utilizando cables de color negro siendo el positivo y el cable rojo siendo el negativo para lograr una mejor conductividad de la electricidad.

4.3. Porcentajes de remoción mediante el proceso de electrocoagulación para los lixiviados del Botadero Controlado del Cantón Francisco de Orellana

A continuación, se muestra el comportamiento de los parámetros aplicados en el proceso de electrocoagulación. Tomando en cuenta los tiempos y voltajes utilizados en las pruebas experimentales como se muestran en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Resultados de la caracterización de los lixiviados

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CONDICIONES INICIALES	TIEMPO (MIN) 15 MIN						TIEMPO (MIN) 20 MIN					
			Voltaje 2,5			Voltaje 3,0			Voltaje 2,5			Voltaje 3,0		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Cd	0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Zn	5,0	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cu	1,0	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Cr	0,5	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
DBO	100	5700	1175	925	1250	1075	1225	1050	950	750	825	1025	1000	975
DQO	200	113715,45	2752,6	2839,51	2887,61	3061,43	2697,75	2381,33	2280,92	1814,3	2056,43	2532,37	2620,12	2564,43
Pb	0,2	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
STS	130	295,00	150	265	260	200	250	240	285	280	220	245	115	295
°C	Condición natural +-3	28	24,3	24,2	24,3	24,3	24,3	24,3	24,7	24,5	24,5	24,4	24,3	24,2
Turbidez	NR	7372,804	377,14	396,54	289,0	218,8	258,13	226,39	233,2	288,73	248,62	136,58	97,91	100,2
pH	6 – 9	6,73	6,95	6,93	6,93	6	7,07	6,94	7	6,78	7,1	6,97	6,94	7
Color real	I. en dilución: 1/20	133	10	10	10	10	10	10	17	10	10	10	10	10

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 20232

Las variables de operación obtenidas para el reactor de electrocoagulación de voltajes 2,5V y 3,0V; con una intensidad de corriente de 5 Amperios y tiempo de reacción de 20 minutos, se relaciona con estudios previos donde se realizó aguas provenientes de lixiviados por Yagual (2017, p.31) y Revelo (2021, p.59). Aplicando este proceso de electrocoagulación para tratar el lixiviado se disminuye la DBO, DQO, STS, °C, Turbidez y pH que se encuentran presentes en el lixiviado (2003, p.45).

En la tabla 4-2, se evidencia la disminución de la carga contaminante en comparación de los resultados iniciales, DQO, DBO, turbidez y color real los cuales tienen una gran reducción de contaminantes mediante el proceso de electrocoagulación.

Tabla 4-3: Promedios de los resultados de la caracterización de los lixiviados

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CONDICIONES INICIALES	PROMEDIOS			
			TIEMPO 15 MIN		TIEMPO 20 MIN	
			VOLTAJE 2,5	VOLTAJE 3,0	VOLTAJE 2,5	VOLTAJE 3,0
Cd	0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Zn	5,0	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Cu	1,0	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Cr	0,5	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
DBO	100	5700	1116,67	1116,67	841,67	1000,00
DQO	200	113715,45	2826,57	2713,50	2050,55	2572,31
Pb	0,2	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
STS	130	295,00	225,00	230,00	261,67	218,33
°C	Condición natural +-3	28	24,27	24,30	24,57	24,30
Turbidez	NR	7372,804	354,23	234,46	256,85	111,57
pH	6 – 9	6,73	6,94	6,67	6,96	6,97
Color real	Inapreciable en dilución: 1/20	133	10,00	10,00	12,33	10,00

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

Una vez obtenidos los resultados de la experimentación se obtuvo los promedios de cada parámetro considerado en el desarrollo del TIC, como se muestra en la (tabla 4-3) con la finalidad de la eficacia del método utilizado.

4.4. Eficacia del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de los lixiviados

$$n = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Tabla 4-4: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados

PARÁMETROS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CONDICIONES INICIALES	EFICACIA DE REMOCIÓN			
			TIEMPO 15 MIN		TIEMPO 20 MIN	
			VOLTAJE 2,5	VOLTAJE 3,0	VOLTAJE 2,5	VOLTAJE 3,0
Cd	0,02	< 0,03	0%	0%	0%	0%
Zn	5,0	< 0,10	0%	0%	0%	0%
Cu	1,0	< 0,30	0%	0%	0%	0%
Cr	0,5	< 0,30	0%	0%	0%	0%
DBO	100	5700	80,41%	80,41%	85,23%	82,46%
DQO	200	113715,45	97,51%	97,61%	98,20%	97,74%
Pb	0,2	< 0,30	0%	0%	0%	0%
STS	130	295,00	23,73%	22,03%	11,30%	25,99%
°C	Condición natural +3	28	13,33%	13,21%	12,26%	13,21%
Turbidez	NR	7372,804	95,20%	96,82%	96,52%	98,49%
pH	6 – 9	6,73	0,62%	4,44%	0,29%	0,14%
Color real	Inapreciable en dilución: 1/20	133	92,50%	92,48%	90,73%	92,48%

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023.

En la tabla 4-4, se presenta los parámetros y límites máximos permisibles establecidos en la normativa TULSMA, las condiciones iniciales, eficacia, voltajes y tiempos aplicados con el método de electrocoagulación. Bajo los resultados obtenidos no son eficientes para la remoción de metales como el Cd, Zn, Cu, Cr, Pb, debido a que se mantienen estables en lixiviados.

Lográndose obtener mejores resultados en una combinación de tratamientos con sistemas de humedales como lo menciona Guevara et al., (2014).

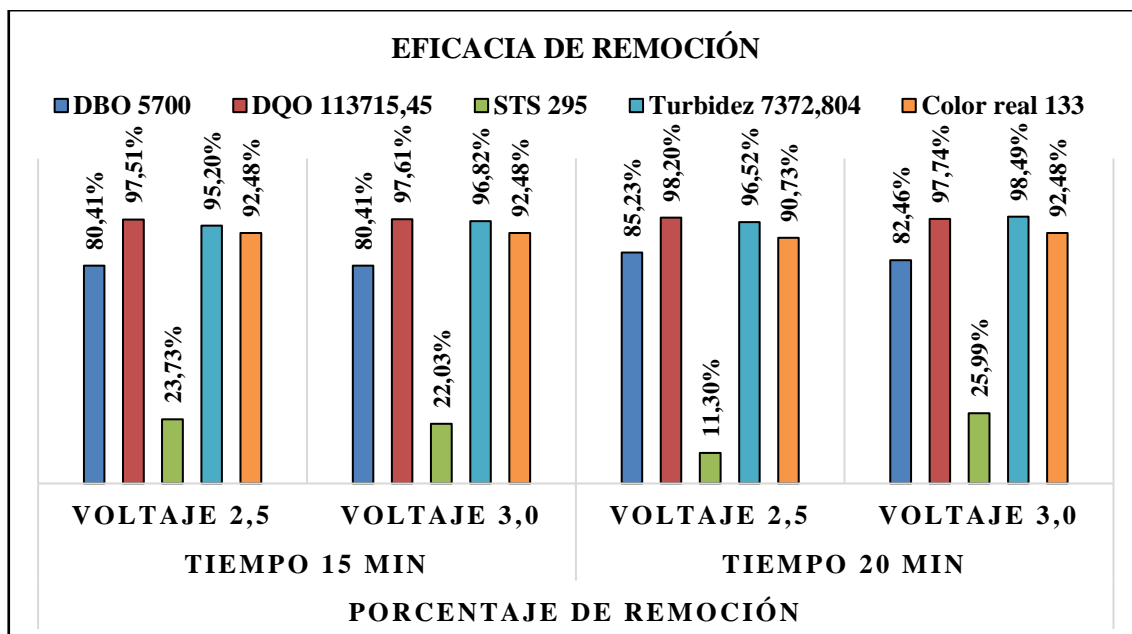


Ilustración 4-5: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la ilustración 4-5, se muestra los porcentajes de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, sólidos totales suspendidos, turbidez, temperatura y el color real; donde se observa que el voltaje de 2,5 y 20 minutos se obtiene una remoción de 85,23% para la demanda bioquímica de oxígeno; 98,20% para la demanda química de oxígeno; mientras que al aplicar un voltaje de 3,0 con el mismo tiempo se obtuvo una remoción 98,49% para la turbidez; 92,48% para el color real; 25,99% para los sólidos totales suspendidos y el 13,21% en la temperatura respectivamente.

Cabe mencionar que se trabajó con un lixiviado joven debido a su alto porcentaje en DQO, es así como la eficiencia de la remoción de los parámetros mencionados en la ilustración 5-4, se da debido a las cargas positivas que se producen al momento en que se oxida el aluminio, liberándose y dispersándose en el lixiviado; siendo así que los iones forman óxidos metálicos atrayendo eléctricamente a los contaminantes presentes en el lixiviado que han sido estabilizados (López, 2014, pp. 35-37).

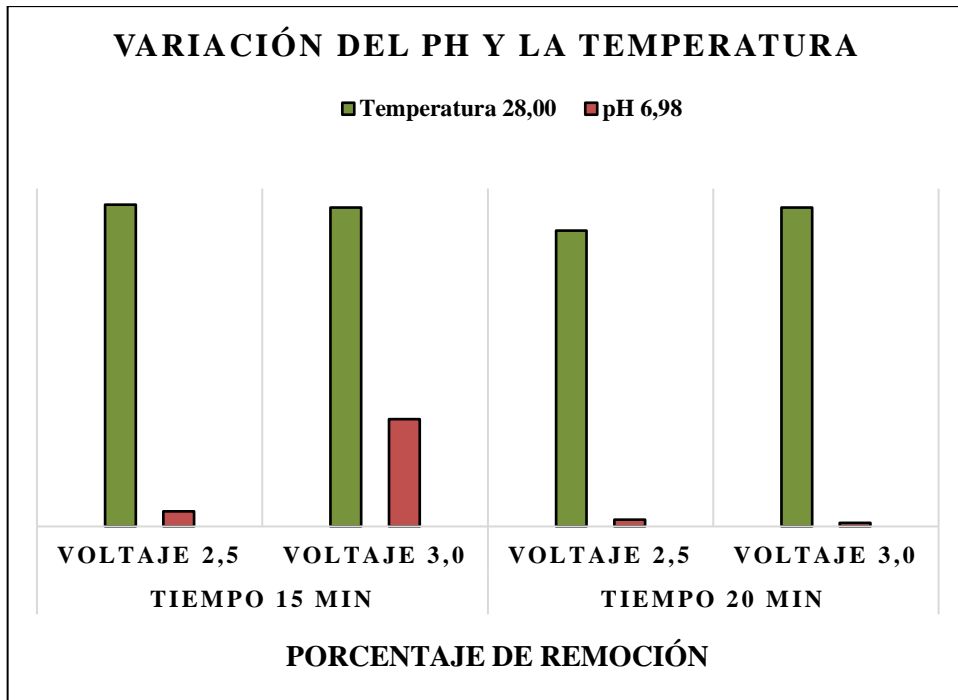


Ilustración 4-6: Porcentaje de remoción de la caracterización de los lixiviados

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la ilustración 4-6, se muestra los porcentajes de remoción de la temperatura y el pH; donde se observa que en los voltajes de 2,5 y 3,0 en 15 minutos se obtiene una remoción de 13,33% para la temperatura y 4,44% para el pH respectivamente. Cabe mencionar que cuando aumenta la temperatura disminuye el pH (Travezán, 2021, p. 26).

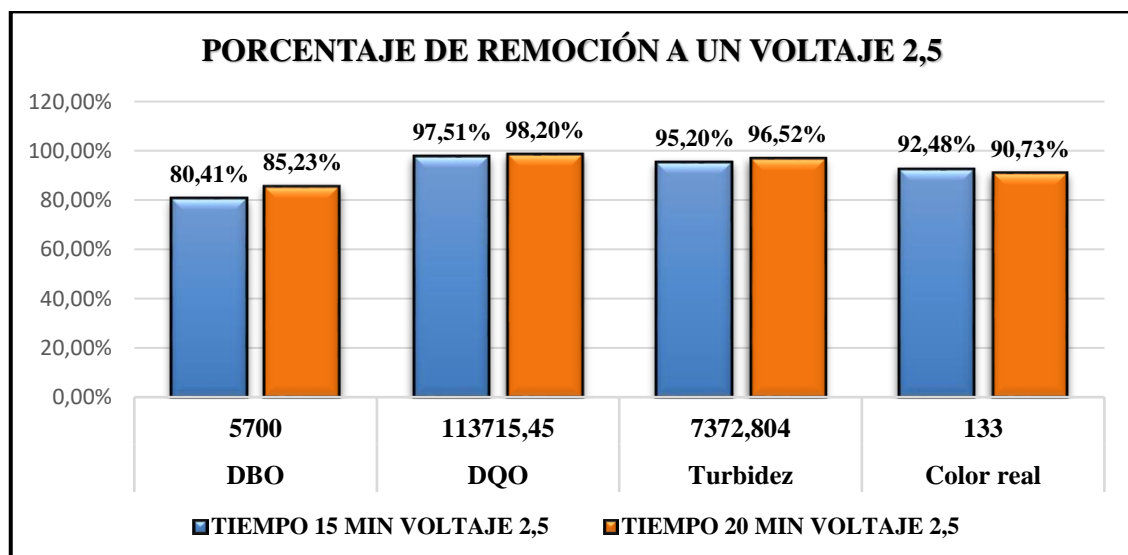


Ilustración 4-7: Porcentaje de remoción de los lixiviados a un voltaje de 2,5

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la ilustración 4-7, se muestra los porcentajes de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, turbidez, temperatura y el color real; en el tratamiento de voltaje de 2,5 y 20 minutos se obtiene una remoción de 85,23% para la demanda bioquímica de oxígeno; 98,20% para la demanda química de oxígeno; mientras que al aplicar un voltaje de 3,0 con el mismo tiempo se obtuvo una remoción 98,49% para la turbidez; 92,48% para el color real; 25,99%. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede mencionar que la electrocoagulación es un proceso eficaz para la remoción de los parámetros mencionados en la ilustración 6-4, es decir que se puede aplicar el método para la remoción de estos contaminantes.

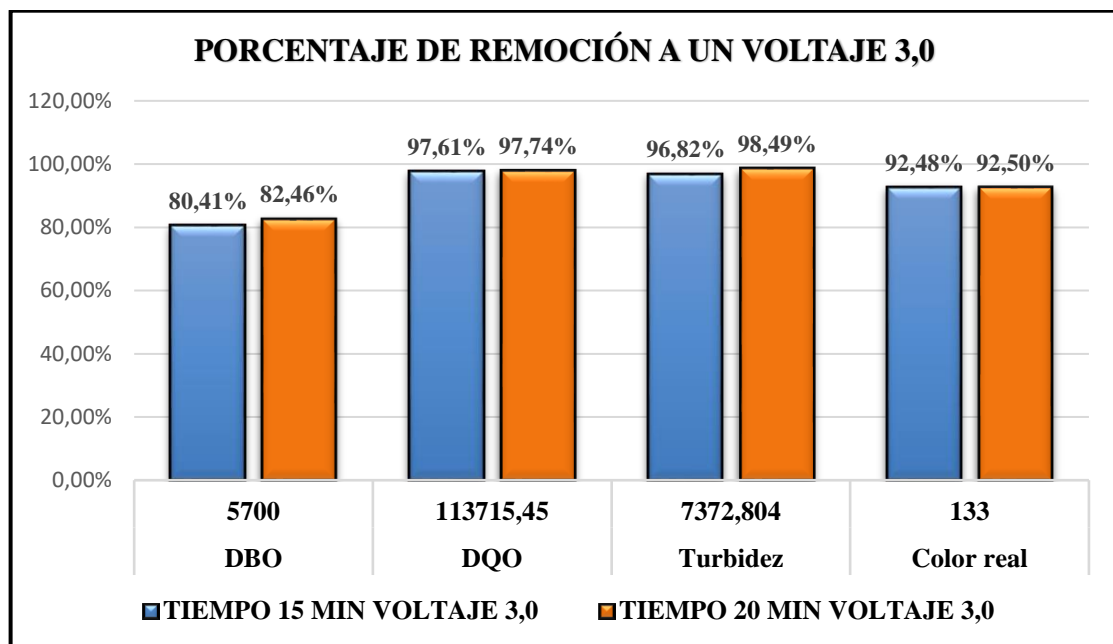


Ilustración 4-8: Porcentaje de remoción de los lixiviados a un voltaje 3,0

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

En la ilustración 4-8 se muestran los resultados obtenidos de remoción de los contaminantes, DBO, DQO, turbidez, con el tiempo de 20 minutos a un voltaje de 3,0. En todos los tratamientos el color real no varía. Siguiendo las recomendaciones de Reyes y Mercado (2003) se utilizó electrodos de hierro y aluminio evidenciando un mayor porcentaje de remoción de contaminantes.

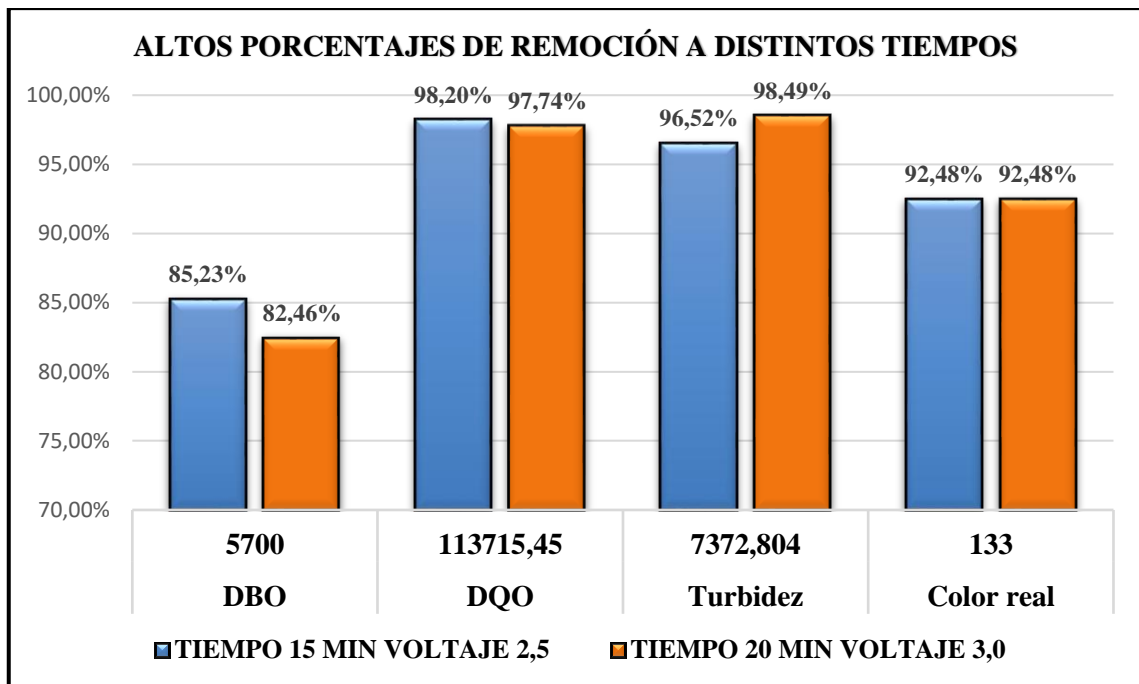


Ilustración 4-9: Porcentaje de remoción DBO, DQO, turbidez y color real

Realizado por: Cumbicus, C. y Hurtado, M., 2023

Finalmente, la ilustración 4-9 se evidencia la remoción de contaminantes con el voltaje 2,5 a un tiempo de 15min cuyo porcentaje fue del 98,20% de la demanda química de oxígeno; mientras que a un voltaje de 3,0 y 20min se obtuvo la mayor remoción de la turbidez con un 98,49%, y la remoción del color en los dos tiempos y voltajes fue de 92,48%.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se caracterizó las propiedades fisicoquímicas de los lixiviados del botadero controlado del cantón Francisco de Orellana con los siguientes parámetros, como el Color con 133 Pt/Co, Demanda biológica de oxígeno con 5700 mg/L, Demanda química de oxígeno con 113715,45mg/L, Sólidos totales suspendidos con 295 mg/L y la Turbidez con 7372,804, estuvieron fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente TULSMA, libro VI tabla 9. Los metales pesados se encontraron dentro de los límites máximos permisible por la legislación.
- Para el diseño y construcción del prototipo se realizaron mediante fórmulas y cálculos para designar medidas como: dimensiones del reactor, volumen del reactor, número de electrodos y dimensiones de los electrodos para el proceso electrocoagulación de los lixiviados.
- Se determinó las condiciones óptimas dentro del tratamiento de electrocoagulación para el tratamiento de lixiviados son un voltaje de 2,5 y 3,0 voltios en un tiempo de 20 minutos, con la reducción de 5 parámetros como demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales suspendidos, turbidez y el color real.
- La eficacia del método aplicado se evidencia en la mayor remoción de contaminantes cuyo tratamiento fue de voltaje de 2,5 y 20 minutos con una remoción de 85,23% para la demanda bioquímica de oxígeno; 98,20% para la demanda química de oxígeno; mientras que al aplicar el tratamiento de voltaje de 3,0 y 20 minutos se obtuvo una remoción 98,49% para la turbidez; 92,48% para el color real; 25,99% para los sólidos totales suspendidos y el 13,21% en la temperatura respectivamente. Se debe mencionar que a partir de los tratamientos de voltaje 2,5 y 3,0 a 20 minutos en el proceso de electrocoagulación se obtuvo un alto porcentaje de reducción en los parámetros analizados.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda para futuros proyectos continuar ampliando el conocimiento en el tema del mecanismo de operación de electrocoagulación con el objetivo de realizar más pruebas experimentales en diferentes tiempos y voltajes.
- Se recomienda utilizar otros materiales de conductividad de electricidad como el platino, titanio y cobre; que permitan conocer el comportamiento del reactor en diferentes condiciones.
- Se recomienda el uso del proceso de electrocoagulación para tratar otros tipos de aguas residuales como aquellas que contengan aceites.
- Se sugiere que el método de electrocoagulación se combine con sistemas naturales para que exista una remoción eficiente de los metales.

BIBLIOGRAFÍA

ALVINO ALBORNOZ, Yayder Yayir. Eficiencia de la electrocoagulación a nivel de laboratorio para tratamiento del agua residual del matadero municipal de Cuenca [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2019. pp.16-25. [Consulta: 2022-12-16]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1473>

AMASUOMO, E.; & BAIRD, J. "The concept of waste and waste management". *J. Mgmt. & Sustainability* [en línea], 2016, (Ecuador) 6(4), p.88. [Consulta: 18 diciembre 2022]. ISSN 1925-4725. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5539/jms.v6n4p88>

BETANCUR, D; et al. "Herramientas para evaluar la gestión de los lixiviados". *Cultura del cuidado* [en línea], 2017, (Colombia) 14(2), pp. 5-15. [Consulta: 23 diciembre 2022]. ISSN 1794-5232. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/cultura/article/view/4607/3920>

BOZKURT, Sami. Assessment of the long-term transport processes and chemical evolution in waste deposits [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Instituto Karolinska, Estocolmo, Suecia. 2008. pp.115-126. [Consulta: 2022-12-16]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00840-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00840-8)

BORRERO, N; et al. "Diseño de un sistema de gestión para el manejo, tratamiento y disposición de los lixiviados". *Revista CENIC. Ciencias Biológicas* [en línea], 2005, (Cuba) 36(4), pp. 26-35. [Consulta: 19 diciembre 2022]. ISSN 0253-5688. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220525085&idp=1&cid=4429682>

CAIZA, D; et al. Propuesta de producción más limpia en el proceso de elaboración de abonos orgánicos con desechos del camal, realizado en el relleno sanitario del cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Regional Amazónica IKIAM, Napo, Ecuador. 2018. pp. 18-24. [Consulta: 2022-12-16]. Disponible en: http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/113

CARVAJAL, R; et al. "Evolución de la política medioambiental en la gestión de residuos". *Revista universidad y sociedad* [en línea], 2021, (Ecuador) 13(2), pp.265-275. [Consulta: 20 diciembre 2022]. ISSN 2218-3620. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221836202021000200265&lng=es&nrm=iso

CEDEÑO CASTRO, Gabriela Betzabeth. Tratamiento Químico de los lixiviados provenientes del relleno sanitario del cantón Shushufindi [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Orellana, Ecuador. 2018. p.13. [Consulta: 2022-12-16]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6310>

CHACON, Myriam. Análisis físico y químico de la calidad del agua [En línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. 2016. pp.125-132. [Consulta: 2023-01-28]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11511/Paginaspreliminares.2016Chaconmyriam.pdf?sequence=4>

DÁVILA CIFUENTES, Alexandra Marcela, & AGUIRRE, Luis Alberto. Estudio del sistema de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de Lago Agrio [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. pp.24-52. [Consulta: 2023-01-13]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1501>

GIRALDO, E. "Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes". *Revista de ingeniería* [En línea], 2001, (Ecuador) 14(1), pp. 44–55. [Consulta: 15 enero 2023]. ISSN 1255-5232. Disponible en: <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/6946/7269>

GUALTEROS, A.; & SUÁREZ, L. “Problemática ambiental generada por lixiviados en Bogotá”. *Ingeciencia* [en línea], 2019, (Colombia) 4(2), pp.66-78. [Consulta: 30 diciembre 2022]. ISSN 1255-5232. Disponible en: https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/3085

GUEVARA, A; et al. “Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario”. *Revista Politécnica* [en línea], 2014, (Ecuador) 34(1), pp.15-18. [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 1525-5217. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/154/pdf

HEREDIA, S; et al. “Manejo integral de residuos de los lixiviados, Ecuador”. *Perfiles* [en línea], 2020, (Ecuador) 1(24), pp. 37-46. [Consulta: 21 noviembre 2022]. ISSN 2477-9105. Disponible en: <http://ceaa.espoch.edu.ec:8080/revista.perfiles/faces/Articulos/Perfiles24Art5.pdf>

HOLT, Peter. Electrocoagulation: unravelling and synthesising the mechanisms behind a water treatment process [En línea] (Trabajo de titulación). (doctoral) The University of Sydney, Sydney, Australia. 2002. pp.13-22. [Consulta: 2023-01-25]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2123/624>

HUAMÁN BOZA, Yeraldinn. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala de laboratorio para el tratamiento del lixiviado del botadero de la mejorada El Tambo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Alas Peruanas, Huancayo, Perú. 2016. pp.61-82. [Consulta: 2023-01-18]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12990/7485>

LOAYZA PÉREZ, Jorge Eduardo. "Gestión integral de los lixiados". *Revista de la sociedad química del Perú* [en línea], 2007, (Perú) 73(4), pp. 259-260. [Consulta: 10 diciembre 2022]. ISSN 1810-634X. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n4/a09v73n4.pdf>

LÓPEZ ESCOBAR, Gisela Pamela. Diseño de un proceso de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de una industria de yogurt [En línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. 2014. pp.98-112. [Consulta: 2023-02-15]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2527>

MEJÍA, A; et al. "La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas". *Researchgate* [en línea], 2006, (Ecuador) 1(2), pp.58-77. [Consulta: 26 diciembre 2022]. ISSN 1985-2532. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Garces-Giraldo/publication/277035194_La_Electrocoagulacion_retos_y_oportunidades_en_el_tratamiento_de_aguas/links/5ef25e06458515ceb2046e5f/La-Electrocoagulacion-retos-y-oportunidades-en-el-tratamiento-de-aguas.pdf

MÉNDEZ, R; et al. "Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados". *Revista internacional de contaminación ambiental* [en línea], 2009, (México) 25(3), pp.155-163. [Consulta: 01 enero 2023]. ISSN 0188-4999. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300002

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA. "Lineamientos interinstitucionales para la gestión integral de de desechos generados y generación de lixiados". *Revista Scielo* [en línea], 2018, (Ecuador) 17(5), pp. 104-109. [Consulta: 05 enero 2023]. ISSN 2138-2239. Disponible en: <https://www.salud.god.ec/wp-content/uploads/2022/04/Lineamientos-interinstitucionales-para-la-gestion-integral-de-desechos-generados-por-los-lixidados.pdf>

MOHAMED, L; et al. “Hazardous healthcare waste management in the Kingdom of Bahrain”. *Waste Management* [en línea], 2009, (Baréin) 29(8), pp. 244-249. [Consulta: 06 enero 2023]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.015>

MONTES, Wendy Margarita. Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua [En línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Universidad Pedagógica Nacional, Chihuahua, México. 2011. pp.121-132. [Consulta: 2023-02-10]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/403>

MORALES, Claudia Johana. Estudio para remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2007. pp.161-175. [Consulta: 2023-02-15]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2704>

NINAN VALER, Krizia Giovana, & ZAMBRANO JARANDILLA, Mary Carmen. Tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco, Cusco, Perú. 2019. pp. 25-33. [Consulta: 2023-02-17]. Disponible en: https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4372/253T20190423_TC.pdf?sequence=1

NOVELO, R; et al. “Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario”. *Ingeniería* [en línea], 2004, (México) 8(2), pp.155-163. [Consulta: 23 diciembre 2022]. ISSN 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780213>

QUIROZ JIMÉNEZ, Leonardo. Tratamiento fisicoquímico para la remediación de lixiviados del relleno sanitario naranjal mediante la aplicación de cal, zeolita y cloro [En línea] (Trabajo de titulación). (doctoral) Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp.85-96. [Consulta: 2023-02-17]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4886>

REVELO ANAGUANO, Diego Albeiro. Diseño de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas residuales de una industria de insumos médicos [En línea] (Trabajo de titulación). (maestría) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2021. pp.31-42. [Consulta: 2023-02-08]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/25655>

SÁNCHEZ CHÁVEZ, Williams Alexander. Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada vientosjirca–Independencia–Huaraz–Ancash–2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, Huaraz, Perú. 2020. pp.161-175. [Consulta: 2023-02-25]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4239>

SANDRI, Lucila Mercedes. Diseño de una planta de tratamiento de efluentes lixiviados provenientes del relleno sanitario del partido de Necochea, provincia de Buenos Aires [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina. 2021. pp.135-145. [Consulta: 2023-02-17]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19296>

SÁNCHEZ NAVARRO, Claudia Elisa. Determinación de metales pesados en muestras de diferentes tipos de residuos líquidos mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Autónoma de México, Tijuana, México. 2016. pp.31-42. [Consulta: 2023-02-02]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9163>

Cristian Tenelonda.S
10-07-2023



ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS INICIALES DE LOS PARÁMETROS

Ítem	Parámetro	Método de Referencia/Procedimiento Interno	Unidad	Resultado	Incertidumbre %U K=2, 95% de confianza
1	Potencial de Hidrógeno	SM 4500-H* B, 23 ^{ra} Ed./PT-01	-	6,73	3
2	Cadmio	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	< 0,03	21
3	Cobre	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	< 0,30	10
4	Plomo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	< 0,30	15
5	Cromo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	< 0,30	15
6	Zinc	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	< 0,10	-
7	Turbidez	SM 2130 B, 23rd Ed.	NTU	7372,804	-
8	Demanda Química de Oxígeno	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	113715,45	22
9	Sólidos Totales Suspendedos*	SM 2540 D, 23rd Ed.	mg/L	295,00	-

Notas importantes:

- El Laboratorio del GADPO no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente respecto a los datos de la muestra.
- El laboratorio del GADPO no es responsable de la toma de muestra.
- La muestra fue receptada en el laboratorio
- El ensayo marcado con (*) no se encuentra considerado dentro del alcance de acreditación del Laboratorio del GADPO.


F-MC-09

Orellana, construye su desarrollo

El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayos.
Los ensayos marcados con (*) corresponden a ensayos subcontratados a laboratorios acreditados.
Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización escrita del Laboratorio.

Página 1 de 2

ANEXO B: CADENA DE CUSTODIA PARA TOMA DE MUESTRA INICIAL DEL LABORATORIO AQLAB



 Calle Juan Uncite y Fray Gregorio de Aluminia,
 Barrio Conhogar tras las oficinas de Mazda
 Telf: 0991868858 - 06 2881 715
 Orellana - Ecuador

www.aqlabec.com Hoja ___ de ___
 e-mail: laboratorio@aqlabec.com
 info@aqlabec.com

Datos del cliente			Condiciones muestra / ambiente		Oferta #:	Tablas Reglamentos Ambientales					REGISTRO DE LA CADENA DE CUSTODIA PARA TOMA DE MUESTRAS			
Empresa:			Muestra(s) sellada(s):	SI / NO	El cliente acepta los términos y condiciones de AqLab especificados en la oferta al ingresar las muestras al laboratorio	RAGHE - 1215	AGUAS AM 097A TABLA 1	AGUAS AM 097A TABLA 2	AGUAS AM 097A TABLA 8	AGUAS AM 097A TABLA 9		AGUAS AM 097A TABLA 1	AGUAS AM 097A TABLA 2	OTROS PARAMETROS
Dirección:			Tipo de Preservación:											
Contacto:			soleado:											
Teléfono:			Condiciones Climáticas:											
Locación:			nublado:											
RUC:			lluvioso:		Temperatura Ambiente:		° C							
Responsable de la toma de muestra(s):			Fecha:		Firma:									
N°	Matríz	***	Horas	N° / **Tipo Envase	Coordenadas	* Tipo muestra	Profund (m)	Identificación de la muestra						
9	A		14:15	1 A	x y			Agua Tratada " " Prueba 3 " " 250 / 15 minutos 5 Amperos						
10	A		11:18	1 B	x y			Agua Tratada " " Prueba 1 " " 30 / 15 minutos 5 Amperos						
11	A		12:33	1 A	x y			Agua Tratada " " Prueba 2 " " 30 / 15 aut 5 Amperos						
12	A		13:00	1 A	x y			Agua Tratada " " Prueba 3 " " 30 / 15 aut 5 Amper.						
Enviado por: (firma)			Transportado por: (firma)			Responsable de la empresa: (Nombre y Firma)			Objeto: <u>Agua</u>					
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Recibido Hora: <u>15:00</u>					
Hora:			Hora:			Hora:			Responsable: <u>[Firma]</u>					

* Tipo de muestra: Compuesta, Si simple
 ** Tipo de envase: A/Vo: anillo vidrio, En: esteril, Pn: plástico, Zc: fondo alijo, D: otros
 *** Matríz: An: agua, S: suelo, M: alimento, L: líquido

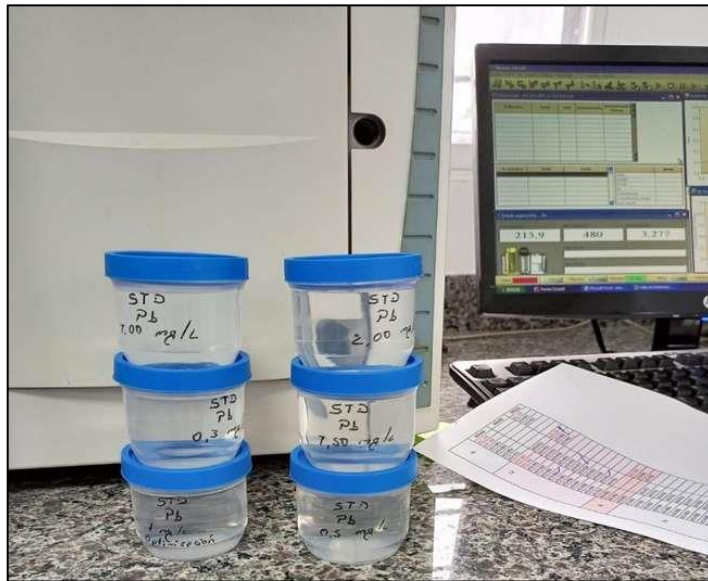
ANEXO C: CADENA DE CUSTODIA PARA LA TOMA DE MUESTRA INICIAL DEL LABORATORIO GADPO


FORMATO DE CAMPO - CADENA DE CUSTODIA

CÓDIGO: F-PG-7.4-03
 EDICIÓN: 1
 FECHA DE EMISIÓN: 4/1/2016
 Página 1 de 2

PROTOCOLO DE CAMPO										CADENA DE CUSTODIA									
INFORMACIÓN										CONDICIONES DE LA MUESTRA									
Realizado por: <u>Cristian Cumbria Mayra Hurtado</u>					Solicitado por: <u>Cristian Cumbria Mayra Hurtado</u>					Condiciones Climáticas: Soleado <input type="checkbox"/> Nublado <input type="checkbox"/> Lluvioso <input type="checkbox"/> Temperatura: °C					Preservación de la muestra: Muestra Sellada <input type="checkbox"/> HUSO <input type="checkbox"/> INCO <input type="checkbox"/> Refrigeración <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				
Localización: <u>Finca Via Agua Comunalidad La Paz</u>					Fecha: <u>17/01/2013</u>					Teléfono: <u>0998561956</u>					Muestra Sellada <input type="checkbox"/>				
Coordenadas del sitio: <u>X - 0.507638 Y - 76.428088 Z</u>					Tipo de Muestra: S <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>					Tipo de Envase: TPH 250 ml <input type="checkbox"/> AG 250 ml <input type="checkbox"/> MAPs 1 L <input type="checkbox"/> M/D 100 ml <input type="checkbox"/>					Requisitos de Análisis: TALLAS <input type="checkbox"/> TALLAS <input type="checkbox"/> TALLAS <input type="checkbox"/> TALLAS <input type="checkbox"/> TALLAS <input type="checkbox"/> IBER <input type="checkbox"/> TALLAS <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>				
IDENT. DE LA MUESTRA		FECHA		Hora		Matríz		Coordenadas UTM		Observaciones									
<u>Muestra de la Piscina de Captación de Aguas</u>		<u>17/01/2013</u>		<u>10:30</u>		<u>LA</u>		<u>X - 0507638 Y - 76428088 Z</u>		<u>Solo, Puntos de P, H, Cl, Cu, Cr, Fe, Pb, Zn, Sólidos suspendidos, ST, STD.</u>									
* Matríz: A-Agua B-Suelo VEG-Vegetal SD-Sólidos DS-Desechos CP-Cortes de Perforación PD-Alimentos										Comentarios									
** Tipo de Muestra: A-Agua B-Suelo C-Compuesta										Comentarios									
Realizado por:		Nombre		Fecha		Hora		Firma		Observaciones									
Solicitado por:		Nombre		Fecha		Hora		Firma		Muestras dentro del periodo de análisis									
Responsable de ingreso al Laboratorio por:		Nombre		Fecha		Hora		Firma		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>									

ANEXO D: MUESTRAS DE LOS METALES



ANEXO E: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS



**ANEXO F: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO
CON 2,5V A 20 MIN, PRUEBA 1**



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
N° SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO N° 18 461 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 1 de marzo de 2023

Empresa:	MAYRA HURTADO & CRISTIAN CUMBICUS.			
Solicitado por:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Dirección:	Coca.	
Toma de muestra:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Fecha y Hora:	23/02/2023	16:01
Identificación de la muestra:	Aguas Tratada Lixiviado con Electrocoagulación Aluminio - Hierro 2,5V 5A 20 minutos Prueba 1, Locación km 9 Botadero Controlado de Basura.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	23/02/2023	18:00
Fecha Final de Análisis:	01/03/2023	

Condiciones Ambientales	T max: 32 °C
	T min: 22 °C

Coordenadas UTM	X: 277432
18M	Y: 9952503

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ ITE-AQLAB	Límite máximo Permisible Φ	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Color real	NM 2120 C / 23	Inapreciable en dilución 1/20	U Pt-Co	17	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	950	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua.
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.
Los límites permisibles de las Normativas (Φ) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



(Firma manuscrita)

Ing. Nelson Shigaango
**ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
AUTORIZADO**

18 461 a

**ANEXO G: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO
CON 3,0V A 20 MIN, PRUEBA 1**



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
N° SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO N° 18 461 d

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 1 de marzo de 2023

Empresa:	MAYRA HURTADO & CRISTIAN CUMBICUS.			
Solicitado por:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Dirección:	Coca.	
Toma de muestra:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Fecha y Hora:	23/02/2023	14:40
Identificación de la muestra:	Aguas Tratada Lixivindo con Electrocoagulación Aluminio - Hierro 3V 5A 20 minutos Prueba 1, Locación km 9 Botadero Controlado de Basura.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	23/02/2023	18:00
Fecha Final de Análisis:	01/03/2023	

Condiciones Ambientales	T max:	32 °C
	T min:	22 °C

Coordenadas UTM	X: 277432
18M	Y: 9952503

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ ITE-AQLAB	Límite máximo Permisible \otimes	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Color real	SM 2120 C / 23	Inapreciable en dilución 1:20	U Pt-Co	< 10	-
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	1025	-

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A-04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua.
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
Los límites permisibles de las Normativas \otimes y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



(Firma manuscrita)
Ing. Nelson Shiguango

ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
AUTORIZADO

18 461 d

**ANEXO H: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO
CON 2,5V A 15 MIN, PRUEBA 1**



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
Nº SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO Nº 18 461 g

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 1 de marzo de 2023

Empresa:	MAYRA HURTADO & CRISTIAN CUMBICUS.			
Solicitado por:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Dirección:	Coca.	
Toma de muestra:	Srta. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Fecha y Hora:	23/02/2023	13:25
Identificación de la muestra:	Aguas Tratada Lixiviado con Electrocoagulación Aluminio - Hierro 2,5V 5A 15 minutos Prueba 1, Locación km 9 Botadero Controlado de Basura.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	23/02/2023	18:00
Fecha Final de Analisis:	01/03/2023	

Condiciones Ambientales	T max:	32 °C
	T min:	22 °C

Coordenadas UTM	X: 277432
18M	Y: 9952503

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Analisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ ITE-AQLAB	Límite máximo Permisible @	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Color real	SM 2120 C / 23	Inapreciable en difusión 1:20	U Pt-Co	< 10	-
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	1175	-

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A-04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua.
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.
Los límites permisibles de las Normativas (R) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio



(Firma manuscrita)
Ing. Nelson Shiguango

**ASISTENTE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA
AUTORIZADO**

18 461 g

**ANEXO I: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL COLOR REAL Y DBO
CON 3,0V A 15 MIN, PRUEBA 1**



Laboratorio de ensayo
acreditado por el SAE con
acreditación
Nº SAE LEN 14-009

INFORME DE ENSAYO Nº 18 461 J

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 1 de marzo de 2023

Empresa:	MAYRA HURTADO & CRISTIAN CUMBICUS.			
Solicitado por:	Sra. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Dirección:	Coca.	
Toma de muestra:	Sra. Mayra Hurtado/ Sr. Cristian Cumbicus.	Fecha y Hora:	23/02/2023	11:18
Identificación de la muestra:	Aguas Tratada Lixiviado con Electrocoagulación Aluminio - Hierro 3V 5A 15 minutos Prueba 1, Locación km 9 Botadero Controlado de Basura.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	23/02/2023	18:00
Fecha Final de Análisis:	01/03/2023	

Condiciones Ambientales	T max: 32 °C
	T min: 22 °C

Coordenadas UTM	X: 277432
18M	Y: 9952503

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia Normalizado/ IIE-AQLAB	Límite máximo Permisible #	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Color real	SM 2120 C / 23	Inapreciable en dilución 1:20	U Pt-Co	< 10	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	1075	~

Fuente: Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso Agua.
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.
Los límites permisibles de las Normativas (#) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



(Firma manuscrita)
Ing. Nelson Shiguango.

**ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
AUTORIZADO**

18 461 j

ANEXO J: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA, TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 2,5V A 15 MIN, PRUEBA 1



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL DEL
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA

Dirección: Av. 9 de Octubre entre Dayuma y César Andy
Fco. de Orellana-Ecuador
Tel: (+593) 063 731 760 Ext.: 2114

INFORME DE RESULTADOS IA-055

Francisco de Orellana, 07 de Marzo de 2023.

DATOS DEL SOLICITANTE					
Empresa: Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación					
Solicitado por: Ing. Geovanny Salinas			Dirección: El Coca, Dayuma y César Andy		
Teléfono: 063731760			Correo: gsalinas1307@gmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Toma de muestra realizada por: Tec. Cristian Cumbicus/Tec. Mayra Hurtado					
Fecha de toma de muestra: 23-02-2023			Hora de toma de muestra: 16:01		
Matriz: Lixiviados			Clasificación: Piscina de captación		
Identificación de muestra: M1, Agua tratada de lixiviados con electrocoagulación. Prueba 1. Hierro y Aluminio 2.5V/5A 20 mnts X: 277432, Y: 9952503					
DATOS DE INGRESO DE MUESTRA AL LABORATORIO					
Código laboratorio: a23 - 055			Responsable de ingreso: Jessica Chinkim		
Fecha de ingreso: 23-02-2023			Hora de ingreso: 17:00		
Solicitud de análisis Nro.: 23-015-A			Consedoc. Nro.: N/A		
DATOS DE ANÁLISIS					
Fecha final de análisis: 06-03-2023					
Analistas: Fulton Garay, Jessica Chinkim, Fernando Ramos, Cristian Shiguango					
RESULTADOS					
Ítem	Parámetro*	Método de referencia / Procedimiento Interno	Unidad	Resultado	Incertidumbre
1	Potencial de Hidrógeno	SM 4500-H* B, 23 rd Ed./PT-01	-	7,00	3
2	Demanda Química de Oxígeno	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	2280,92	22
3	Cadmio	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,03	21
4	Cobre	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-0	mg/L	<0,30	10
5	Plomo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
6	Cromo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
7	Zinc	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,10	-
8	Sólidos Totales Suspendedos*	SM 2540 D, 23rd Ed.	mg/L	295	-
9	Turbidez*	SM 2130 B, 23rd Ed.	NTU	233,20	-

Notas importantes:

El Laboratorio del GADPO no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente respecto a los datos de la muestra.

El laboratorio del GADPO no es responsable de la toma de muestra.

La muestra fue receptada en el laboratorio.

Los parámetros analizados fueron solicitados por el cliente.

El ensayo marcado con (*) no se encuentra considerado dentro del alcance de acreditación del Laboratorio del GADPO.

Los resultados emitidos en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra sometida a ensayo.

F-MA-C-029

Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización escrita del laboratorio

ANEXO K: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA, TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 3,0V A 15 MIN, PRUEBA 1



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL DEL
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA

Dirección: Av. 9 de Octubre entre Dayuma y César Andy
Fco. de Orellana-Ecuador
Tel: (+593) 063 731 760 Ext.: 2114

INFORME DE RESULTADOS IA-056

Francisco de Orellana, 07 de Marzo de 2023.

DATOS DEL SOLICITANTE					
Empresa: Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación					
Solicitado por: Ing. Geovanny Salinas			Dirección: El Coca, Dayuma y César Andy		
Teléfono: 063731760			Correo:gsalinas1307@gmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Toma de muestra realizada por: Tec.Cristian Cumbicus/Tec. Mayra Hurtado					
Fecha de toma de muestra: 23-02-2023			Hora de toma de muestra:16:23		
Matriz: Lixiviados			Clasificación: Piscina de captación		
Identificación de muestra: M2, Agua tratada de lixiviados con electrocoagulación. Prueba 2. Hierro y Aluminio 2.5V/5A 20 mnts X: 277432, Y: 9952503.					
DATOS DE INGRESO DE MUESTRA AL LABORATORIO					
Código laboratorio: a23 - 056			Responsable de ingreso: Jessica Chinkim		
Fecha de ingreso: 23-02-2023			Hora de ingreso: 17:00		
Solicitud de análisis Nro.: 23-015-A			Consedoc Nro.: N/A		
DATOS DE ANÁLISIS					
Fecha final de análisis: 06-03-2023					
Analistas: Fulton Garay, Jessica Chinkim, Fernando Ramos, Cristian Shiguango					
RESULTADOS					
Ítem	Parámetro*	Método de referencia / Procedimiento Interno	Unidad	Resultado	Incertidumbre
1	Potencial de Hidrógeno	SM 4500-H* B, 23 rd Ed./PT-01	-	7,18	3
2	Demanda Química de Oxígeno	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	1814,30	22
3	Cadmio	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,03	21
4	Cobre	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-0	mg/L	<0,30	10
5	Plomo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
6	Cromo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
7	Zinc	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,10	-
8	Sólidos Totales Suspendedos*	SM 2540 D, 23rd Ed.	mg/L	600	-
9	Turbidez*	SM 2130 B, 23rd Ed.	NTU	288,73	-

Notas importantes:

El Laboratorio del GADPO no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente respecto a los datos de la muestra.

El laboratorio del GADPO no es responsable de la toma de muestra.

La muestra fue receptada en el laboratorio.

Los parámetros analizados fueron solicitados por el cliente.

El ensayo marcado con (*) no se encuentra considerado dentro del alcance de acreditación del Laboratorio del GADPO.

Los resultados emitidos en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra sometida a ensayo.

F-M-C-09

Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización escrita del laboratorio

ANEXO L: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA, TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 2,5V A 20 MIN, PRUEBA 1



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL DEL
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA

Dirección: Av. 9 de Octubre entre Dayuma y César Andy
Fco. de Orellana-Ecuador
Tel: (+593) 063 731 760 Ext.: 2114

INFORME DE RESULTADOS IA-061

Francisco de Orellana, 07 de Marzo de 2023.

DATOS DEL SOLICITANTE					
Empresa: Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación					
Solicitado por: Ing. Geovanny Salinas			Dirección: El Coca, Dayuma y César Andy		
Teléfono: 063731760			Correo:gsalinas1307@gmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Toma de muestra realizada por: Tec.Cristian Cumbicus/Tec. Mayra Hurtado					
Fecha de toma de muestra: 23-02-2023			Hora de toma de muestra:13:26		
Matriz: Lixiviados			Clasificación: Piscina de captación		
Identificación de muestra: M7, Agua tratada de lixiviados con electrocoagulación. Prueba 1. Hierro y Aluminio 2.5V/5A 15 mnts X: 285419,7, Y: 9943859,8					
DATOS DE INGRESO DE MUESTRA AL LABORATORIO					
Código laboratorio: a23 - 061			Responsable de ingreso: Jessica Chinkim		
Fecha de ingreso: 23-02-2023			Hora de ingreso: 17:00		
Solicitud de análisis Nro.: 23-015-A			Consedoc Nro.: N/A		
DATOS DE ANÁLISIS					
Fecha final de análisis: 06-03-2023					
Analistas: Fulton Garay, Jessica Chinkim, Fernando Ramos, Cristian Shiguango					
RESULTADOS					
Ítem	Parámetro*	Método de referencia / Procedimiento Interno	Unidad	Resultado	Incertidumbre
1	Potencial de Hidrógeno	SM 4500-H* B, 23 rd Ed./PT-01	-	6,95	3
2	Demanda Química de Oxígeno	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	2752,60	22
3	Cadmio	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,03	21
4	Cobre	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-0	mg/L	<0,30	10
5	Plomo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
6	Cromo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
7	Zinc	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,10	-
8	Sólidos Totales Suspendedos*	SM 2540 D, 23rd Ed.	mg/L	150	-
9	Turbidez*	SM 2130 B, 23rd Ed.	NTU	377,14	-

Notas importantes:

El Laboratorio del GADPO no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente respecto a los datos de la muestra.

El laboratorio del GADPO no es responsable de la toma de muestra.

La muestra fue receiptada en el laboratorio.

Los parámetros analizados fueron solicitados por el cliente.

El ensayo marcado con (*) no se encuentra considerado dentro del alcance de acreditación del Laboratorio del GADPO.

Los resultados emitidos en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra sometida a ensayo.

F-MA-C-09

Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización escrita del laboratorio

ANEXO M: RESULTADOS DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL PH, DQO, TEMPERATURA, TURBIDEZ, STS Y METALES PESADOS CON 3,0V A 20 MIN, PRUEBA 1



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL DEL
GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA

Dirección: Av. 9 de Octubre entre Dayuma y César Andy
Fco. de Orellana-Ecuador
Tel: (+593) 063 731 760 Ext.: 2114

INFORME DE RESULTADOS IA-066

Francisco de Orellana, 07 de Marzo de 2023.

DATOS DEL SOLICITANTE					
Empresa: Jefatura de Prevención y Control de la Contaminación					
Solicitado por: Ing. Geovanny Salinas			Dirección: El Coca, Dayuma y César Andy		
Teléfono: 063731760			Correo:gsalinas1307@gmail.com		
DATOS DE LA MUESTRA					
Toma de muestra realizada por: Tec.Cristian Cumbicus/Tec. Mayra Hurtado					
Fecha de toma de muestra: 23-02-2023			Hora de toma de muestra:13:00		
Matriz: Lixiviados			Clasificación: Piscina de captación		
Identificación de muestra: M12, Agua tratada de lixiviados con electrocoagulación. Prueba 3. Hierro y Aluminio 3V/5A 15 mnts X: 277432, Y: 9952503.					
DATOS DE INGRESO DE MUESTRA AL LABORATORIO					
Código laboratorio: a23 - 066			Responsable de ingreso: Jessica Chinkim		
Fecha de ingreso: 23-02-2023			Hora de ingreso: 17:00		
Solicitud de análisis Nro.: 23-015-A			Consedoc Nro.: N/A		
DATOS DE ANÁLISIS					
Fecha final de análisis: 06-03-2023					
Analistas: Fulton Garay, Jessica Chinkim, Fernando Ramos, Cristian Shiguango					
RESULTADOS					
Ítem	Parámetro*	Método de referencia / Procedimiento Interno	Unidad	Resultado	Incertidumbre
1	Potencial de Hidrógeno	SM 4500-H* B, 23 rd Ed./PT-01	-	6,94	3
2	Demanda Química de Oxígeno	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	2381,33	22
3	Cadmio	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,03	21
4	Cobre	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-0	mg/L	<0,30	10
5	Plomo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
6	Cromo	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,30	15
7	Zinc	SM 3030 B, SM 3111 B, 23rd Ed./PT-05	mg/L	<0,10	-
8	Sólidos Totales Suspendedos*	SM 2540 D, 23rd Ed.	mg/L	340	-
9	Turbidez*	SM 2130 B, 23rd Ed.	NTU	226,39	-

Notas importantes:

El Laboratorio del GADPO no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente respecto a los datos de la muestra.

El laboratorio del GADPO no es responsable de la toma de muestra.

La muestra fue receiptada en el laboratorio.

Los parámetros analizados fueron solicitados por el cliente.

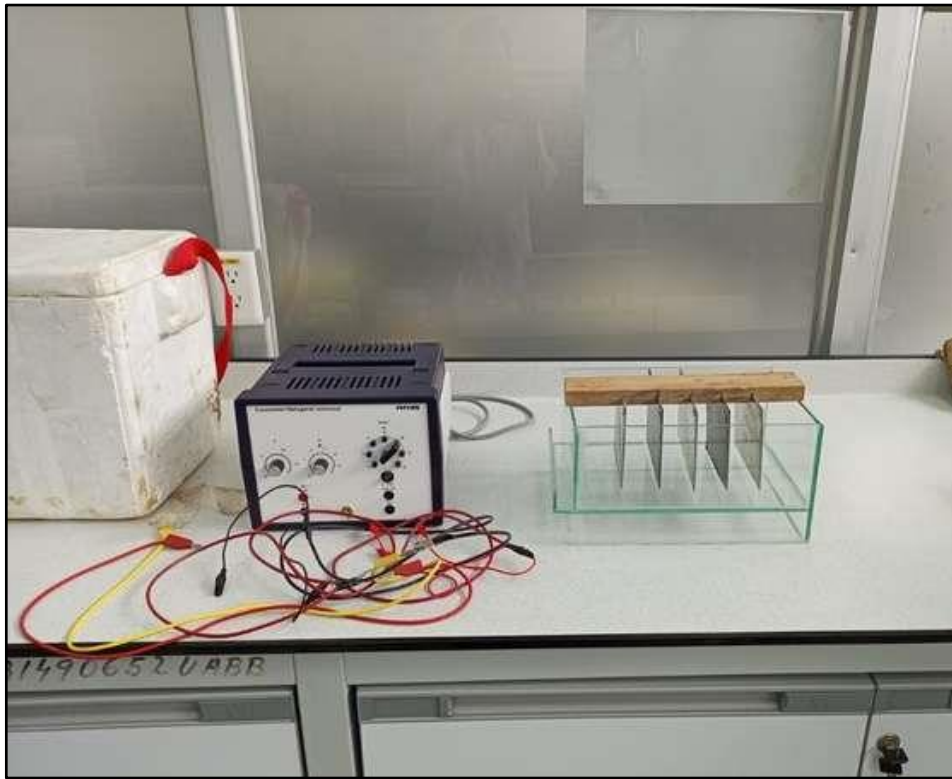
El ensayo marcado con (*) no se encuentra considerado dentro del alcance de acreditación del Laboratorio del GADPO.

Los resultados emitidos en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra sometida a ensayo.

F-IA-C-09

Prohibida la reproducción total o parcial del presente informe sin la autorización escrita del laboratorio

ANEXO N: PROTOTIPO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES
Nombres – Apellidos: Cristian Patricio Cumbicus Vicente. Mayra Paola Hurtado Cayambe.
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias.
Carrera: Ingeniería Ambiental.
Título a optar: Ingeniero/a Ambiental.
f. responsable: Ing. Cristian Sebastian Tenelanda Santillan.

Cristian Tenelanda.S
10-07-2023



1365-DBRA-UPT-2023