



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

**“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FENTON
COADYUVANTE DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA
LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO PORLÓN”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL

AUTORA: MAYRA ALEXANDRA GUEVARA VILLEGAS

TUTOR: DR. JOSE GERARDO LEON CHIMBOLEMA

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Mayra Alexandra Guevara Villegas

Autoriza la reproducción total y parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando reconozca el derecho del Autor.

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FENTON COADYUVANTE DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO PORLÓN, de responsabilidad de la señora Mayra Alexandra Guevara Villegas, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. José Gerardo León Chimbolema DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Carlos Alcívar Medina Serrano MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Yo, Mayra Alexandra Guevara Villegas soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

.....
Mayra Alexandra Guevara Villegas

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis en primer lugar a Dios quien me dio la vida y la luz para seguir mi camino con las personas que más quiero; a mi familia por ser las personas que estuvieron apoyándome cada día, a mi hija Isabela Escobar por ser mi estímulo, y pilar fundamental para seguir adelante, a mis padres Ramiro Guevara y Lucila Villegas por ser quienes me guiaron y sustentaron el financiamiento a lo largo de mi carrera universitaria y los cuales agradezco infinitamente; a mis hermanos Jefferson y Diana quienes me apoyaron y siempre estuvieron a mi lado en todo momento sin dejarme desmayar.

Y a todos quienes hicieron posible la culminación de mi carrera profesional.

Alexandra

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al personal del relleno sanitario de Riobamba quienes me abrieron las puertas para la realización de mi tesis, a la Ing. Blanca Mosquera por ayudarme en la recolección de muestras

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ya que ayudo con el laboratorio de agua quien está a cargo la Ing. Gina Álvarez por transmitirme sus conocimientos en todo momento ayudándome cuando más lo necesitaba.

A la asistente del laboratorio en el que realice los análisis por estar pendiente de la parte experimental de mi tesis y colaborarme en todo lo pudo con sus conocimientos.

A mi tutor Dr. Gerardo León por ayudarme en mi tema de tesis, transmitirme sus conocimientos y ser la persona que me guio a lo largo del desarrollo de la misma.

A mi evaluador el Ing. Carlos Medina por estar al tanto de mi tema de tesis y ayudarme en todo momento que lo necesite.

CONTENIDO DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
AGV	Ácidos grasos Volátiles
AOP	Proceso de oxidación avanzada
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cubico
CO ₂	Dióxido de carbono
COV's	Compuestos orgánicos volátiles
C ₄ H ₆ O ₆	Ácido tartárico
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
d	Día
FeSO ₄	Sulfato de hierro
Fe ²⁺	Hierro II
Fe ³⁺	Hierro III
GADM	Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales
g	Gramo
H	Altura
HO [•]	Anión Hidroxilo
H ₂ O	Agua
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogeno
H ₃ O ⁺	Ion hidronio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
hp	Caballos de fuerza
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Kg	Kilogramo
L	Litro
Lx	Lixiviado
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
m	Metro
MO	Materia Orgánica
pH	Potencial de hidrogeno
PPC	Producción per cápita

RS	Residuo Sólido
rpm	Revolución por minuto
ST	Sólido Total
SST	Sólidos Suspendidos Totales
TDS	Sólidos totales disueltos
s	Segundo
UVA	Luz ultravioleta

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCION	1
 CAPITULO I	
1. Marco teórico	4
1.1 Residuos solidos	4
1.2 Composición de los residuos sólidos	4
1.2.1 Generación de residuos	5
1.2.1.1 <i>Producción per cápita (PPC)</i>	5
1.2.2 Efectos en la salud por los residuos sólidos	5
1.2.3 Efectos en el ambiente	6
1.2.3.1 <i>Contaminación del agua</i>	6
1.2.3.2 <i>Contaminación del suelo</i>	6
1.2.3.2 <i>Contaminación del aire</i>	7
1.3 Botadero de basura a cielo abierto y Relleno sanitario	7
1.3.1 <i>Botadero de basura a cielo abierto</i>	7
1.3.2 <i>Relleno sanitario</i>	7
1.4 Lixiviados	8
1.4.1 Generación y facies del lixiviado	8
1.4.2 Características de los lixiviados	9
1.4.2.1 <i>Calculo de la generación de lixiviado</i>	10
1.5 Técnicas de tratamientos convencionales de lixiviados	12
1.5.1 Proceso biológicos	12
1.5.1.1 <i>Anaerobio</i>	12
1.5.1.2 <i>Aerobio</i>	12
1.5.2 Sistemas naturales	12
1.5.3 Evaporación	13
1.5.4 Recirculación de lixiviados	13
1.6 Sistemas de tratamientos avanzadas de lixiviados	13
1.6.1 Técnica fenton	13
1.7 Componentes del equipo fenton	17
1.7.1 Sistema de agitación	17

1.7.1.1	<i>Funciones de la agitación</i>	19
1.7.2	<i>Fórmulas utilizadas en el equipo fenton</i>	19
1.8	Normativa Ambiental	22

CAPITULO II

2.	Marco metodológico	23
2.1	Área de estudio	23
2.1.1	<i>Ubicación Cartográfica y Geográfica</i>	23
2.1.2	<i>Macrolocalización</i>	23
2.1.3	<i>Microlocalización</i>	23
2.2	Metodología	24
2.2.1	<i>Medición del caudal</i>	24
2.2.2	<i>Muestreo y Transporte</i>	25
2.2.3	<i>Caracterización del lixiviado</i>	25
2.2.4	<i>Dimensionamiento del equipo fenton</i>	26
2.2.5	<i>Elaboración de Planos del equipo Fenton</i>	26
2.2.6	<i>Construcción del equipo fenton</i>	26
2.2.7	<i>Tratamiento químico para determinar los valores óptimos de pH y reactivo fenton.</i>	26

CAPITULO III

3.	Marco de resultados, discusión y análisis de resultados	27
3.1	Determinación de caudal	27
3.2.	Caracterización del lixiviado	28
3.3	Propuesta	30
3.4	Dimensionamiento del equipo fenton	30
3.4.1	<i>Volumen del vaso de precipitación</i>	30

3.4.2	<i>Altura del tanque agitador.....</i>	31
3.4.3	<i>Longitud de brazo.....</i>	31
3.4.4	<i>Espesor de rodete.....</i>	31
3.4.5	<i>Diámetro del rodete.....</i>	31
3.4.6	<i>Distancia entre el fondo del vaso y el rodete.....</i>	31
3.4.7	<i>Alto de la paleta.....</i>	32
3.4.7	<i>Gradiente de velocidad.....</i>	32
3.4.8	<i>Velocidad de rotación, rpm.....</i>	32
3.4.9	<i>Potencia requerida.....</i>	33
3.5.	Elaboración de Planos del equipo Fenton.....	34
3.6.	Construcción del equipo fenton.....	34
3.7	Resultados de los parámetros de control en el equipo fenton.....	34
3.7.1	<i>Análisis de la turbidez en el meto fenton.....</i>	36
3.7.2	<i>Análisis del color en método fenton.....</i>	39
	CONCLUSIONES	44
	RECOMENDACIONES	45
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Composición de los Residuos solidos.....	5
Tabla 2-1:	Enfermedades provocadas por los residuos solidos.....	6
Tabla 3-1:	Clasificación de lixiviados en función de la edad que posea	10
Tabla 4-1:	Medidas de los sistemas de agitación	18
Tabla 5-1:	Limite de descarga a un cuerpo de agua dulce	22
Tabla 1-2:	Ubicación Cartográfica del Relleno Sanitario	23
Tabla 2-2:	Ubicación Geográfica del Relleno Sanitario	23
Tabla 3-2:	Métodos empleados para el análisis físico-químico del lixiviado	25
Tabla 1-3:	Estimación del caudal del Lixiviado producido en el Relleno Sanitario Porlón ..	27
Tabla 2-3:	Datos de la caracterización del lixiviado	28
Tabla 3- 3:	Dimensionamiento del equipo Fenton	34
Tabla 4-3:	Disminución de la turbidez y color en el método fenton	35
Tabla 5-3:	Resultado de la aplicación del método Fenton	42
Tabla 6-3:	Comparación de resultados con trabajos anteriores.....	42

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Peróxido de hidrogeno dosis aproximada (ppm)	36
Gráfico 2-3:	Hierro II dosis aproximada (ppm)	37
Gráfico 3-3 :	pH Óptimo.....	37
Gráfico 4-3 :	Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm).....	38
Gráfico 5-3:	Hierro II dosis óptima (ppm).....	38
Gráfico 6-3:	Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm).....	39
Gráfico 7-3:	Hierro II dosis óptima (ppm).....	39
Gráfico 8-3:	pH Óptimo.....	40
Gráfico 9-3:	Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm).....	40
Gráfico 10-3:	Hierro II dosis óptima (ppm).....	41
Gráfico 11-3:	Gradiente de velocidad (RPM).....	41

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Manual de operación del equipo Fenton
- ANEXO B:** Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario Porlón
- ANEXO C:** Medición del caudal
- ANEXO D:** Caracterización de los lixiviados
- ANEXO E:** Disminución del pH para aplicar el método fenton
- ANEXO F:** Funcionamiento del equipo fenton
- ANEXO G:** Lixiviado después de aplicar el Método Fenton a diferentes tratamientos
- ANEXO H:** Resultado de la aplicación del método fenton (Antes y después)
- ANEXO I:** Análisis de Tenso activos
- ANEXO J:** Plano del equipo fenton

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo por objetivo construir un prototipo fenton coadyuvante de tratamientos biológicos para lixiviados en el Relleno Sanitario Porlón. Se realizó la caracterización de la primera muestra del lixiviado utilizando un análisis físico-químico para determinar los siguientes parámetros: pH, Solidos totales disueltos (TDS), conductividad, alcalinidad, turbidez, color, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y Tensoactivos. De estos se tomarán como parámetros de control la turbidez y el color. Se dimensiono el equipo, con los resultados obtenidos se diseñó el plano en AutoCAD. Con base a estas especificaciones se construyó el equipo en materiales de vidrio, metal y acero inoxidable. En la oxidación fenton se utilizó una combinación de H_2O_2 y $FeSO_4$ en condiciones ácida. Como resultados tenemos que este equipo se elaboró para 1 L de lixiviado a tratar, con una velocidad inicial de 30 rpm a 0,77 hp y velocidad final de 100 rpm a 1,33 hp controlado por un variador sinamics G110. Las condiciones de trabajo fueron 120 minutos, pH de 3, 400 mg/L H_2O_2 y 1000 mg/L Fe^{2+} . Los porcentajes de remoción de materia orgánica medidos con turbidez y color fueron de 91% y 87% respectivamente. Mientras que la remoción DBO_5 , DQO y TDS fueron 85%, 72% y 66% respectivamente. Obteniendo de esta manera una mayor remoción en comparación con otras técnicas.

PALABRAS CLAVES: < BIOTECNOLOGÍA >, < TRATAMIENTO QUIMICO > < METODO FENTON > < LIXIVIADOS > < DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO) > < DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO) >

SUMMARY

The aim of this qualification work was to build a Fenton prototype of biological treatments for leaching in the Porlón sanitary landfill. The initial sample of the leachate was characterized by a physical-chemical analysis, whose parameters to be determined were: pH, Total Dissolved solids (TDS), conductivity, alkalinity, turbidity, color, Biochemical Oxygen Demand (BOD5) Chemical Oxygen Demand (COD) and Tense active. This will be taken as a control parameter the turbidity and heat. The equipment was dimensioned, with the results obtained it was designed the plane of AutoCAD. Based on these specifications, the equipment was built on glass, metal and stainless steel materials. In Fenton oxidation, a combination of H₂O₂ and FeSO₄ in acidic conditions was used. As a result we have this elaborated equipment for 1l of leachate to treat, with an initial speed of 30 rpm to 0,77 hp and final speed of 100 RPM to 1,33 hp controlled by a variator sinamics G 110. Working conditions were 120 minutes, pH of 3,400 mg/LH₂O₂ and 1000mg/L Fe²⁺. The percentages of organic matter removal measured from turbidity and color were 91% and 87% respectively. While removal BOD₅, COD, and TDS were 85%, 72% and 66% respectively. Thus obtaining a greater removal in comparison with other techniques.

KEYWORDS: < Biotechnology >, < Chemical Treatment >, <Fenton Method>, <Leach>, < Chemical Oxygen Demand (COD) >, <Biochemical Oxygen Demand (BOD)>

INTRODUCCION

El manejo de los desechos sólidos está a cargo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), sin embargo, la gestión administrativa y pública es mínima. Debido a que no promueven el tratamiento y aprovechamiento de los desechos que se generan en las ciudades y es importante señalar que se aumente propuestas coadyuvantes para la solución de este problema. Ecuador cuenta con 14.483.499 millones de habitantes según el Censo del 2010 de la Población y Vivienda, se denota que un 77% de población elimina la basura a través de carros recolectores y el 23% restante la elimina de diversas formas (son quemados, enterrados, arrojados a terrenos, etc.).

El cantón Riobamba en la actualidad cuenta con un relleno sanitario ubicado en la comunidad de San Jerónimo de Porlón el cual no provee un manejo ambiental apropiado a sus residuos sólidos y líquidos, creados por la acumulación diaria de basura. Mediante datos de la Dirección de Gestión Ambiental del Ayuntamiento de Riobamba al lugar ingresan 20 toneladas de desechos diarios, lo que suman un total de 200 toneladas semanales. Los desechos urbanos crecen de forma acelerada lo que a su vez da como consecuencia la formación de lixiviados (Lx) de manera proporcional al incremento de basura y aumento poblacional que ocurre de manera cotidiana en la urbe, formando un líquido de contaminación directa para los entornos del relleno.

El relleno sanitario presenta espacios físicos no organizados para cada proceso o tratamiento. Los Lx recolectados pasan por un vertedero triangular que se utiliza para medir el caudal, luego son depositados en dos tranques sedimentadores que después de su tiempo de acción son circulados a la piscina en la cual se dosifica un biol y caolita para que se forme una biopelícula. Estos actúan en un tiempo determinado de retención y pasan a los humedales de totoras los cuales no abastecen el caudal de Lx y como último paso se da el desfogue del lixiviado al río. El material contaminante presenta características de joven o biodegradable (< 5 años), esto nos indica que tiene altas concentraciones de cargas contaminantes, por lo tanto, no se tratan de manera tan eficiente con métodos biológicos.

Por otra parte, un sitio de relleno sanitario originará Lx a lo largo de su vida útil y también durante varios cientos de años después de su clausura. Este líquido contiene altos niveles de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Sólidos Disueltos Totales (TDS). Que provocan serias amenazas ambientales debido a la descarga de Lx que contaminan las aguas subterráneas, ríos, lagos y suelos, poseen el potencial de afectar en forma negativa los hábitats locales y salud humana.

JUSTIFICACION

Existen diversos métodos para tratar Lx como coagulación-floculación, digestión anaerobia, lagunas de oxidación, recirculación de Lx, etc.(Universidad de los Andes (Mérida 2006). Debido a varios estudios del reactivo Fenton en la remoción de contaminantes orgánicos de Lx en rellenos sanitarios, presenta una eficiencia más alta de degradación que la coagulación y las demás tecnologías mencionadas (Brennan et al. 2017; Peng 2017; Novelo et al. 2010). En el proceso de tratamiento de los Lx con altas concentraciones orgánicas puede ser llamada como un tipo de “coagulación mejorada”, la misma que nos permite obtener una mayor remoción en menor tiempo y a bajos costos (Novelo et al. 2010).

El presente trabajo utilizo un tratamiento prometedor como lo es la oxidación Fenton que trata los Lx mediante combinación de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y sulfato ferroso ($FeSO_4$) en condiciones ácidas de pH (Moody and Townsend 2017). Este tipo de oxidación avanzada reduce las concentraciones de DQO, DBO y TDS (Aharoni, Siebner, and Dahan 2017). Por lo tanto, es un método químico que cumple con la remediación de sustancias contaminantes, siendo un proceso aún no aplicado a macro escala en nuestro país, este mejorara el funcionamiento de la planta de Lx.

En base a estos es apropiado y primordial para la protección del medio ambiente circundante, ya que se da la contaminación en aguas subterráneas, ríos, lagos y suelos, debido a la alta carga contaminante que este posee. Tiene el potencial de afectar de forma negativa los hábitats locales, y salud humana (Naveen et al. 2017).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Construir un prototipo fenton coadyuvante de tratamientos biológicos para lixiviados en el relleno sanitario Porlón.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los lixiviados del relleno sanitario Porlón.
- Construir el prototipo fenton para tratar los lixiviados provenientes del relleno sanitario Porlón.
- Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en los lixiviados del relleno sanitario Porlón.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Residuos sólidos

Son aquellos materiales que luego de cumplieron con su vida útil son desechados y estos pueden ser orgánicos e inorgánicos. Estos son provenientes de materiales utilizados en transformación, fabricación o utilización de bienes de consumo. (Montes, 2009, p. 20)

Se clasifica a los residuos sólidos en los siguientes:

- Residuos Sólidos Urbanos o Municipales
- Residuos Domésticos y Comerciales
- Residuos Institucionales
- Residuos de la construcción y demolición
- Residuos de los servicios municipales
- Residuos de industriales
- Residuos Agrícolas
- Residuos Mineros
- Residuos Forestales
- Residuos Radioactivos
- Residuos hospitalarios

1.2 Composición de los residuos sólidos

Inciden los siguientes factores en la composición de residuos sólidos (Moody and Townsend 2017, p. 25):

- Nivel y modo de vida de una población
- Características y actividades que realiza la población ya sean estas en zonas urbanas, rurales y zonas de servicio
- Mayor consumo de insumos que generan residuos orgánicos en verano mientras que en invierno las personas prefieren productos que generan residuos inorgánicos.

Tabla 1.2-1 Composición de los Residuos sólidos

PAÍSES EN VIAS DE DESARROLLO	
Materia	% del peso total
Vidrio	1,00-3,80
Metales	0,70-1,60
Cartón	1,00-1,80
Papel	2,60-5,00
Madera	0,10-1,00
Tierra y ceniza	6,00-16,00
Gomas y cueros	0,20-1,40
Residuos orgánicos	58,00-80,20
Plásticos	3,80-7,40
Textiles	2,00-4,10

Fuente: (Colomer Mendoza & Gallardo Izquierdo, 2009)

Realizado por: GUEVRA, Alexandra 2019.

1.2.1 Generación de residuos

1.2.1.1 Producción per cápita (PPC)

Es el valor promedio de generación de RS por habitante, este se expresa en kg/hab*día y también las actividades socioeconómicas se toma en cuenta. Mediante el valor de la PPC se obtienen datos para datos para la recolección de basura, barrido, transporte, proceso de tratamiento y la colocación final de los residuos (Ministerio de ambiente, 2014, p. 3).

$$\mathbf{PPC} = \frac{\text{kg Recolectados}}{\text{Numero de habitantes}}$$

1.2.2 Efectos en la salud por los residuos sólidos

Las enfermedades producidas por residuos sólidos dan efectos en la salud de los habitantes y estas pueden producirse de forma directa e indirecta. Los Residuos Sólidos originan las afectaciones más significativas que se exponen a continuación:

Tabla 2-1: Enfermedades provocadas por los residuos sólidos

Vectores	Moscas	Mosquito	Cucaracha	Rata
Enfermedades	Fiebre tifoidea	Malaria	Intoxicaciones alimenticia	Peste bubónica
	Cólera	Encefalitis	Leprosia	Rabia
	Diarrea	Dengue	Diarrea	Tifus murino
	Salmonelosis	Fiebre amarilla	Gastroenteritis	Diarrea
	Disentería	Fiebre amarilla	Fiebre tifoidea	Leptospirosis

Fuente: Residuos sólidos municipales. Washington. D.C. OPS 1991

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

Se debe estimar el valor de la basura que generamos a diario, y convertirlos en patrimonio con fines de obtener dinero al operar los RS sin causar perjuicios a la población y al entorno. Estos pueden cambiarse de desechos aun baluarte económico al dar el método más adecuado, pudiendo reutilizar para elaborar otros productos (Han et al. 2016, pp. 15-19).

1.2.3 Efectos en el ambiente

El deterioro estético de las ciudades, tanto urbano como rural y el efecto paisajístico son causados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos municipales. La basura amontonada en cualquier lugar abandonado es común observar en los botaderos a cielo abierto.

1.2.3.1 Contaminación del agua

El efecto de botar residuos a ríos y fuentes de agua menores, produciendo lixiviados a causa de la descomposición de sólidos El crecimiento de algas verdes crea el fenómeno de eutrofización, provocando desagradables olores, inadecuado ambiente para los peces y disminuye la apariencia del recurso agua. Esto se da por la baja concentración de oxígeno disuelto en ríos contaminados con residuos sólidos, y por ende aumenta la cantidad de nutrientes.

1.2.3.2 Contaminación del suelo

Los suelos son afectados a causa de la composición de residuos químicos peligrosos, que los desechan sin prever las graves dificultades que conlleva su inadecuada disposición en los

botaderos de basura a cielo abierto que emiten grandes problemas para la población aledaña, y la apariencia paisajística de sus alrededores.

1.2.3.2 Contaminación del aire

La inadecuada disposición de los residuos sólidos afecta la calidad del aire, los cuales se depositan en lugares abandonados, o simplemente son calcinados al aire libre. Debido a esto se ven perjudicadas la vista, respiración y también son vías por las cuales se trasladan los microorganismos se afectando a la salud, aumentado de esta manera el riesgo de proliferación de polvo con olores desagradables provocando la contaminación atmosférica (Jaramillo, 2002, pp. 11-13).

1.3 Botadero de basura a cielo abierto y Relleno sanitario

1.3.1 Botadero de basura a cielo abierto

Se convierten en botaderos de basura los lugares en los cuales se deposita los RS como disposición final. Esto sucede debido a que el hombre tiene el hábito de desechar los residuos en sitios alejados y abandonados. En los cuales se acumulan los residuos sin ninguna técnica de separación ni tratamiento alguno, este es denominado como botadero. No existe control sanitario y ambiental por lo que al transcurrir el tiempo se da la descomposición de la materia orgánica produciendo la formación de gases y líquidos conocidos como lixiviados. En estos sitios se da la quema de basura, emanación de olores desagradables, provocando de esta manera la contaminación del aire, suelo, agua y atraen los principales vectores culpables de la aparición de varias enfermedades.

Los municipios consideran a un depósito de basura al sector alejado de la ciudad en el cual se da una práctica irresponsable del manejo de la misma, que ocasiona un retroceso para el progreso del país debido a los aspectos negativos que generan los botaderos y también afectaran a las generaciones futuras (Jaramillo, 2002, p. 41).

1.3.2 Relleno sanitario

Es un lugar en el cual se emplea medidas de diseño y fábrica para la compactación de los RS en un área con material rocoso y aislamiento comprimiendo su volumen. Se conoce como relleno sanitario a la técnica específica en la que se da su disposición final de RS en un lugar determinado que favorece al hombre y ambiente. De esta manera se controla la formación de gases

provenientes de lixiviados que se crean por la desintegración de los compuestos orgánica.
(Jaramillo, 2002, pp. 42-45)



Fotografía 1 – 1: Relleno sanitario de Porlón
Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2018

Según Jaramillo (2002, pp. 60-74) Existen tres diferentes tipos de rellenos sanitarios según su disposición final:

- Relleno sanitario mecanizado
- Relleno sanitario semimecanizado
- Relleno sanitario manual

1.4 Lixiviados

Debido al alto consumismo de recursos naturales y procesados diariamente se da la formación de lixiviados. Estos provienen de la desintegración de compuestos orgánicos e inorgánicos, presentan altas concentraciones de: materia orgánica, metales pesados, sales y nitrógeno amoniacal. Los factores que intervienen en la composición química de estos son la edad del lixiviado, el clima, naturaleza de los RS y geología del sitio (Droppelmann & Oettinger, 2009, p. 11).

1.4.1 Generación y fases del lixiviado

Se toma en cuenta las fases de degradación anaeróbica para la generación de lixiviados en rellenos sanitarios:

- ❖ Fase I o inicial es aeróbica requiere del aire en las celdas que están cubiertas en el relleno sanitario, en estas se consume el aire muy rápido, similar al nitrógeno que colabora en la

nitrificación. Se produce el bióxido de carbono por fermentación aeróbica de la materia orgánica. No se observa cambios grandes en los lixiviados en esta etapa.

- ❖ Fase II es la fase ácida por lo que se convierten en procesos anaeróbicos, en los cuales se da la fermentación produciendo valores altos de ácidos grasos, disminuyendo el valor del pH y de esta manera generando la formación de lixiviados. Como consecuencias tenemos altas concentraciones de DQO, ácidos grasos y amoníaco además se produce biogás y nitrógeno no gastado que es una producción menor de hidrógeno.
- ❖ En la fase III o fase metanogénica inicial, esta se da en condiciones anaeróbicas por lo cual se eleva el porcentaje de metano y disminuye el bióxido de carbono. Se forma biogás por el cambio de AGV, reduciendo la concentración de Lx, provocando de este modo que el pH ascienda y la MO disminuya.
- ❖ La Fase IV o fase metanogénica estable en esta se da el aumento de la concentración, del bióxido de carbono del 40 - 50 % y el biogás presenta un volumen de un 55 %. El lixiviado en esta etapa presenta las siguientes características: disminución de la carga orgánica, pH alto y presencia de amoníaco.
- ❖ Fase V o fase de estabilización de los residuos, se da generalmente en rellenos sanitarios clausurados que presentan condiciones aeróbicas. En esta etapa se disminuye la producción de metano, el oxígeno alcanza el aire atmosférico por medio de las capas superficiales del relleno y el bióxido de carbono se transforma a dióxido de carbono (Kiss & Encarnación, 2016, pp. 42-43)

1.4.2 Características de los lixiviados

Existen muchos factores (Tipología de RS, contenido de humedad, calidad, porcentaje de agua en contacto con los RS) que caracterizan a los lixiviados provenientes de los Rellenos Sanitarios y de acuerdo a la edad que estos posean cambiara su composición. La eficacia de los RS y su porcentaje de estabilización se deben a las características fisicoquímicas. (Dávila Cifuentes, 2013, p. 12).

Los países en vías de desarrollo contienen materia orgánica fácilmente biodegradable mientras que los países en desarrollo presentan cargas mayores de DBO, metales, amoníaco y sustancias precipitables en los lixiviados producidos en los rellenos sanitarios. El pH ácido tiene influencia de solubilizar los metales presentes en desechos depositados en rellenos.

Un lixiviado joven es altamente contaminante, pero conforme transcurren el tiempo las cargas contaminantes varían, debido a las reacciones que se generan la composición química va disminuyendo. Mientras más tiempo demore en descomponer, la carga contaminante será menor y por esta razón es conocido como material estabilizado o viejo (Giraldo, 1997, p. 45).

Tabla 3-1: Clasificación de lixiviados en función de la edad que posea

Edad del Relleno Sanitario			
	< 5 joven	5 – 10 medio	>Viejo
Parámetro	Biodegradable	Intermedio	Estabilización
Ph	<6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DBO (mg/L)	>20000	3000 - 1500	>500
DBO ₅ /DQO	>0.5	0.1 – 0.5	<0.1
DQO/COT	<2.7	2.0 – 2.7	>2.0
Metales pesados (mg/L)	2		<50 mg/L
AGV*(%COT)	>70	5 – 30	<5

Fuente: Francechi. 2015

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

1.4.2.1 Cálculo de la generación de lixiviado

Existen diversos factores que influyen en la cantidad de lixiviado en un relleno sanitario como lo son: Frecuencia de precipitación pluvial, escorrentía, infiltración, evaporación, humedad de los residuos y efecto de compactación. Por esta razón el volumen este aumenta según la frecuencia de precipitaciones, dependiendo de todos los factores mencionados, manejo y localización.

La frecuencia de precipitación pluvial, la evapotranspiración, el efecto de compactación, Cantidad de humedad natural de los residuos, escorrentía, infiltración subterránea y la capacidad de campo son los principales factores que influyen en la cantidad de lixiviado en un relleno sanitario. Las precipitaciones (agua lluvia) aumentan el volumen del lixiviado, los datos estimados varían dependiendo de los distintos manejos de operación y localización de cada relleno de modo que se debe realizar el cálculo para cada relleno (Medina 2015).

Existen diversos métodos para el cálculo del caudal como lo son el método volumétrico, método del vertedero, método suizo y entre estos describimos algunos a continuación.

Método suizo

Para evitar la búsqueda de datos climatológicos, se utiliza el coeficiente de correlación en lixiviados debido a los factores que estos generan. Facilitando con este método el cálculo del caudal.

Ecuación 1- 1

$$Q = \frac{1}{t} * p * A * k$$

Q = Caudal medio de lixiviado (L/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 s/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- k = 0,25 a 0,50 para peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³ en rellenos compactados de manera débil, produciendo lixiviado entre 25-50% con precipitación media anual en el área del relleno.
- k = 0,15 a 0,25 para peso específico > 0,7 t/m³ en rellenos compactados de manera fuerte generando lixiviado entre 15-25% con precipitación media anual en el área del relleno (Jaramillo, 2012, pp. 114-115).

Método del vertedero Triangular (< 90°)

El Método del vertedero aplica para grandes cantidades de lixiviado, según la geometría de la salida del efluente. Este consiste en un obstáculo hecho en el canal de ingreso del lixiviado para que el líquido retroceda hacia atrás de este y fluya a través del obstáculo. Se determina el flujo del líquido midiendo la altura varias veces en un día para tener mayor precisión (“Toma de muestras de aguas residuales instructivo para la toma de muestras de aguas residuales” 2007, pp 8-9)

Mediante el método del vertedero triangular (< 90°) se puede calcular el caudal de Lx utilizando la fórmula de Thomson:

Ecuación 1-2

$$Q = 1.4 * h^{5/2}$$

Donde:

Q = Caudal (m³ /s)

H = Altura (m)

1.5 Técnicas de tratamientos convencionales de lixiviados

Una vez caracterizados los lixiviados se realiza la selección de tratamientos que se deben elegir según las características que presentan estos. Los diferentes factores que influyen en la concentración de los Lixiviados son: por alta concentración de materia orgánica, microorganismos patógenos, elementos tóxicos y contaminación por nutrientes. En la actualidad se cuenta con las siguientes tecnologías para el tratamiento de lixiviados (Martínez López, 2014, pp. 37-47).

1.5.1 Proceso biológicos

1.5.1.1 Anaerobio

Se da la extracción de la materia orgánica presente en los lixiviados mediante la aplicación de microorganismos que actúan en ausencia de oxígeno, por lo cual se produce lodos. Este proceso puede dificultarse debido a la acumulación de materia inorgánica en el interior de los reactores y piscinas de oxidación causa problemas de sedimentos limitando su funcionamiento, dificulta el manejo de lodos y provocando en los sistemas de conducción el taponamiento y de esta manera ocasiona el deterioro del sistema.

1.5.1.2 Aerobio

Esta tecnología mejora el lixiviados aplicando microorganismos con suministro de oxígeno por agitadores para prevenir la muerte de estos. Por lo cual se da la formación de sólidos sedimentable que se forman al fondo del recipiente separándose de la parte líquida. Este debe tener condiciones estables, para conseguir la remoción esperada. Cuando los lixiviados son concentrados aplicando los procesos aerobios se eliminará casi un 90% de DBO, estos difieren en sus costos y mantenimiento son superiores a los procesos anaerobios.

1.5.2 Sistemas naturales

Lagunas y humedales artificiales son otra opción de tratamiento para lixiviados, es un proceso sencillo por darse de forma natural es muy competitiva al compararse con otras tecnologías. Se debe tener en cuenta que los costos de manipulación y el sustento de estos factores que se tienen en cuenta para la puesta en marcha de sistemas naturales se puede llegar a conclusiones equivocadas con relación al porcentaje de remoción de contaminantes. El espacio de terreno que

se utiliza para poner en marchas los sistemas naturales acarrea consigo contaminación visual, de ruido y de malos olores que son las desventajas que aportan estos.

1.5.3 Evaporación

Es la tecnología en auge al igual que los sistemas naturales en estos tratamientos la energía que se formada en los rellenos se manipula para evaporar el lixiviado por calentamiento. Dependiendo de la concentración del lixiviado se realiza un post-quemado que afecta al mezclar el gas con vapor de agua que surge del evaporador para obtener la minimización emisiones de COV's, mediante esto se logra el control parcial o general de la producción de lixiviado.

1.5.4 Recirculación de lixiviados

Este método es conocido como el relleno biorreactor, se sigue estudiando detalladamente en los Estados Unidos se está estudiando este tratamiento con la asistencia de la Agencia de Protección Ambiental para despejar múltiples incógnitas sobre el proceso de recirculación de lixiviados, esta es una elección eficiente de tratamiento para el bajar las cargas contaminantes.

1.6 Sistemas de tratamientos avanzadas de lixiviados

La remoción de contaminantes de lixiviados se da con gran eficacia mediante procesos de oxidación avanzada (AOP), los más ocupados más menudo incluyen: oxidación fotocatalítica heterogénea (H_2O_2 , UVA o ambos), sistemas combinados H_2O_2 / UV y H_2O_2 / Fe^{2+} (Reactivo de fenton). La cual ayuda a oxidar la materia orgánica por la generación del radical hidroxilo (HO \cdot). El uso de la luz solar u otras formas de energía, métodos foto químicos y métodos físico químicos los cuales aumentar la velocidades de reacción al tratar aguas contaminadas (Méndez et al, 2004, pp. 11-15).

1.6.1 Técnica fenton

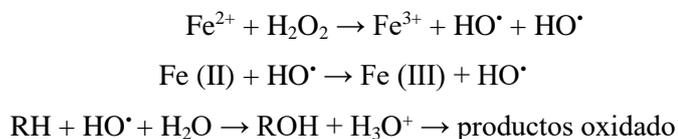
El proceso Fenton es un tratamiento amigable con el ambiente por lo tanto aplica el principio de la química verde que busca disminuir los tiempos de acción y coste de este con una alta eficiencia. Se basa en una reacción propuesta por Henry J. H. en 1899, esta se planteó para la oxidación de $C_4H_6O_6$ (ácido tartárico) y actualmente es conocida como "Oxidación Fenton" (Julian Garcia Herrera, 2014, p. 21). El reactivo de Fenton (oxidación avanzada), es una tecnología prometedora para la depuración de compuestos orgánicos tóxicos y no biodegradables presentes en lixiviados. El

objetivo este método es optimizar la eliminación de DQO de las aguas residuales industriales, mediante la aplicación de procesos de oxidación Fenton. Este tipo de tratamiento es fácilmente aplicado, ya que se realizan a temperaturas cercanas a la presión ambiental y atmosférica.

Por lo tanto, este implican la generación de radicales altamente reactivos como el hidroxilo en cantidad suficiente para efectuar la desinfección del agua, y su uso está justificado por el alto contenido orgánico de las aguas contaminadas a tratar, debido a las temperaturas bajas de reacción, necesitan la presencia de sustancias oxidantes muy activos. Los radicales OH^\bullet tienen la capacidad de descomponer varios compuestos orgánicos debido a que no son selectivos y presentan la capacidad de ser altamente oxidativos. La oxidación Fenton se utiliza para el tratamiento de aguas contaminadas con tintes utilizados para el teñido, efluentes cosméticos, efluente del aceite de oliva y el efluente del lixiviado combinado con dos desechos orgánicos (Rodrigues and Pinheiro, 2009, pp. 2-3).

La oxidación Fenton se fundamenta en mezcla de hierro (Fe^{2+}) como catalizador y peróxido de hidrogeno (H_2O_2), dando como resultado un radical hidroxilo HO^\bullet y otros radicales inorgánicos que permiten la oxidación de compuestos orgánicos. Los radicales HO^\bullet reaccionan mediante dos rutas: Oxidación de Fe (II) y ataque a la materia orgánica.

Ecuación1 - 3



Por lo tanto, este métodos físicos-químicos es el más prometedor para el tratamiento de lixiviados, originando la reacción fenton al mezclar sulfato ferroso y el peróxido de hidrogeno que al reaccionar permiten la oxidación de la carga contaminante. Este técnica necesita ejecutarse a condiciones óptimas para una mayor eficiencia, el pH debe ser ácido, obteniendo mejores resultados a valores de $\text{pH} = 3,0$ y en algunos casos a $\text{pH} = 4,0$ y temperatura entre $20 - 40^\circ\text{C}$ (Salas 2010, p. 6)

La oxidación fenton involucra el Cambio estructural de los compuestos orgánicos y la oxidación parcial que induce a la disminución de la toxicidad del líquido a tratar y da una oxidación total del compuesto orgánico. La disgregación catalítica del peróxido de hidrogeno en medio ácido origina la formación del radical libre que es reactivo y da la descomposición de los compuestos inorgánicos (Méndez Novelo 2006). Esta reacción puede darse en dos partes ocasionando la eliminación de los contaminantes que contienen los lixiviados. La primera se da la Oxidación inicial a pH bajos y la segunda en la oxidación puede o no darse la coagulación.

Ventajas

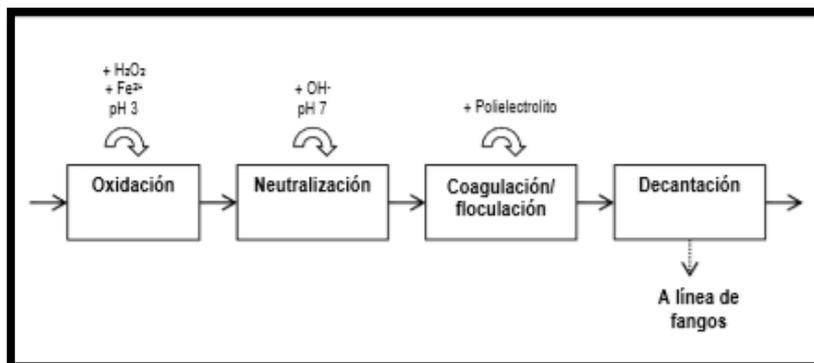
- Bajo costo de aplicación en comparación a los AOP
- Muestra un rango amplio de aplicación a diversos tipos de contaminantes, efluentes, y cargas orgánicas.
- Presenta una afinidad levada por los compuestos cromóforos, eliminado rápidamente el color
- Escalabilidad del proceso
- El Fe^{2+} es abundante y no presenta características de toxicidad
- No se origina la formación de compuestos clorados como en otros métodos oxidantes
- La oxidación fenton se emplea y se vigila fácilmente.
- Este proceso no requiere de energía externa para descomponer el H_2O_2 en sus radicales hidroxilos ya que se da por catálisis homogénea.
- No da lugar a la aparición de subproductos tóxicos (AOP)

Desventajas

- La alta concentración de hierro (Fe^{2+}) disminuye la eficiencia de atrapar radicales hidroxilos.
- A $\text{pH} > 5$ produce hierro articulado, por esta razón se debe separar el hierro remanente mediante la adición de un floculante para alcalinizar el lixiviado.
- Cuando encontramos en la disolución aniones disueltos, estos complican la acción del Fe^{+2} que es el que disocia el H_2O_2 interrumpiéndose el ciclo de este método.
- Se genera la producción de lodos de color pardo rojizo después de la oxidación

Etapas del método fenton y factores condicionantes den la eficiencia

Etapas continuas del esquema de tratamiento fenton clásico



La influencia del pH, temperatura, dosis de H_2O_2 , concentración del catalizador Fe^{2+} reacciones estequiometrias, composición del agua residual y naturaleza de los contaminantes (Universidad de Da Coruña 2015) se explicaran a continuación.

Influencia del pH

Los procesos de oxidación avanzada basados en la reacción de Fenton se condicionan de manera crítica por el potencial de hidrogeno, por acción de este cambia la presencia de las distintas formas de hierro que se encuentran en medio líquido. Mediante el proceso Fenton clásico que presenta un estrecho rango de pH en torno a 3 (2 - 4), se determina el valor óptimo para el proceso de degradación de contaminantes orgánicos. La baja eficiencia de este proceso en valores de pH mayor a 4 se debe a la baja tasa de producción de radicales hidroxilos por la desaparición de Fe^{2+} del medio de reacción. Los valores de pH aún más elevados dan lugar a la descomposición del H_2O_2 en oxígeno y agua, minimizando drásticamente la formación de $HO\cdot$ y, con ella, la eficiencia global del proceso.

Influencia de la temperatura

La reacción Fenton no requiere de una elevada energía de activación, ya que se trata de un mecanismo radicalico, Por lo que se puede realizar en un amplio rango de temperaturas ambiente, si bien con mayor eficiencia a partir de 20 °C. . Según varios autores se han establecido como temperaturas óptimas en el rango de 40 °C y los 50 °C para los procesos Fenton ejecutados a presión atmosférica.

Dosis de H_2O_2

La mayor parte de las sustancias orgánicas e inorgánicas reaccionan con los radicales $HO\cdot$, estos reaccionan con una selectividad baja hacia los compuestos presentes. Por ello, la dosis óptima de H_2O_2 que requiere la oxidación fenton se establece de forma empírica, mediante estudios específicos tanto en laboratorio como a escala piloto, y será función a las características que presentan los contaminantes en el agua a tratar. La concentración de H_2O_2 es un factor que determina la eficiencia de todo el proceso de degradación de la materia orgánica.

Concentración del catalizador Fe^{2+}

La concentración excesiva de Fe^{2+} en la mezcla disminuye la tasa de oxidación de materia orgánica mediante este proceso. Esto se debe a la aparición de reacciones parásitas entre Fe^{2+} y los radicales $HO\cdot$ disponibles. La concentración óptima de catalizador es la que determina la velocidad del proceso, se da mediante la dosis de H_2O_2 , través de la relación estequiométrica óptima de ambos reactivos para cada agua tratada.

Composición del agua residual y naturaleza de los contaminantes

El efecto de la matriz acuosa sobre el desarrollo general de los procesos Fenton también condiciona su rendimiento. La composición que presente el líquido a tratar es primordial para encontrar las dosis óptimas y las condiciones necesarias.

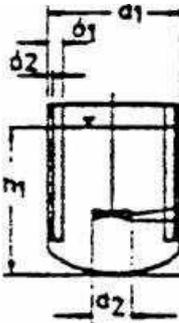
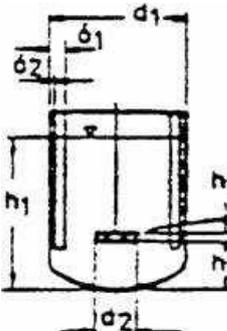
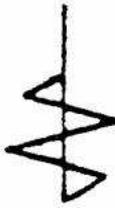
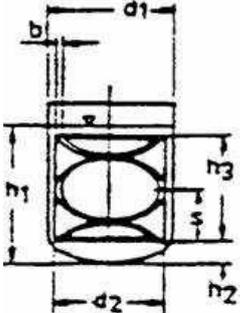
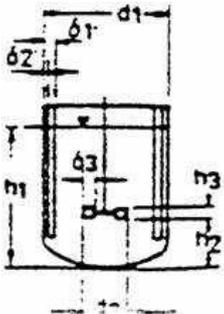
1.7 Componentes del equipo fenton

1.7.1 Sistema de agitación

En una planta de fertilizantes fue utilizado el primer agitador (hélice marina) industrial hace unos cien años. Con los avances científicos se crearon agitadores de diversas formas y geometrías que fueron escogidas para mejorar su estética y eficiencia. Esto se dio a partir de los años 50 que se realizaron las investigaciones de la herramienta de agitación y su eficiencia debido al grado de mezclado. En la actualidad existen reglas fundamentales de trabajo y desempeño de los agitadores industriales.

La intensidad de la agitación es la variable más importante en el equipo fenton ya que esta se encargará de mezclar el reactivo para que se dé la reacción correspondiente. Se utiliza paleta Se utilizan paletas o rotores, accionados en forma mecánica o magnética, y pueden utilizarse una o más paletas. En el siguiente cuadro se definen las características de las paletas (Ulrich, 1995, pp. 65-72).

Tabla 4-1: Medidas de los sistemas de agitación

DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETR IA
Agitador de helice		 <p> $h_1 / d_1 = 1.0$ $d_2 / d_1 = 0.33$ $h_2 / d_1 = 0.33$ $\alpha = 25^\circ$ $\delta_1 / d_1 = 0.1$ $\delta_2 / d_1 = 0.02$ </p>
Agitador con palas planas inclinadas		 <p> $h_1 / d_1 = 1.0$ $d_2 / d_1 = 0.337$ $h_2 / d_1 = 0.17 \rightarrow 0.3$ $h_3 / d_2 = 0.177$ $\alpha = 45^\circ$ 6 Blätter $\delta_1 / d_1 = 0.1$ $\delta_2 / d_1 = 0.02$ </p>
Agitador helicoidal		 <p> $h_1 / d_1 = 1.0$ $d_2 / d_1 = 0.98$ $b / d_2 = 0.1$ $h_3 / d_2 = 1.0$ $s / d_2 = 0.5$ $h_2 / d_1 = 0.01$ </p>
Agitador de palas planas		 <p> $h_1 / d_1 = 1.0$ $d_2 / d_1 = 0.33$ $h_2 / d_1 = 0.33$ $h_3 / d_2 = 0.2$ $\delta_3 / d_2 = 0.25$ $\delta_1 / d_1 = 0.1$ $\delta_2 / d_1 = 0.02$ </p>

Fuente: Sistema de agitación, <http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/AFTAgitacion/index.htm>

1.7.1.1 Funciones de la agitación

Existen cinco operaciones básicas de las cuales presentan distintas funciones de la agitación, las mismas que se mencionan a continuación:

- Homogenización del fluido
- Suspensión de un sólido en un líquido
- Emulsión de dos fluidos insolubles
- Dispersión de un gas en un líquido
- Intercambio de calor

1.7.2 Fórmulas utilizadas en el equipo

En los recipientes que presentan una forma cilíndrica y un eje vertical los líquidos se agitan con más frecuencia. La parte de arriba del recipiente puede estar descubierta al aire libre para poder colocar los reactivos. Las dimensiones del recipiente varían dependiendo de la naturaleza de la contaminación y velocidad de agitación. El fondo del recipiente debe ser redondeado con el fin de eliminar los espacios muertos donde no pasan las corrientes (Perry, 1974, pp. 552).

En el diseño de la jarra de agitación se toma en cuenta el factor de seguridad para prevenir el derrame del líquido a tratar tenemos la siguiente ecuación:

Ecuación 1- 4

$$Vr = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

Donde:

Vr = Volumen real (L)

D = Diámetro (m)

H = Altura (m)

Si se trabajó un vaso de precipitación se utilizara siguiente ecuación con el fin de hallar la altura a la que llegara el líquido contaminado

Ecuación 1 - 5

$$h = \frac{Vt}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Donde:

h = Altura del líquido

Vt = Volumen total

Dt = Diámetro del tanque

La siguiente ecuación facilita la longitud del brazo agitador

Ecuación 1 - 6

$$Lb = \frac{1}{2} * D$$

Donde:

Lb = Longitud de Brazo

Dt = Diámetro del tanque

El rodete crea un flujo dentro del sistema de agitación, permitiendo que el líquido circule través del vaso o tanque de agitación y retorne eventualmente al rodete. No consta una ecuación fija para el espesor del rodete este es variable de 6 a 10 de la longitud del brazo. Pero la relación más utilizada es la siguiente.

Ecuación 1 - 7

$$Er = \frac{1}{10} * Lb$$

Donde:

Er = Espesor del rodete

Lb = Longitud del brazo

Para el cálculo del diámetro del rodete se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1 - 8

$$Dr = \frac{2}{3} * D$$

Donde:

Dr = Diámetro del rodete

Dt = Diámetro del tanque

Para que la mezcla sea eficiente debe tener el en espacio adecuado entre el fondo de vaso o jarra y el rodete, esto permite la correcta homogenización de los líquidos implicados en el proceso. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 1 - 9

$$X = h - Lb$$

Donde:

X = Distancia entre el fondo del vaso o tanque y la paleta

h = Altura del líquido

Lb = longitud de brazo

Para calcular el alto de la paleta se utiliza la siguiente relación:

Ecuación 1 - 10

$$Ap = \frac{1}{5} * Lb$$

Donde:

Ap = Alto de la paleta

Lb = Longitud del brazo

El gradiente de velocidad es fundamental para determinar las revoluciones por minuto de la paleta de agitación para esto utilizaremos la siguiente ecuación:

Ecuación 1 - 11

$$G_1 = \sqrt{\frac{\rho * g * hp}{\mu * t}}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad

ρ = Densidad del líquido

g = Gravedad

Hp = Perdida de carga

μ = Viscosidad

t = Tiempo de retención

La ecuación que sirve para pasar de gradiente de velocidad a velocidad de rotación es la siguiente:

Ecuación 1 - 12

$$RPM_1 = 3 * G^{0,8}$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

G = Gradiente de velocidad

La densidad del lixiviado, viscosidad, velocidad de rotación están relacionados con la potencia y se determina con la siguiente ecuación:

Ecuación 1 - 13

$$P = G^2 * V * \mu$$

Donde:

P = potencia

G = Gradiente de velocidad

V = volumen del liquido

μ = viscosidad del liquido

Para la prevención del calentamiento del motor se debe trabajar con un factor de seguridad que decide el personal de diseño. Existen tres factores de seguridad de 10, 20 y 30 % que indican una protección baja, mediana y completamente segura. Para determinar este factor tenemos la ecuación siguiente:

Ecuación 1 - 14

$$P_c = (f_s * P) + P$$

Donde:

P_c = potencia corregida

f_s = Factor de seguridad

P = Potencia

1.8 Normativa Ambiental

Para la realización de este trabajo investigativo se tomó como guía la tabla N° 12 del anexo 6 de la reforma del libro VI del TULSMA en el acuerdo 0,61 de descarga a un cuerpo de agua dulce, deberán tomar en cuenta los valores establecidos a continuación(Anexo, n.d., pp. 44-47):

Tabla 5-1: Limite de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	250
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO	mg/l	100
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

Fuente: Acuerdo 0,61

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Área de estudio

2.1.1 Ubicación Cartográfica y Geográfica

El relleno sanitario “Porlón” tiene un área total de 10 hectáreas, esta ubica en la parroquia Cubijés, sector San Jerónimo de Porlón que se encuentra situada en la Sierra Central del Ecuador, al noreste de la provincia de Chimborazo a 6 km de la cabecera cantonal de Riobamba. El cantón Chambo que de igual manera aporta al relleno sanitario con los residuos de todo el cantón cuenta únicamente con la parroquia urbana de Chambo y no cuenta con parroquias rurales. La distancia aproximada del cantón hasta este es de 15 Km.

2.1.2 Macrolocalización

Tabla 1 - 2: Ubicación Cartográfica del Relleno Sanitario

Ubicación Cartográfica	
PROVINCIA	Chimborazo
CANTON	Riobamba
PARROQUIA	Cubijés
SITIO	San Jerónimo de Porlón

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

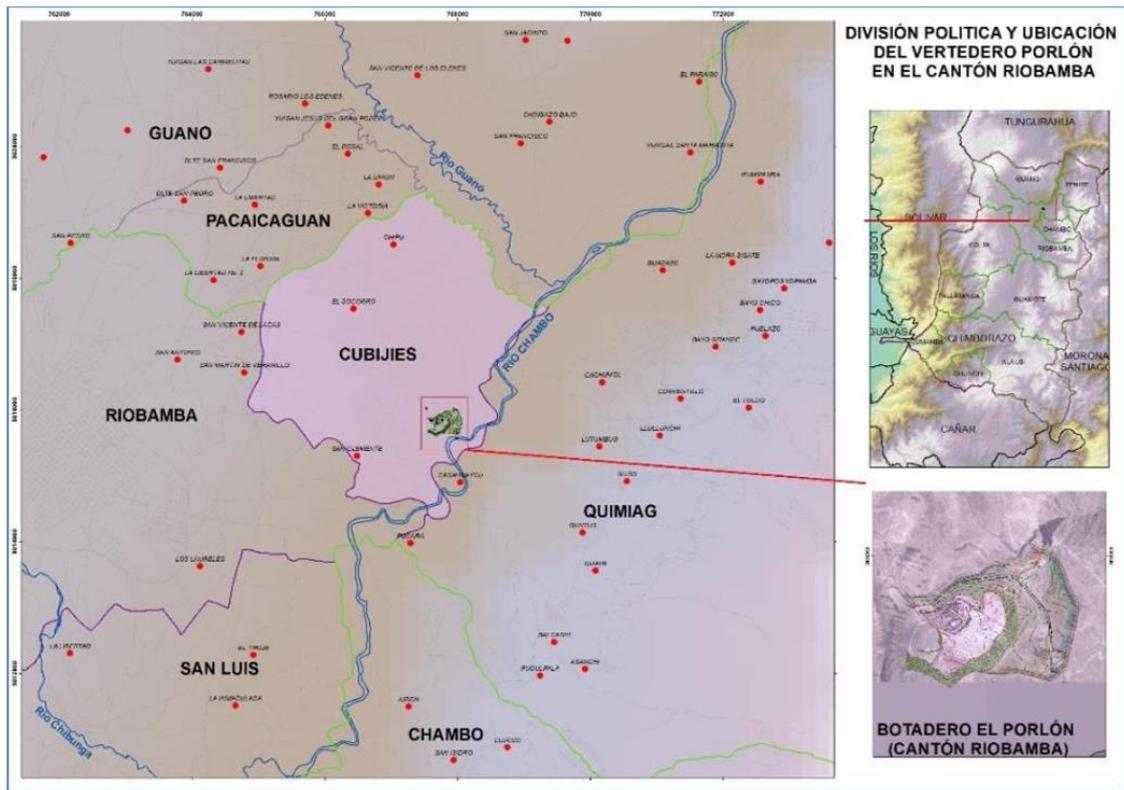
2.1.3 Microlocalización

Tabla 2- 2: Ubicación Geográfica del Relleno Sanitario

PUNTOS	SUR	NORTE
1	767559,758	9815876,024
2	767646,824	9815822,112
3	767808,548	9815984,575
4	767935,717	9816033,452

Fuente: GAD Municipal Cantón Riobamba

Para establecer las cornadas geográficas del relleno sanitario Porlón se trabajó en la Zona 17 Sur, obteniendo los datos de la tabla 2-2.



Fuente: GAD Municipal Cantón Riobamba

2.2 Metodología

2.2.1 Medición del caudal

A utilizar el método del vertedero triangular ($< 90^\circ$) se mide la altura (m) del líquido que pasa sobre el vertedero cada 15 minutos durante 3 horas. Determinando a través de la fórmula de Thomson el caudal de L_x que posee el relleno sanitario de Porlón, para prevención y mayor seguridad se utilizaron los accesorios de protección personal (Guantes, máscara de gases).

$$Q = 1.4 * h^{5/2}$$

Donde:

Q= caudal (m^3 /s)

h= altura (m).

Promediar los doce caudales para obtener el valor medio que se utilizó en este trabajo.

2.2.2 Muestreo y Transporte

Fue realizado un periodo de 6 horas, se tomó cada 30 minutos un 1 litro de Lx en el punto de entrada de forma manual. El cual fue tomado en época seca para evitar la dilución de las concentraciones de los contaminantes y prevenir la alteración de resultados. Obtuvimos la muestra compuesta mezclando en un recipiente los volúmenes de cada alícuota necesaria según la siguiente fórmula:

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

V_i = volumen de alícuota
 V = volumen total a componer (12 L)
 Q_i = caudal instantáneo de cada muestra
 Q_p = caudal promedio durante el muestreo
 n = número de muestras tomadas

Se mezcló y homogenizó los volúmenes para luego proceder al llenado de los 12 litros de Lx a tratar en recipientes de 1 litro de capacidad. Tapar cada botella para luego ser rotulada y mantener a una temperatura de 4°C preservando las muestras para la caracterización, arranque y funcionamiento del equipo (“Toma de muestras de aguas residuales instructivo para la toma de muestras de aguas residuales” 2007).

2.2.3 Caracterización del lixiviado

El análisis se efectuó en un laboratorio de aguas, analizando los parámetros físico-químicos, realizando mediante los siguientes métodos normalizados.

Tabla 3-2: Métodos empleados para el análisis físico-químico del lixiviado

Parámetro	Método de análisis	Unidades
pH	Standard Methods No. 4500-H-B	Adimensional
TDS	Standard Methods No. 2540-D	g/L
Conductividad	Standard Methods No. 2510-B	ms/cm
Alcalinidad	Standard Methods No. 2320-B	mg /L
Turbiedad	Standard Methods No. 2130-B	NTU
Color	Standard Methods No. 2120-C	Pt Co
DBO ₅	Standard Methods No.5210-B	mg /L
DQO	Standard Methods No. 5220-D	mg /L
Tensoactivos	Standard Methods No. 5540-C	mg /L

Realizado por: Guevara, Alexandra 2019

2.2.4 Dimensionamiento del equipo fenton

El equipo se dimensiono para un volumen de 1 L del lixiviado a tratar debido a las reacciones que presento al colocar el ácido sulfúrico para bajar el pH, se utilizara un recipiente de mayor capacidad (Vaso de 2.5 L). Las dimensiones de la base y el brazo metálico se elaboraron debido a las características que presentó el vaso de precipitación (2,5 L) como son diámetro y altura. Por lo que la paleta de agitación, las revoluciones por minuto y potencia del motor se calcula en base al 1 L de lixiviado a tratar. Para obtener un funcionamiento óptimo debemos buscar un variador de frecuencia y un motor adecuado para las características que presente este equipo.

2.2.5 Elaboración de Planos del equipo Fenton

Fue realizado en el programa AutoCAD 2015 en el cual se detallan las medidas de los componentes del equipo Fenton, los cuales podemos observar de forma clara en anexos.

2.2.6 Construcción del equipo fenton

El equipo fenton consta de una base rectangular al centro de vidrio y alrededor de metal, brazo metálico que contiene la paleta de agitación de acero inoxidable, vaso de precipitación (2,5 L), fuente de voltaje y cables para conexión. Por lo tanto, el motor y variador de frecuencia debe ser adecuado para las características que presente el mismo.

2.2.7 Tratamiento químico para determinar los valores óptimos de pH y reactivo fenton.

Al aplicar la oxidación fenton primero se buscó las dosis aproximadas H_2O_2 y Fe^{2+} En base a la dosis aproximada se eligieron dos valores por encima y dos valores por debajo de esta. Para lo cual se hicieron ensayos con cinco diferentes dosis del reactivo fenton (T1, T2, T3, T4 y T5): peróxido de oxígeno (200, 200, 400, 600, 800 mg de H_2O_2/L) y hierro II (250, 500, 1000, 1250, 1500 mg de Fe^{2+}). Luego se buscó el pH óptimo en un rango de 2-4, para posteriormente con este dato determinar la dosis la dosis optima de los componentes del reactivo fenton y pH.

Una vez determinada la dosis y el pH óptimos se realizó este tratamiento por duplicado para tener una mayor fiabilidad de los resultados. Cada ensayo es ejecutado de la siguiente forma: agitar la mezcla resultante (lixiviado + reactivo fenton) a 100 r.p.m., durante 1 minuto y después reducir la velocidad a 30 r.p.m., en un lapso de 120 minutos dejar reposar el líquido tratado 30 minutos. A continuación, se tomó una muestra para analizar los parámetros de control que en nuestro caso fueron Turbidez y color. Pero para la caracterización antes de aplicar el tratamiento químico y después de este se realizó el análisis de los parámetros presentados en la tabla 2-3.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Determinación de caudal

Para el cálculo del caudal se utilizó los datos de altura de la tabla 1-3, para el cual fue medido 12 veces la altura del lixiviado en el vertedero durante tres horas para obtener mayor fiabilidad, con la ecuación 1-1 de Thomson se obtuvo el cálculo del caudal.

$$Q = 1.4 * h^{5/2}$$

$$Q = 1,4 * (0,0323 \text{ m})^{5/2}$$

$$Q = 0,0002632 \frac{m^3}{s} * 86400 \text{ s}$$

$$Q2 = 22,74 \frac{m^3}{d}$$

$$Q3 = 54,89 \frac{m^3}{d}$$

$$Q1 = 74 \frac{m^3}{d}$$

Tabla 1-3: Estimación del caudal del Lixiviado producido en el Relleno Sanitario

Porlón

Fecha	Altura promedio(m)	Caudal (m ³ /d)	Observaciones
23-05-2018	0,046	54,89	Época poco lluviosa
16-07-2018	0.032	22,74	Época seca
30-07-2018	0,051	74	Época lluviosa

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

La piscina de Lx el relleno sanitario Porlón presento un caudal de 22,74 m³/d en época seca, este varía dependiendo de la estación climática. En época lluviosa aumento de 54,89 m³/d a 74 m³/d, esto se debe a que las precipitaciones se mezclan con este, produciendo un mayor caudal y generando de esta manera la dilución del mismo. (Jácome 2015) reporta en el relleno sanitario del

cantón Salcedo un caudal que oscila de 3,45 m³/d a 6,04 m³/d, este varía de acuerdo a la operacionalidad del mismo y la composición que exhiban los residuos sólidos.

Estos valores son relativamente bajos en comparación con el presente trabajo, esto se debe a que Salcedo tiene un menor volumen de residuos sólidos en su relleno y también que los datos fueron tomados en época seca. Esto nos indica que no se mezcló el Lx con las precipitaciones por ende no hubo dilución de las concentraciones del mismo ni tampoco el aumento de caudal.

3.2. Caracterización del lixiviado

Tabla 2-3: Datos de la caracterización del lixiviado

Parámetros	Unidad	Época poco lluviosa (23-05-2018)	Época seca (16-07-2018)	Época lluviosa (30-07-2018)
pH	Adimensional	8,3	8,5	8,3
TDS	g/L	4,7	8,1	5,6
Conductividad	ms/cm	8,3	14,3	10,3
Alcalinidad	mg/L	600	300	500
Turbidez	NTU	1100	1820	1300
Color	pt Co	22300	31100	25800
DBO5	mg/L	20400	27000	12000
DQO	mg/L	22800	26100	18200
Tensoactivos	mg/L	-	2,73	-

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

La variación de los datos de esta tabla se debe a las diferentes épocas en las que fueron realizados. El pH oscila entre 8-3 a 8.5 presentando una variación de 0,2 unidades que es mínima, este es prácticamente estable independientemente de la época en que se encuentre es alcalino. (Naveen et al. 2017) reporta valores de pH de 6 y 7 en rellenos estadounidenses. Debido a la incidencia del tipo cubierta del relleno y presencia de amonio se da la elevada alcalinidad en Lx otorgando carbonatos y bicarbonatos.

Los sólidos totales disueltos como se observa en época seca presentan una concentración de 8,1g/L que es mayor en relación a la época lluviosa que varía de 4,7 a 5,6 g/L, esto se debe a las precipitaciones que se presentaron en la zona reportando efectos dilución del mismo.

La conductividad eléctrica mide la cantidad de iones presentes en el Lx, en este trabajo encontramos valores de 14,3; 8,3 y 10,3 ms/cm en época seca, época lluviosa y época poco

lluviosa respectivamente. La disminución de estos valores en época lluviosa se debe a la dilución que presentan. En el año 2010 Novelo et al presenta una conductividad de 21,83 $\mu\text{m}/\text{mc}$ en Yucatán México, que en relación con nuestros datos también es relativamente bajo, esto nos corrobora que la presencia de materia inorgánica es mínima.

En el caso de la alcalinidad presenta una tendencia de aumento en época seca de 1600 mg/L mientras que en época lluviosa disminuye en un rango de 800 a 500 mg/L debido a que se mezcla con las precipitaciones de la zona. De acuerdo con (Sánchez et al. 2012), la alcalinidad se relaciona estrechamente con el pH ya que con la evaporación que presenta en época seca se incrementan las concentraciones de sales que pueden ser provenientes de carbonatos y bicarbonatos.

Para la turbidez, los valores encontrados en el presente estudio disminuyen gradualmente de 1820 NTU en época seca a un rango de 1300-1100 NTU en época lluviosa, por el efecto de la dilución baja la concentración de sólidos suspendidos permitiendo de esta manera el paso de la luz a través del Lx. El color tiene una relación directa con la turbidez si baja esta también disminuirá el color de la muestra de 31100 a un rango de 25800-22300 unidades de Pt Co respectivamente. De acuerdo con lo reportado en estudios anteriores (Altin 2008; Sánchez et al. 2012), son valores típicos para Lx jóvenes. Para Lx de este tipo, gran parte del color puede ser atribuible a compuestos refractarios de naturaleza orgánica tales como los ácidos húmicos y fúlvicos, además de otros contaminantes del tipo inorgánico.

El DBO_5 varía de 27000 mg/L época seca a 22400-1800 mg/L época lluviosa, se observa que en general la concentración de materia orgánica va en aumento, esto se debe principalmente a que en el muestreo 1 y 3 estaba en temporada de lluvia por lo que presenta dilución de los contaminantes, mientras que en el muestreo 2 en época de seca, por lo que cabía esperar una concentración menor en los contaminantes por acción de la evaporación de una pequeñísima fracción. El DQO debería ser el doble del DBO_5 pero presento valores similares a este (26100 mg/L en época seca y 22800-18200mg/L en época lluviosa) lo que nos indica que hay mayor presencia de materia orgánica y menor de materia inorgánica. Estos datos los corrobora la conductividad ya que esta es baja y hay una menor cantidad de iones presentes. (Novelo et al. 2010) reporta datos de $\text{DBO}_5 = 647 \text{ mg/L}$ y $\text{DQO} = 980 \text{ mg/L}$, estos en comparación con el presente estudio muestra que el DQO presenta valores altos en relación al DBO_5 , indicando de este modo la presencia de materia orgánica inorgánica.

En resumen, los resultados mostrados en la tabla 2-3 indican que es un lixiviado duro de degradar debido a sus altas concentraciones en la mayoría de los parámetros. Este tiene un corto tiempo (> 5 años) de permanecer en la panta de Lx por lo que es considera que es joven según (Franceschi, 2015). Comparado con la caracterización fisicoquímica de otro Lx de vertederos y fuentes de agua,

se identificó las relaciones entre los parámetros más importantes para determinar la edad del lixiviado. Encontrando que es intermedia (5-10 años) contiene niveles más altos de nutrientes y es más fácilmente degradado en relación al lixiviado joven (Naveen et al. 2017). En la Tabla 3-3 se observa que una cantidad alta de materia orgánica está en forma disuelta medida como DQO, por lo cual se evidencia las bajas remociones en este tipo de Lx aplicando procesos de coagulación-floculación y flotación (Méndez Novelo 2006).

3.3 Propuesta

El lixiviado que se produce en el relleno sanitario del cantón Riobamba no tiene un tratamiento adecuado por lo que genera una alta contaminación tanto del aire, suelo y agua debido a las altas concentraciones en la mayoría de los parámetros analizados. No se tratan de manera eficiente con métodos biológicos, por lo cual se vio la necesidad de ejecutar un tratamiento adecuado a este líquido de contaminación peligrosa.

Mediante la utilización de procesos de oxidación avanzada se mejoró la calidad del Lx en el relleno, como alternativa de tratamiento ya que de acuerdo a estudios y referencias internacionales son muy viables. Planteo la utilización de un tratamiento prometedor como el Método Fenton, como tecnología de remediación de contaminantes orgánicos en sitios de disposición final, esta técnica ya se ha utilizado con buenos resultados en otros países en la remediación de Lx. Por lo tanto, es un método químico que cumple con la remediación de sustancias contaminantes, siendo un proceso aún no aplicado a macro escala en nuestro país, de esta manera se mejorará el funcionamiento de la planta de Lx y reducirá las concentraciones de este. Siendo primordial para la protección del medio ambiente circundante, hábitats locales, y salud humana.

3.4 Dimensionamiento del equipo fenton

3.4.1 Volumen del vaso de precipitación

De la ecuación 3-1 se tiene

$$V = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$
$$V = \frac{\pi * 0,13^2 * 0,19}{4}$$
$$V = 2,5 * 10^{-3} m^3$$
$$V = 2,5 L$$

El vaso de precipitación tiene un volumen total de 2,5 L del cual solo se trabajó con 1L debido a que el lixiviado reacciono con el ácido sulfúrico formando espuma que alcanzo a cubrir el volumen restante del mismo.

3.4.2 Altura del tanque agitador

De la ecuación 4-1 se tiene

$$h = \frac{Vt}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$h = \frac{2500}{\pi\left(\frac{13}{2}\right)^2}$$

$$ht = 19 \text{ cm}$$

$$h_{1L} = 8,2 \text{ cm}$$

3.4.3 Longitud de brazo

De la ecuación 5-1 se tiene

$$Lb = \frac{1}{2} * D$$

$$Lb = \frac{1}{2} * 13 \text{ cm}$$

$$Lb = 6,5 \text{ cm}$$

3.4.4 Espesor de rodete

De la ecuación 6-1 se tiene

$$Er = \frac{1}{10} * Lb$$

$$Er = \frac{1}{10} * 6,5$$

$$Er = 0,65 \text{ cm}$$

3.4.5 Diámetro del rodete

De la ecuación 7-1 se tiene

$$Dr = \frac{2}{3} * D$$

$$Dr = \frac{2}{3} * 13$$

$$Dr = 8,3 \text{ cm}$$

3.4.6 Distancia entre el fondo del vaso y el rodete

De la ecuación 8-1 se tiene

$$\begin{aligned} X &= h - Lb \\ X &= 8,2 - 6,5 \\ X &= 1,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.4.7 Alto de la paleta

De la ecuación 9-1 se tiene

$$\begin{aligned} Ap &= \frac{1}{5} * Lb \\ Ap &= \frac{1}{5} * 6,5 \text{ cm} \\ Ap &= 1,3 \text{ cm} + 1,3 \text{ cm} \\ Ap &= 2,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.4.7 Gradiente de velocidad

De la ecuación 10-1 se tiene

$$\begin{aligned} G_1 &= \sqrt{\frac{\rho * g * hp}{\mu * t}} \\ G_1 &= \sqrt{\frac{1119 * 9,8 * 0,090}{1,27 * 10^{-3} * 120}} \\ G_1 &= 80,2 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_2 &= \sqrt{\frac{\rho * g * hp}{\mu * t}} \\ G_2 &= \sqrt{\frac{1119 * 9,8 * 0,006}{1,27 * 10^{-3} * 120}} \\ G_2 &= 18 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

3.4.8 Velocidad de rotación, rpm

De la ecuación 11-1 se tiene

$$\begin{aligned}RPM_1 &= 3 * G^{0,8} \\RPM_1 &= 3 * (80,47)^{0,8} \\RPM_1 &= 100,37\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}RPM_2 &= 3 * G^{0,8} \\RPM_2 &= 3 * (20,7)^{0,8} \\RPM_2 &= 33,87\end{aligned}$$

3.4.9 Potencia requerida

De la ecuación 12-1 se tiene

$$\begin{aligned}P_1 &= G^2 * V * \mu \\P_1 &= (20,7)^2 * 0,001 * 1,27 * 10^{-3} \\P_1 &= 5,44 * 10^{-4} W \\P_1 &= 0,72 hp\end{aligned}$$

Se aplicó el factor de seguridad del 15 % de la Ecuación 13-1

$$\begin{aligned}P_1 &= (fs * P) + P \\P_1 &= (0,20 * 0,72) + 0,72 \\P_1 &= 0,77 hp\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_2 &= G^2 * V * \mu \\P_2 &= (80,47)^2 * 0,001 * 1,27 * 10^{-3} \\P_2 &= 8,22 * 10^{-3} W \\P_2 &= 1,10 hp\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_2 &= (fs * P) + P \\P_2 &= (0,20 * 1,10) + 1,10 \\P_2 &= 1,32 hp\end{aligned}$$

Tabla 3- 3: Dimensionamiento del equipo Fenton

Parámetro		Unidad	Valor
Volumen del vaso a utilizar		L	1
Atura del líquido del vaso		cm	8,2
Longitud de brazo		cm	6,5
Espesor de rodete		cm	0,65
Diámetro del rodete		cm	8
Distancia del fondo del vaso y el rodete		cm	2
Alto de la paleta		cm	3
Gradiente de velocidad		s ⁻¹	18 - 80, 2
Revoluciones por minuto		rpm	30 – 100
Potencio		hp	0,77 – 1,33
Base	Alto	cm	6
	Ancho	cm	30
	Longitud	cm	40

Realizado por: GUEVARA, Alexandra 2019

Una vez realizados los cálculos pertinentes se obtuvieron las dimensiones de las partes del equipo fenton mostrados en la tabla 3-3.

3.5. Elaboración de Planos del equipo Fenton

Fue realizado en el programa AutoCAD 2015 en el cual se detallan las medidas de los componentes del equipo Fenton mostrados en la tabla 3-3, los cuales podemos observar de forma clara en el Anexo J.

3.6. Construcción del equipo fenton

Una vez realizado los planos del equipo fenton utilizando los datos mostrados en la tabla 3-3, se procedió a la construcción de todas las partes del mismo en la electromecánica del Grupo Cruz. Este equipo consta de una base rectangular al centro de vidrio alrededor de metal la cual contiene el vaso de precipitación para realizar los ensayos pertinentes del método fenton en Lx. De la base rectangular también sale brazo metálico en el cual se encaja la paleta de agitación que es de acero inoxidable y tiene un aspa de palas planas. Mediante la observación y análisis de las características del prototipo mostradas en la tabla 3-3 se utilizó motor de 60 hz que está controlado por un variador de frecuencia SINAMICS G110 que utiliza cables para la conexión a una fuente de 110V.

Estos fueron adecuados a las características obtenidas de modo que presente buena eficiencia en el equipo fenton.

Los convertidores SINAMICS G110 regulan la velocidad en motores trifásicos y monofásicos mediante convertidores de frecuencia, trabajan en un rango de potencia de 120 W - 3,0 kW en redes monofásicas. Mediante la utilización de tecnología de última generación controlan por microprocesadores los convertidores, esto los hace fiables y versátiles. Ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor debido a las extensas funciones de seguridad que presentan (Siemens 2005).

3.7 Resultados de los parámetros de control en el equipo fenton

Tabla 4-3: Disminución de la turbidez y color en el método fenton

Tratamiento	Dosis H ₂ O ₂ (mg/L)	Dosis Fe ²⁺ (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Remoción (%)	Color (Pt Co)	Remoción (%)
1	200	250	4	1352	26	19800	36
2	200	500	4	2400	32	23500	24
3	400	1000	4	1020	44	14500	53
4	600	1250	4	600	67	10800	65
5	800	1500	4	1900	4	19500	37
3	400	1000	3	162,4	91	3940	87
4	600	1250	3	170	90.6	4120	86
3	400	1000	2	1540	15	23800	23
4	600	1250	2	1644	10	23400	25
Réplicas del mejor tratamiento							
3	400	1000	3	160	91,2	3936	87,34
3	400	1000	3	163	91	3944	87,31

Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

Tabla 5-3: Resultado de la aplicación del método Fenton

Parámetros	Unidad	Valor inicial	Valor Final
pH	Adimensional	8,5	3
TDS	g/L	8,1	2
Conductividad	ms/cm	14,3	3,84
Alcalinidad	mg/L	300	200
Turbidez	NTU	1820	162,4
Color	pt Co	31100	3940
DBO ₅	mg/L	27000	4050
DQO	mg/L	26100	7050
Tensoactivos	mg/L	2,73	1,35

Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

3.7.1 Análisis de la turbidez en el meto fenton

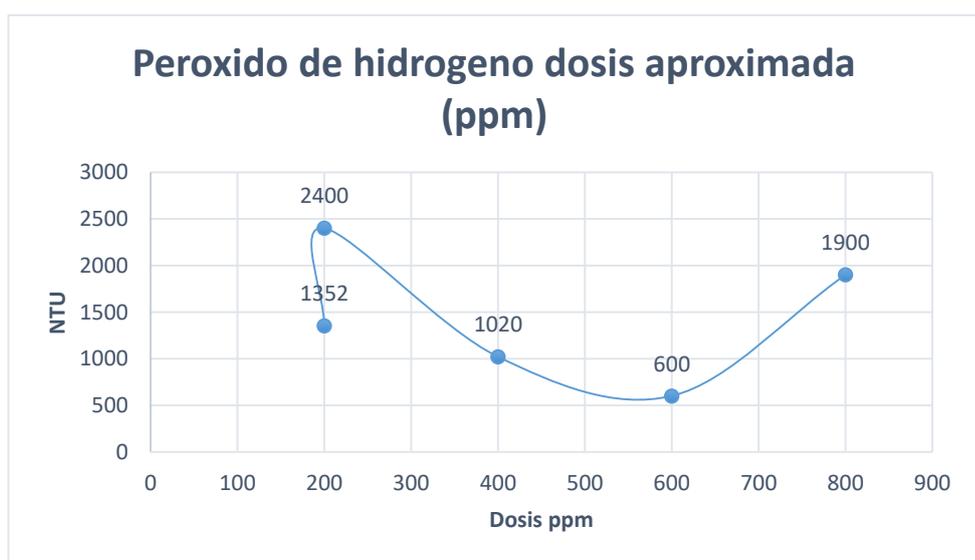


Gráfico 1-3: Peróxido de hidrogeno dosis aproximada (ppm).

Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 1-3 se observa el resultado de la aproximada del peróxido de hidrogeno, obteniendo a una dosis de 600 ppm la mayor eficiencia con un valor de 600 NTU.

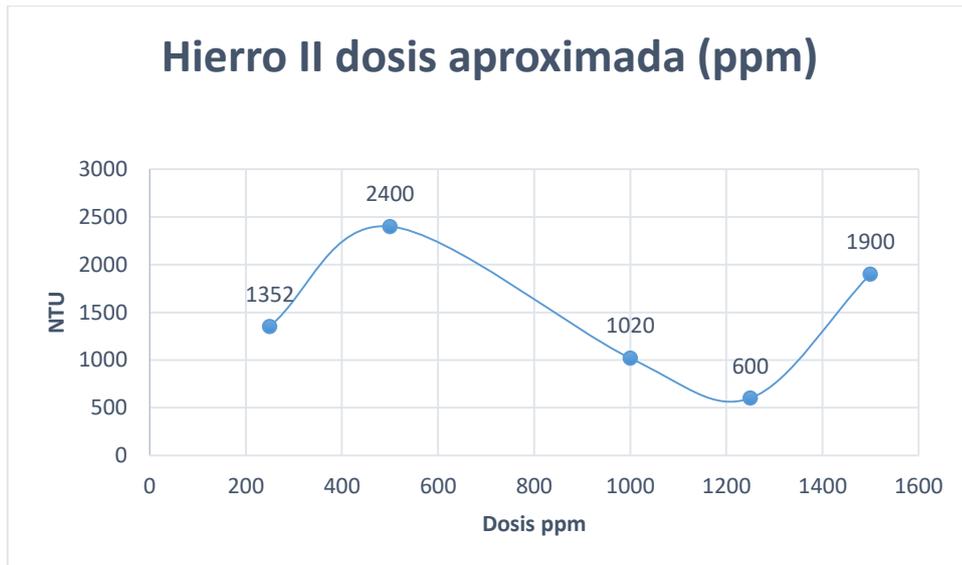


Gráfico 2-3: Hierro II dosis aproximada (ppm)
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 2-3 se observa el resultado de la aproximada del hierro II, obteniendo a una dosis de 1250 ppm la mayor eficiencia con un valor de 600 NTU.

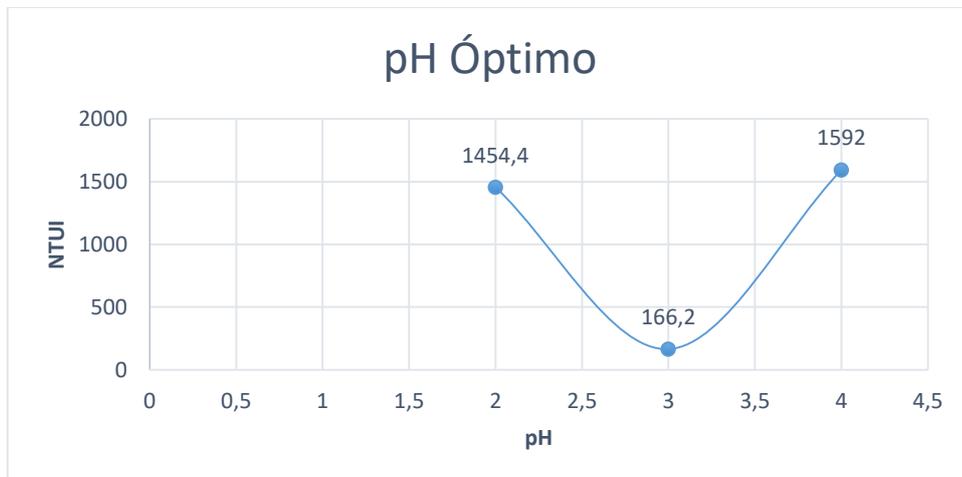


Gráfico 3-3: pH Óptimo
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 3-3 se observa el resultado del pH óptimo del método fenton, obteniendo a un rango de pH 3 la mayor eficiencia con un valor de 166,2 NTU

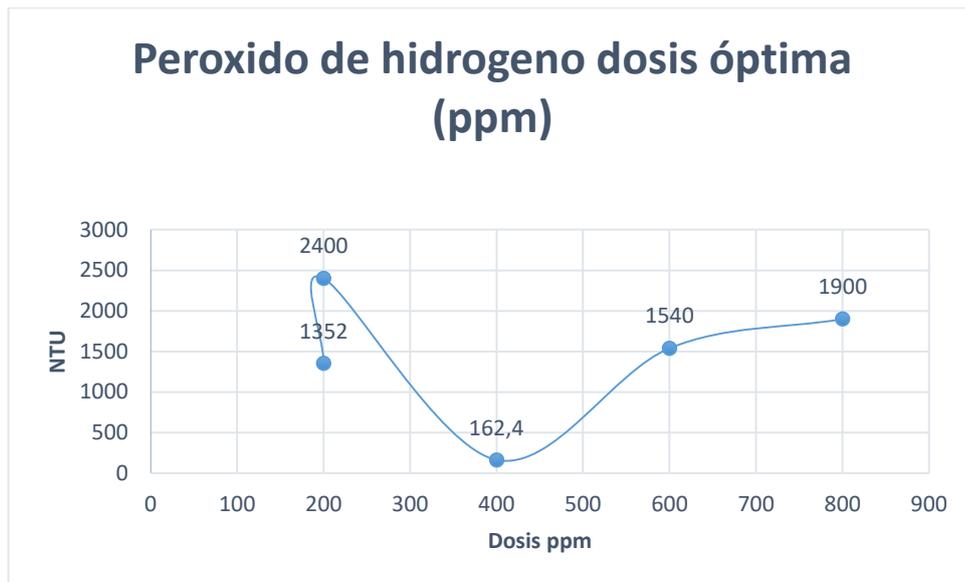


Gráfico 4-3: Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm)
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 4-3 se observa el resultado de la dosis óptima del peróxido de hidrogeno, obteniendo a una dosis de 400 ppm la mayor eficiencia con un valor de 162,4 NTU.

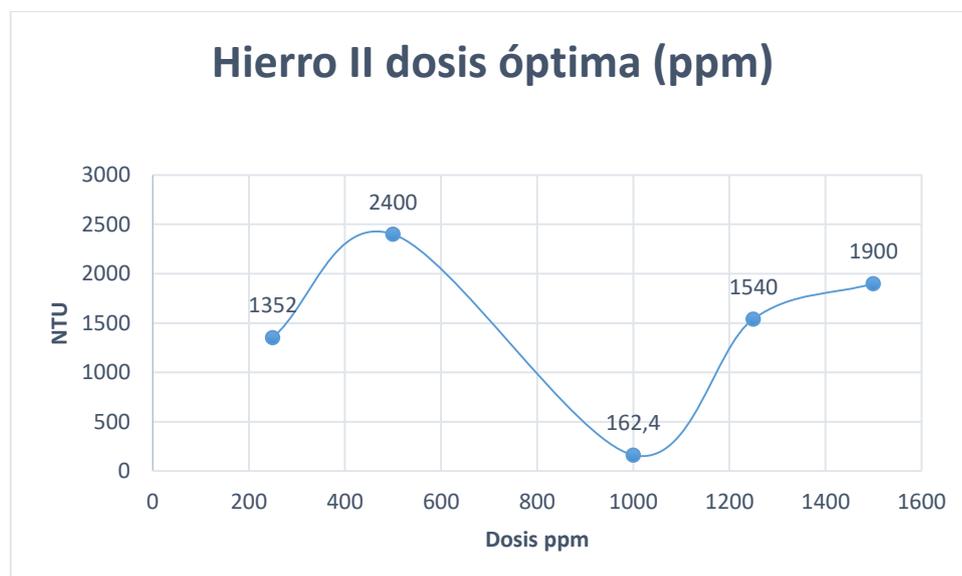


Gráfico 5-3: Hierro II dosis óptima (ppm).
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 5-3 se observa el resultado de la dosis óptima de hierro II, obteniendo a una dosis de 1000 ppm la mayor eficiencia con un valor de 162,4 NTU.

3.7.2 Análisis del color en método fenton

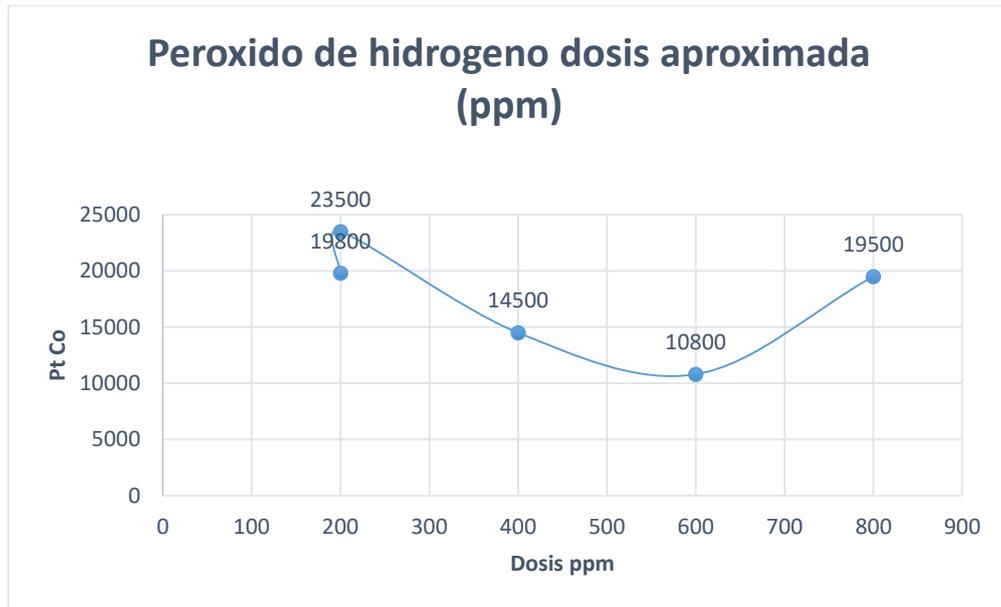


Gráfico 6-3: Peróxido de hidrogeno dosis aproximada (ppm).

Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 6-3 se observa el resultado de la dosis aproximada del peróxido de hidrogeno, obteniendo a una dosis de 600 ppm la mayor eficiencia con un valor de 10800 Pt Co.

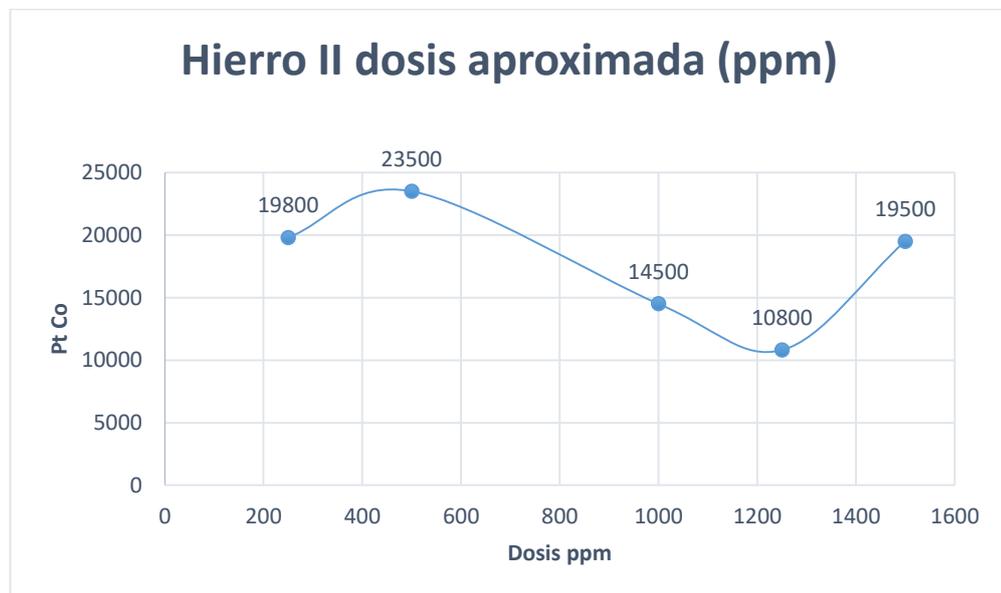


Gráfico 7-3: Hierro II dosis aproximada (ppm).

Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 7-3 se observa el resultado de la dosis aproximada del hierro II, obteniendo a una dosis de 1250 ppm la mayor eficiencia con un valor de 10800 Pt Co.

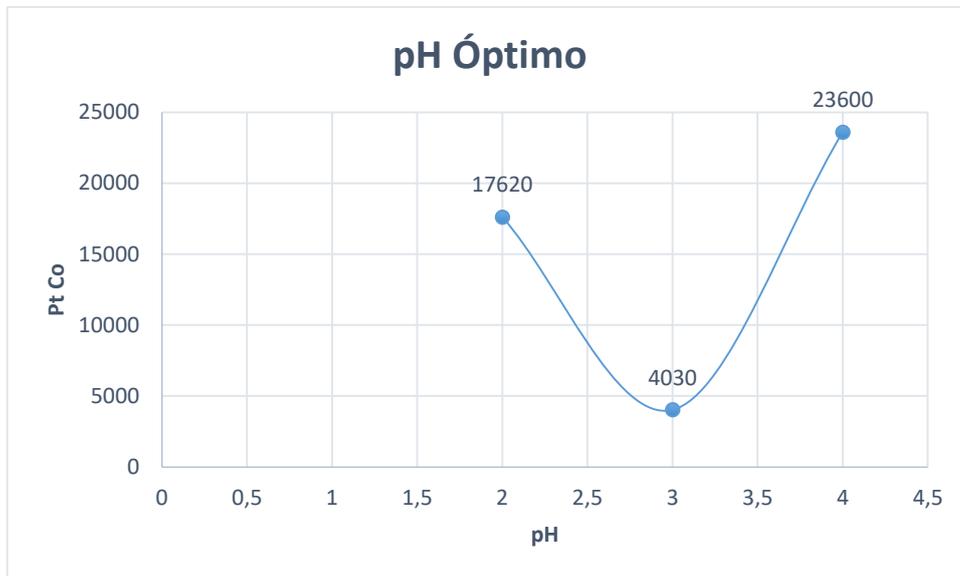


Gráfico 8-3: pH Óptimo
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 8-3 se observa el resultado del pH óptimo del método fenton, obteniendo a un rango de pH 3 la mayor eficiencia con un valor de 4030 Pt Co.

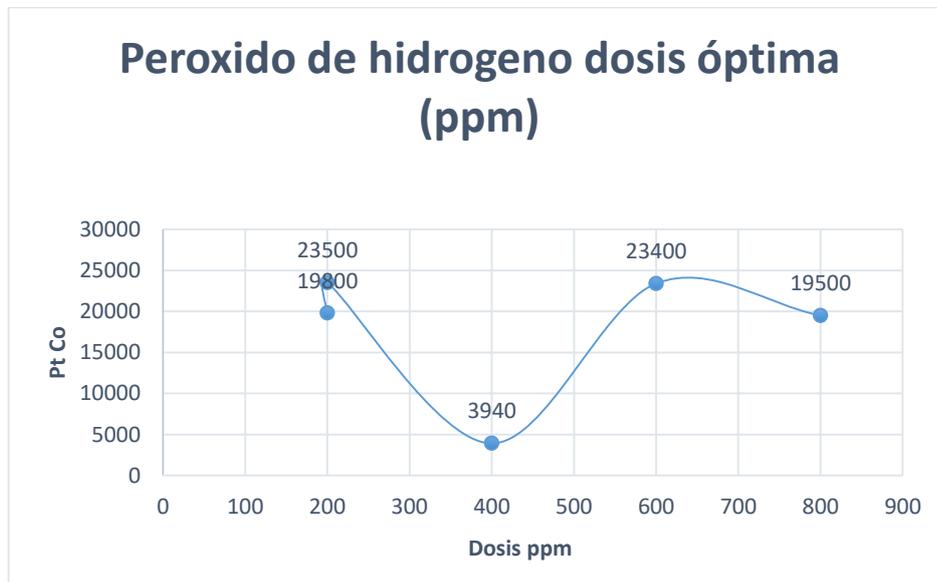


Gráfico 9-3: Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm).
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 9-3 se observa el resultado de la dosis óptima del peróxido de hidrogeno, obteniendo a una dosis de 400 ppm la mayor eficiencia con un valor de 3940 Pt Co.

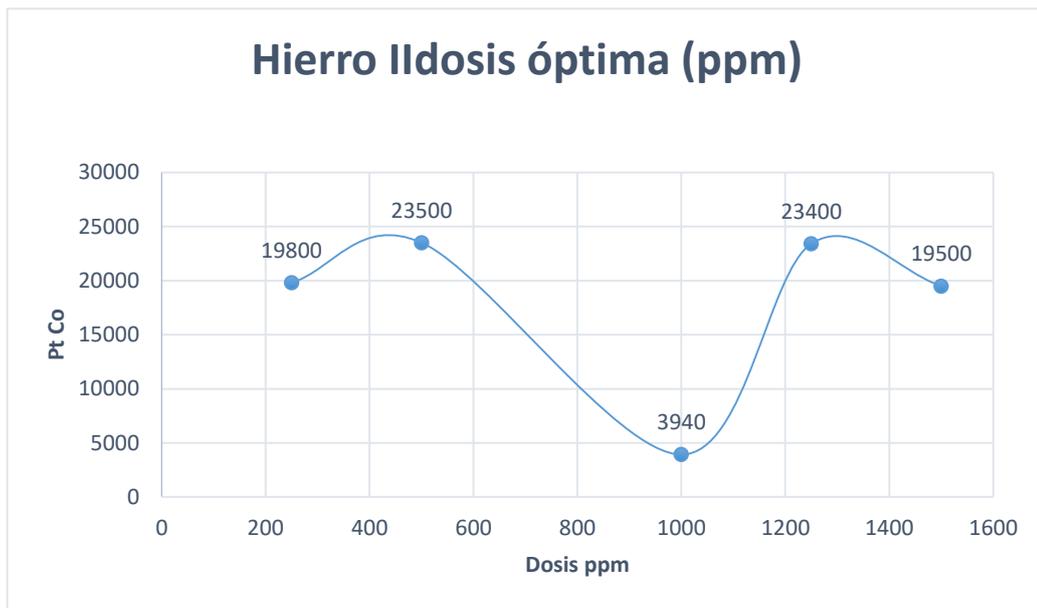


Gráfico 10-3: Peróxido de hidrogeno dosis óptima (ppm).
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 10-3 se observa el resultado de la dosis óptima del hierro II, obteniendo a una dosis de 1000 ppm la mayor eficiencia con un valor de 3940 Pt Co.

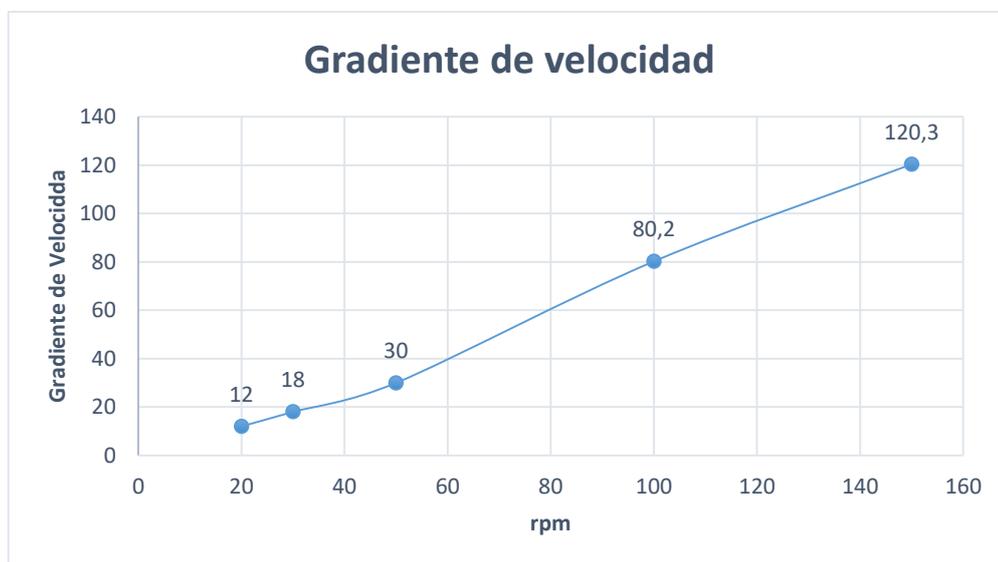


Gráfico 11-3: Gradiente de velocidad (rpm).
Realizado por: GUEVARA, Mayra 2019

En la gráfica 11-3 se observa el resultado del gradiente de velocidad inicial y final, obteniendo la mayor eficiencia a un gradiente de 18 s^{-1} genera 30 rpm. y a un gradiente de 80,2 genera 100rpm.

El pH de esta investigación es alto en comparación con otros Lx, por lo que se relaciona con el material de la cubierta del relleno-lixiviado, con esta queremos decir que no está bien compactada por ende no propicia la disolución de sus carbonatos. (Naveen et al. 2017) reporta valores de pH de 5, 6 y 7 en un relleno polaco y dos estadounidenses. Debido al tipo de material de la cubierta y presencia de amonio se da la elevada alcalinidad en Lx otorgando carbonatos y bicarbonatos.

Se trabajó con un tiempo de contacto de 120 minutos determinado como el mejor tiempo de acción según estudios anteriormente realizados por López et al. (2003) y Novelo et al. (2010). Sin embargo otros investigadores como (Yoo et al. 2001) han encontrado otros tiempos (20, 30 minutos) diferentes pero con porcentajes de remoción de materia orgánica inferiores a los presentados a esta investigación.

Mediante los datos analizados para establecer la influencia del pH y el tratamiento aplicado en la remoción de los compuestos orgánicos medidos como turbidez y color se logró variaciones significativas. Obteniendo que el mejor pH es 3 y el tratamiento óptimo es el T3, que consiste en 400 mg H₂O₂/L y 1000 mg FeSO₄/L (Figuras 1-3, 2-3, 3-3, 4-3, 5-3 y 6-3).

Las mejores remociones fueron de: 91% de turbidez y 87% de color, ambas en valores de pH de 3, (Figuras 2-3, 3-3, 4-3, 5-3 y 6-3)

La remoción DBO₅, DQO y TDS con las condiciones, valores óptimos de pH y reactivo fenton fueron de 85%, 72% y 66% respectivamente. Obteniendo de esta manera una mayor remoción en comparación con otras técnicas.

Tabla 6-3: Comparación de resultados con trabajos anteriores

Parámetro	Unidad	Ecuador a	Italia b	Mérida C	Delaware USA d	España e
Conductividad	ms/cm	10,3	45,35	21,83	-	47,1
Alcalinidad	mg/L	3000	21470	6115.96	4050	-
pH	Unidades de pH	8,3	8,2	8,57	6,67	7,1
DBO ₅	mg/L	27000	2300	647	-	7100
DQO	mg/L	26100	10540	9080	8596	6500
SST	mg/L	-	-	-	-	-
Valores Óptimos						

Tiempo de reacción	Minutos	120	120	120	20	30	60
pH	Unidades de pH	3	3	3	4	2,5	3
H ₂ O ₂	mg/L	400	3300	10000	600	2550	6500
Fe ²⁺	mg/L	1000	275	830	100	2792	650
Eficiencia alcanzada							
DBO ₅	%	85	-	-	44	-	98
DQO	%	73	-	60	77	61	75
TDS	%	66	-	-	-	-	-

a. Presente estudio 2019; b. López et al 2003; c. Novelo et al. 2006; d. Zhang et al. 2016; e. Trujillo et al. 2006

En la tabla 6-3 se presenta el contenido de resultados del proceso Fenton:

López et ál. (2003) trabajo en un tiempo de 120 min, pH de 3, 10.000 mg/ L H₂O₂ y 830 mg/L con una eficiencias de remoción del 60% en base al DQO. De esta manera se permite la coagulación de los iones de Fe²⁺, con un alza de pH a 8,5. Se adiciono 3.000 mg/L de Ca (OH)₂ y 3 mg/L de polielectrolito catiónico, para ayudar en la coagulación., este químico aumenta una la eficiencia (%) de remoción de DQO.

Novelo et al. 2006 trataron el lixiviado del relleno sanitario de Yucatan Mexico alcanzando remociones de DQO del 78%, cuando se controlaba el tratamiento en un tiempo de 20 min, pH de 4, 600 mg/ L H₂O₂ y 100 mg/L Fe²⁺. Se alcanzaron porcentajes de remoción de materia orgánica en lixiviados de 77% y 72% medidos como DQO Y COT respectivamente. En este proceso se varió de 200- 800 mg/ L H₂O₂ y de 250 -1000 mg/L Fe²⁺.

Zhang et ál. (2005), Cuando el DQO muestra valores al inicio del tratamiento de 1.000, 2.000 y 3.000 mg/L) se logró una eficiencia de DQO desde 61%, 49% y 38%, respectivamente al trabajar con tiempo de 30 min., pH de 2,5, 2.550 mg/L H₂O₂ y 2792,35 mg/L Fe²⁺. También evidenciaron que la adición del H₂O₂ en etapas mejora mayor proporción la eficiencia de remoción en la oxidación Fenton. La temperatura influye de forma positiva en la remoción de compuestos orgánico, presentando un incremento de la sedimentación del lodo con la adición del polímero.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la caracterización de la planta de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Porlón se concluyó que este es un lixiviado duro de degradar debido a sus altas concentraciones en la mayoría de los parámetros. Debido a que tiene un tiempo de permeancia > 5 años en la planta, por lo cual se aplicó un método de oxidación avanzada (Fenton) que fue muy eficiente para tratar lixiviados con altos valores de DBO₅, DQO. Mediante el dimensionamiento se obtuvieron los datos necesarios para la construcción del equipo fenton. Este trabajó con 1L de lixiviado, en el cual se control las revoluciones por minuto mediante la utilización de un variador de frecuencia sinamics G110. Obteniendo como velocidad inicial 30 rpm que logran con una potencia 0,77 hp y como velocidad final 100 rpm que se logran con una potencia de 1,33 hp. Las condiciones y dosis óptimas para el funcionamiento eficiente del equipo fenton fueron: 120 minutos, 400 mg/L H₂O₂ y 1000 mg/L Fe²⁺, pH de 3 es decir debe ser ácido para obtener una mayor eficiencia de remoción. Por lo cual se utilizó ácido sulfúrico (97% w/w) debido a que el lixiviado a tratar presentaba un pH de 8 y esto podría dificultar el proceso de oxidación fenton. Se consiguió disminuir los olores desagradables que generaban los lixiviados mediante la aplicación del reactivo fenton, ayudando de esta manera a mejorar su aspecto y color. Se alcanzaron porcentajes de remoción de materia orgánica medidos como turbidez y color en lixiviados 91% y 87% respectivamente. La remoción DBO₅, DQO y TDS fueron de 85%, 73% y 66% respectivamente. Obteniendo de esta manera una mayor remoción en comparación con otras técnicas

RECOMENDACIONES

Se recomienda al GAD Municipal de Riobamba se aplique el método Oxidación Fenton que resulta poco costosos y presenta un alta eficiente en cortos tiempos. Es fundamental bajar el pH de los lixiviados antes de aplicar el método fenton ya que este presenta una mayor eficiencia en medios ácidos. Utilizar la dosis optima del reactivo fenton para evitar cualquier alteración en los resultados. Debido que el exceso de reactivo produce aumento en los valores de los parámetros de control por el atrapamiento de los radicales OH^\cdot . Aplicar tratamientos biológicos para tratar por completo el lixiviado, ya que la oxidación fenton actúa como un pretratamiento. De manera que el lixiviado cumpla con la normativa ambiental y pueda ser evacuado a cuerpos de agua dulce.

BIBLIOGRAFÍA

- Aharoni, Imri, Hagar Siebner, and Ofer Dahan.** “Application of Vadose-Zone Monitoring System for Real-Time Characterization of Leachate Percolation in and under a Municipal Landfill.” *Waste Management* [En línea], 2007 pp. 67. Elsevier Ltd: 203–13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.012>.
- Anexo, Libro V I. n.d.** “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua.”, 2016.
- Brennan, R. B., et.al.** “Treatment of Landfill Leachate in Municipal Wastewater Treatment Plants and Impacts on Effluent Ammonium Concentrations.” *Journal of Environmental Management* [En línea] 2017 188. Elsevier Ltd: pp. 64–72. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.055>.
- Colomer, F & Gallardo, A.** Tratamiento y gestión de residuos sólidos. México Universidad Politécnica de Valencia, 2009 pp. 91-102.
- Droppelmann, C & Oettinger, M.** “Tratamiento en Lodo Activado del Lixiviado de un Relleno Sanitario”. Información Tecnológica, Santiago-Chile, [En línea], 2009 pp. 11-16 Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n1/art03.pdf>
- Dávila, A.** Estudio del tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario de lago agrio [En línea] (tesis) universidad central del ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2013 pp. 94-96. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1501>.
- Giraldo, E.** Libro. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios avances recientes. Medellín-Colombia. [En línea], 2002 pp. 23-55. Disponible en: <http://www.acodal.com/docs/Rv14-A8.pdf/>
- García Herrera, J.** “Procesos fenton y foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales de laboratorio microbiológico empleando Fe_2O_3 soportado en nanotubos de carbono, [En línea] p. 65. Disponible en : <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11853/GarciaHerreraJulianCamilo2014.pdf?sequence=1>.
- Han, Zhiyong, Haining Ma, et.al.** “A Review of Groundwater Contamination near Municipal Solid Waste Landfill Sites in China.” *Science of the Total Environment* [en línea], 2016. 569–570 (1): 1255–64. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>.
- Jácome Cordones, David Fernando.** Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón salcedo provincia de cotopaxi mediante floculación iónica y técnica fenton (tesis) (tercer nivel) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2016 pp 20-23. [Consulta 2018-06-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4886>.
- Jaramillo, J.** Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios Manuales Universidad de Antioquia, Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería

- Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2012.
- Medina, Julio Villamayor.** “Tratamiento de Lixiviados Del Relleno Sanitario Del Cantón Salcedo Provincia de Cotopaxi Mediante Floculación Iónica y Técnica Fenton. 2015.”
- Méndez Novelo, R.** “Determinación de La Dosis Optima de Reactivo Fenton En Un Tratamiento de Lixiviados Por Fenton-Absorción.” *Revista Internacional de Contaminación*, 2006. pp.21–30.
- Ministerio del ambiente,** Revista. Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. Quito-Ecuador. [En línea], 2014. pp. 10-15. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
- Moody, Chris M., and Timothy G. Townsend.** “A Comparison of Landfill Leachates Based on Waste Composition.” *Waste Management* 63. [En línea] 2017. Elsevier Ltd: 267–74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.020>.
- Montes, C,** Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Colombia:Universidad Externado de Colombia, 2009. pp.20.
- Naveen, B. P. et .al.** “Physico-Chemical and Biological Characterization of Urban Municipal Landfill Leachate.” [En línea] 2017.*Environmental Pollution* 220. Elsevier Ltd: 1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>.
- Novelo, Roger I. et.al.** “Tratamiento de Lixiviados Por Oxidación Fenton.” 2010. *Ingeniería e Investigación* 30 (1): pp. 80–85.
- Peng, Yao.** “Perspectives on Technology for Landfill Leachate Treatment.” *Arabian Journal of Chemistry* [En línea] 2017. 10. King Saud University: S2567--S2574. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>.
- Rodrigues, Carmen S D and Rui B A Pinheiro..** “Industrial wastewater treatment using advanced chemical oxidation with fenton,” 2009, pp271–87.
- Salas, G..** “Tratamiento Por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) De Aguas Residuales De La Industria Textil.” 2010,*Rev. Per. Quím. Ing. Quím* 13 (1): pp. 30–38.
- Sánchez, Lina. Sandra Escobar. Hugo Nájera, et.al.** “Caracterización de Los Lixiviados En Las Dos Lagunas de Evaporación Del Relleno Sanitario de La Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México” 2012, 6 (1): pp. 135–42.
- Siemens.** “Instrucciones de Uso Edición 2005, pp 1-10
Toma de muestras de aguas residuales instructivo para la toma de muestras de aguas residuales.
[En línea] 2007.pp.4-7 Disponible en:
http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428.
- Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). Departamento de Química.** *Avances En Química.* [En línea] 2006.*Avances En Química.* Vol. 9. Departamento de Química de la

Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/html/933/93330767005/>.

Yoo, H-Ch. et.al. “Modification of Coagulation and Fenton Oxidation Processes for Cost-Effective Leachate Treatment.” 2001 *Environmental Science and Health* 36 (1): pp. 39–48.

Zhang, Y., B. et.al. “Impacts of PH on Leaching Potential of Elements from MSW Incineration Fly Ash.” *Fuel* 184. Elsevier Ltd: 815–25.

ANEXOS

ANEXO A: Manual de operación del equipo Fenton

Manual de operación del equipo Fenton

Se revisa que la paleta de agitación este correctamente sujeta en el brazo metálico, mediante el ajuste del tornillo ubicado en la mitad de la rodela que contiene la banda, la misma que es impulsada por el motor de 60 Hz también verificamos que los cables estén correctamente conectados en el equipo fenton. El variador de frecuencia se programó con los datos del motor y las velocidades de agitación que se desea aplicar, a continuación indicamos los códigos de programación (Siemens 2005):

1. La tecla verde se utilizó para el arranque del motor y la tecla roja para el apagado.
2. La tecla P sirve para gravar el número designado dentro el parámetro en el que grave mi secuencia.
3. Las teclas de hacia arriba y hacia abajo indican el movimiento respectivo.
4. La tecla jog es un pequeño arranque de acuerdo a un parámetro programado
5. La tecla con flecha doble punta es para la inversión de giro
6. La tecla Fn sirve para dar un salto de un segmento a otro o para visualizar el parámetro inicial hacia el final, si presiono la tecla por un espacio de 3 segundos nos muestra los parámetros de voltaje de línea, frecuencia de trabajo, voltaje en el bus ec y corriente de trabajo, para salir de esas función presiono otra vez la tecla Fn.
7. Este equipo compacto está constituido por tres unidades: la unidad de potencia, de control y el operador.
8. Para Programar una puesta rápida para nuestro variador, nos ubicamos en el parámetro P0010 seleccionamos 1 para desbloquear y de esta manera ponerlo en servicio y se programó las características del motor utilizado presionó P y se gravo.
9. P0100 es para especificar el parámetro de potencia y frecuencia se seleccionó 1 para trabajar en 60Hz y la unidad de potencia en Hp.
10. P0304 nos indica la tensión a la cual va a trabajar nuestro variador que fue 120V presionó P y se gravo.
11. P0305 se utiliza para saber el amperaje al que va a trabajar nuestro motor en nuestro caso fue de 1A, presionó P y se gravo.
12. P0307 nos indica la potencia a la que trabajo el motor que fue de 0,21Kw, presionó P y se gravo.
13. P0310 especifica la frecuencia de trabajo que fue el valor de 60Hz, se presionó P y gravo
14. P0311 nos indica el número de rpm al que el motor trabajo que fueron a 100rpm, se presionó P y gravo.

15. P0700 nos especifica el modo de mandos que vamos a tener en nuestro caso se seleccionó 1 para que el mando este por panel operador presiono P y gravo.
16. P1080 trabajo a la frecuencia mínima que fue de 21.60 Hz, presiono P y gravo.
17. P1080 trabajo a la frecuencia máxima que fue de 25 Hz, presiono P y gravo.
18. En P1120 se programó la rampa de aceleración que fue de 5 segundos, Presionó P y gravo
19. En P1121 se programó la rampa de desaceleración que fue de 5 segundos, presionó P y gravo.
20. El parámetro P3900 el cual indica que debo finalizar la puesta en marcha rápida presionamos 1 y nos indicó que nuestro variador está grabando los parámetros ingresados desde la placa de nuestro motor. Una vez terminado el mensaje de gravar pudimos arrancar nuestro motor, subimos el cursor y seleccionamos 3 que no indica el nivel de acceso hacia todos los parámetros de nuestro variador, seleccione P y gravo seguidamente digitamos las teclas Fn y P y encendemos el variador de frecuencia para que arranque el equipo fenton.

ANEXO B: Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario Porlón.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA		
Verificación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario Porlón.	Certificado	Por Eliminar		Lámina 1	Escala X: Y:	Fecha 14-07-2017
	Aprobado	Por Aprobar				
Por Calificar	Para Información					

ANEXO C: Medición del caudal



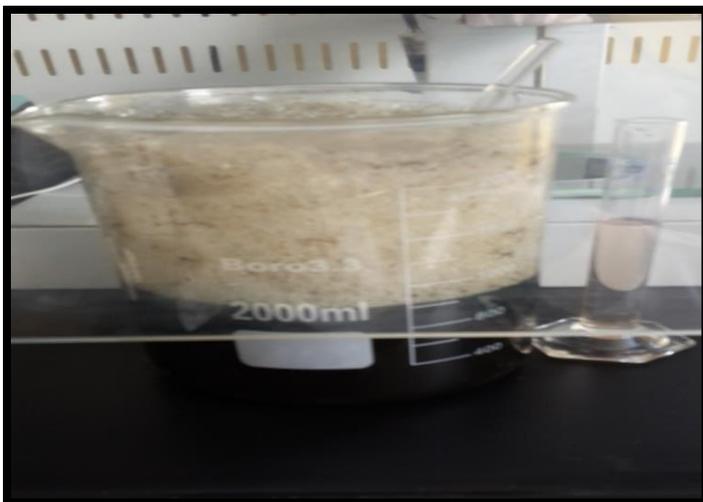
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA			
Medición del caudal (método del vertedero triangular < 90°) generado en la Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario Porlon.	Certificado		Por Eliminar			
	Aprobado		Por Aprobar	Lámina 1	Escala X: Y:	Fecha 14-07-2017
Por Calificar	Para Información					

ANEXO D: Caracterización de los lixiviados



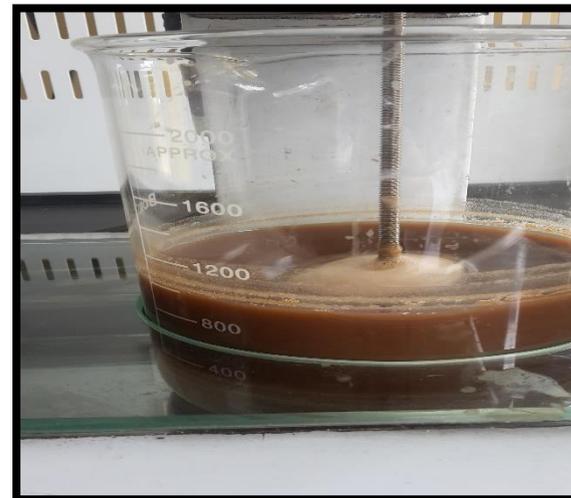
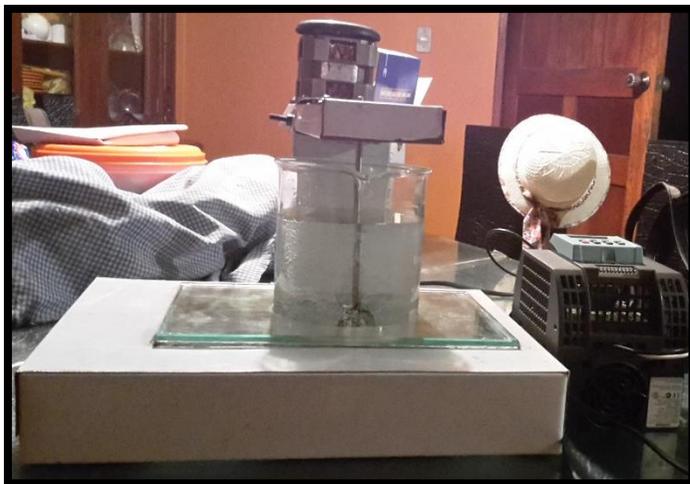
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA		
Caracterización de los lixiviados producidos en la Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario Porlon.	Certificado	Por Eliminar		Lámina 1	Escala X: Y:	Fecha 14-07-2017
	Aprobado	Por Aprobar				
	Por Calificar	Para Información				

ANEXO E: Disminución del pH para aplicar el método fenton.



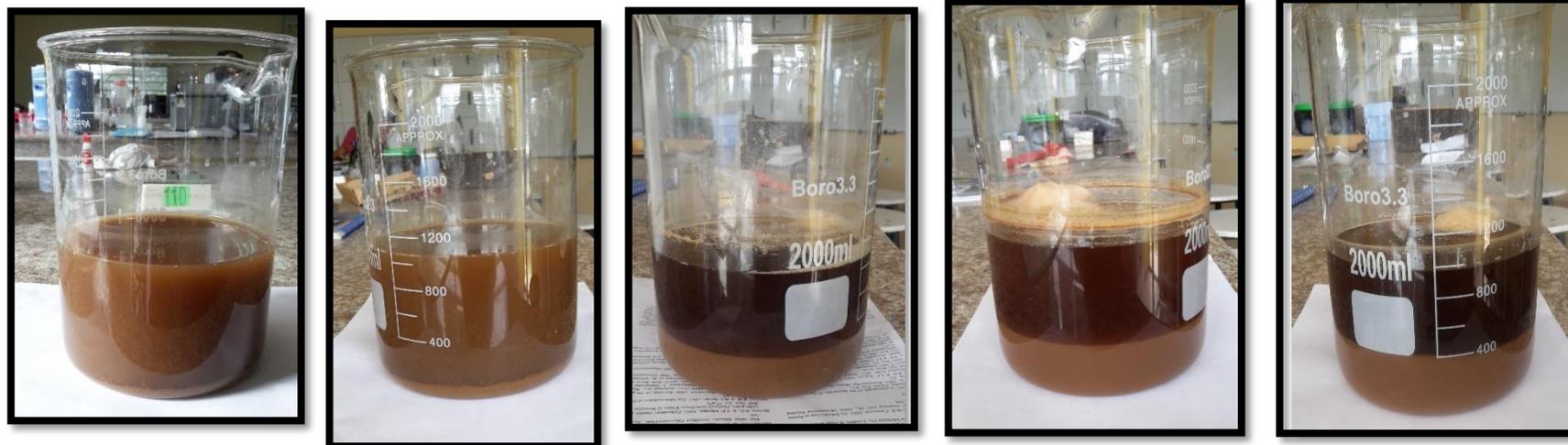
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	VISITA TÉCNICA		
Disminución del pH para aplicar el método fenton.	Certificado	Por Eliminar	ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA			
	Aprobado	Por Aprobar		Lámina	Escala	Fecha
	Por Calificar	Para Información		1	X: Y:	14-07-2017

ANEXO F: Funcionamiento del equipo fenton



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	VISITA TÉCNICA		
	Certificado	Por Eliminar	ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA			
Funcionamiento del equipo fenton	Aprobado	Por Aprobar				
	Por Calificar	Para Información		Lámina	Escala	Fecha
			1	X: Y:	14-07-2017	

ANEXO G: Lixiviado después de aplicar el Método Fenton a diferentes tratamientos



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA		
Lixiviado después de aplicar el Método Fenton a diferentes tratamientos para determinar pH y dosis óptima del reactivo fenton.	Certificado Por Eliminar		Lámina	Escala	Fecha
	Aprobado Por Aprobar		1	X: Y:	14-07-2017
	Por Calificar Para Información				

ANEXO H: Resultado de la aplicación del método fenton (Antes y después)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA		
Resultado de la aplicación del método fenton (Antes y después)	Certificado	Por Eliminar		Lámina	Escala X: Y:	Fecha 14-07-2017
	Aprobado	Por Aprobar		1		
	Por Calificar	Para Información				

ANEXO I: Análisis de Tenso activos

INFORME DE ENSAYO No: L-010-1R
ST: 006 - 1R - ANÁLISIS DE LIXIVIADOS

Nombre Peticionario: NA
Dir.: Alexandra Guevara
Dirección: Bochamba, Bochamba-Chimborazo

FECHA: 14 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB.: 20180801 - 15:40
FECHA DE MUESTREO: 20180801 - 08:00
FECHA DE ANÁLISIS: 20180801 - 2018/08/14
TIPO DE MUESTRA: Lixiviado
CODIGO CESTTA: LAB-010-1R
CODIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Muestra en crudo
ANÁLISIS SOLICITADO: Reflujo cantarero de Partón
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Tensoactivos
CONDICIONES AMBIENTALES: Alexandra Guevara
 T.max: 25.0 °C. T.min: 15.0 °C

PARAMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
Tensoactivos	PEL/CESTTA44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	2,73	-

OBSERVACIONES:
 • Muestra recibida en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:
 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO

INFORME DE ENSAYO No: L-011-1R
ST: 006 - 1R - ANÁLISIS DE LIXIVIADOS

Nombre Peticionario: NA
Dir.: Alexandra Guevara
Dirección: Bochamba, Bochamba-Chimborazo

FECHA: 14 de Agosto del 2018
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB.: 20180801 - 15:40
FECHA DE MUESTREO: 20180801 - 15:40
FECHA DE ANÁLISIS: 20180801 - 2018/08/14
TIPO DE MUESTRA: Lixiviado
CODIGO CESTTA: LAB-011-1R
CODIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Muestra tratada
ANÁLISIS SOLICITADO: Cantarero
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Alexandra Guevara
CONDICIONES AMBIENTALES: T.max: 25.0 °C. T.min: 15.0 °C

PARAMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (M)
Tensoactivos	PEL/CESTTA44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	1,35	-

OBSERVACIONES:
 • Muestra recibida en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:
 Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS FACULTAD DE CIENCIAS ING. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL ALEXANDRA GUEVARA	VISITA TÉCNICA		
Análisis de Tenso activos	Certificado	Por Eliminar		Lámina	Escala	Fecha
	Aprobado	Por Aprobar				
	Por Calificar	Para Información	1	X: Y:	14-07-2017	

ANEXO J: Plano del equipo fenton

