

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Disminución de la DBO del lixiviado del
botadero de Haqira mediante procesos
de coagulación - floculación - región
Cusco**

Kevin Donovan Arredondo Licona

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Cusco, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres por el apoyo emocional y principalmente económico. Por permitirme desarrollar el presente trabajo de investigación.

Asimismo, a la Gerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad Provincial del Cusco por concederme el acceso al botadero de Haquira.

Al Ing. Mario Cumpa Cayuri por la asesoría brindada y permitirme usar los espacios de su laboratorio en donde desarrolle la parte experimental del trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis al Ing. Oscar Huari Vila, por la asesoría brindada para la realización de la tesis, por su motivación y paciencia para realizar el presente proyecto de tesis y en la redacción del informe final.

Y finalmente a la Universidad Continental, por darme la oportunidad de obtener mi título profesional

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	2
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.1.2. Formulación del problema.....	14
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia.....	14
1.3.1. Justificación ambiental y social	14
1.3.2. Importancia	15
1.4. Hipótesis y descripción de variables	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Variables.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes del problema	17
2.1.1. A nivel local.....	17
2.1.2. A nivel nacional.....	18
2.1.3. A nivel internacional	21
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Residuos sólidos.....	23
2.2.2. Disposición final de los residuos sólidos	23
2.2.3. Lixiviado de residuos sólidos.....	24
2.2.4. Coagulación	27

2.2.5. Desestabilización de partículas	29
2.2.6. Teoría de la coagulación	31
2.2.7. Coagulantes.....	32
2.2.8. Floculación.....	32
2.2.9. Factores que influyen en la coagulación	34
2.2.10. Proceso de coagulación floculación	35
2.2.11. Oxígeno disuelto	36
2.2.12. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	40
2.3. Definición de términos básicos.....	44
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	47
3.1. Métodos y alcance de la investigación	47
3.1.1. Metodología general de investigación	47
3.1.2. Método específico.....	47
3.1.3. Tipo de investigación	47
3.1.4. Nivel.....	47
3.1.5. Alcance	48
3.2. Diseño de la investigación.....	48
3.3. Población y muestra.....	48
3.3.1. Población	48
3.3.2. Muestra.....	48
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	49
3.4.1. Ubicación de la zona de trabajo	49
3.4.2. Equipos y materiales utilizados	50
3.1.1. Métodos de referencia.....	53
3.1.2. Caracterización del lixiviado proveniente del botadero de residuos sólidos urbanos de Haqira de la ciudad del Cusco.....	54
3.1.3. Procedimiento.....	55
3.4.6. Plan de trabajo en el laboratorio	56
3.4.7. Diseño factorial 2 ^k	61
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1. Resultados de la investigación	64
4.1.1. Caracterización de los lixiviados del botadero de haqira	64

4.1.2. Determinación de los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, Ph y dosis del $FeCl_3$	65
4.1.3. Determinación del modelo matemático para el proceso de disminución de la DBO del Lixiviado del botadero de haquira	77
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS.....	83
ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA Y CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	84
ANEXO N° 2: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PRESENTADA A LA GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO.....	88
ANEXO N° 3. CADENA DE CUSTODIA DE LA CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE HAQUIRA	89
ANEXO N° 4: VISITA AL BOTADERO DE HAQUIRA.....	90
ANEXO N° 5: TOMA DE MUESTRAS DE LIXIVIADOS DE LA POZA DEL BOTADERO DE HAQUIRA.....	91
ANEXO N° 6: INSUMOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.....	92
ANEXO N° 7: PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LABORATORIO	95
ANEXO N° 8. SOLICITUD DIRIGIDA A LA GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO.....	101
ANEXO N° 9: CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE CHAQUIRA.....	102
ANEXO N° 10. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO_5 DEL GRUPO DE PRUEBA 1 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	103
ANEXO N° 11. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO_5 DEL GRUPO DE PRUEBA 2 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	105
ANEXO N° 12. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO_5 DEL GRUPO DE PRUEBA 3 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	108
ANEXO N° 13. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO_5 DEL GRUPO DE PRUEBA 4 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	111
ANEXO N° 14. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO_5 DEL GRUPO DE	

PRUEBA 1 DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	114
ANEXO N° 15. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO ₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 2 DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	116
ANEXO N° 16. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO ₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 3 DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	119
ANEXO N° 17. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO ₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 4 DESPUÉS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos típicos sobre la composición del lixiviado de rellenos nuevos y maduros	27
Tabla 2 Características de algunos reactivos coagulantes.....	35
Tabla 3 Volumen de muestra de lixiviado para analizar parámetros	52
Tabla 4 Métodos de referencia de toma de muestra y análisis de laboratorio	53
Tabla 5 Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR	54
Tabla 6 Cálculo de concentraciones de FeCl_3	57
Tabla 7 Grupo de Prueba 1.....	58
Tabla 8 Grupo de Prueba 2.....	58
Tabla 9 Grupo de Prueba 3.....	59
Tabla 10 Grupo de Prueba 4.....	59
Tabla 11 Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 1	60
Tabla 12 Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 2.....	60
Tabla 13 Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 3.....	60
Tabla 14 Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 4.....	60
Tabla 15 Identificación de variables de trabajo	62
Tabla 16 Matriz del diseño	63
Tabla 17 Análisis fisicoquímico del lixiviado de Haquira – muestra	64
Tabla 18 Resultados del Grupo de Prueba 1	65
Tabla 19 Resultados del Grupo de Prueba 2	67
Tabla 20 Resultados del Grupo de Prueba 3	68
Tabla 21 Resultados del Grupo de Prueba 4	70
Tabla 22 Resultados de la Matriz de diseño 2^3	73
Tabla 23 Resultados de los Coeficientes codificados.....	77
Tabla 24. Estadística de la regresión.....	77.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Generación de lixiviados	26
<i>Figura 2</i> Coagulación.....	29
<i>Figura 3</i> Doble capa eléctrica	30
<i>Figura 4</i> Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante	33
<i>Figura 5</i> Influencia del pH en el coagulante	34
<i>Figura 6</i> Esquema del proceso de Coagulación Floculación	36
<i>Figura 7</i> Ubicación espacial del botadero de Haqira	50
<i>Figura 8</i> Cálculos Estequiométricos.....	56
<i>Figura 9</i> Esquematzación del diseño factorial 2^3	61
<i>Figura 10</i> Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 1	66
<i>Figura 11</i> Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 1.....	66
<i>Figura 12</i> Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 2.	67
<i>Figura 13</i> Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 2.	68
<i>Figura 14</i> Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 3..	69
<i>Figura 15</i> Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 3.....	69
<i>Figura 16</i> Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 4.	70
<i>Figura 17</i> Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del $FeCl_3$ del grupo de prueba 4	71
<i>Figura 18</i> Gráfica de efectos principales para Y (DBO).....	74
<i>Figura 19</i> Diagrama de Pareto de los efectos.....	75
<i>Figura 20</i> Gráfica normal de los efectos.....	76

RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación – floculación, utilizando como coagulante el Cloruro Férrico (FeCl_3).

Antes de llevar cabo el experimento se tuvo que realizar la caracterización de los lixiviados del botadero y se pudo determinar que la concentración de la DBO del lixiviado de Haqira es de 4000 mg/L, el cual supera el límite máximo permisible del DS N° 003-2010-MINAM. En donde antes de realizar los experimentos se procedió a diluir el lixiviado en una relación de 10 ml de lixiviado con 90 ml de agua, esto con el propósito de disminuir la concentración de la solución y se fue distribuyendo 25 ml de esta dilución en cada una de las muestras de los 4 grupos de pruebas experimentales. Cada grupo de prueba está constituido de 8 muestras. Además de que se les aplicó una dosis de 100 a 800 ppm de FeCl_3 respectivamente. La obtención de datos fue mediante la medición del tiempo de sedimentación de flóculos, la medición del pH tanto con el pHmetro, así como la utilización del indicador de Rojo fenol y la cuantificación de la DBO mediante el método Winkler.

En el grupo de prueba 1 se determinó una concentración mínima de 180 mg/L de DBO, bajo las siguientes condiciones: tiempo de sedimentación (0*), pH 5.1 y 700 ppm de FeCl_3 . En el grupo de prueba 2 se determinó una concentración mínima de 16 mg/L de DBO, bajo las siguientes condiciones: tiempo de sedimentación 60 minutos, pH 7.8 y 800 ppm de FeCl_3 . En el grupo de prueba 3 se determinó una concentración mínima de 8 mg/L de DBO, bajo las siguientes condiciones: tiempo de sedimentación 30 minutos, pH 8.9 y dosis de 800 ppm de FeCl_3 . Y finalmente en el grupo de prueba 4 se determinó una concentración mínima de 4 mg/L de DBO, bajo las siguientes condiciones: tiempo de sedimentación 5 minutos, pH 9.5 y 600 ppm de FeCl_3 .

Además, los datos del grupo de prueba 4 fueron procesados en el software MINITAB 19 el cual nos permitió inferir los parámetros óptimos para el tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis del FeCl_3 son las siguientes: 60 minutos, 10.6 y 800 ppm respectivamente.

Palabras claves: Coagulación, Floculación y DBO.

Nota: (0*), no se pudo cuantificar el tiempo de sedimentación de flóculos dado que no se forman flóculos.

ABSTRACT

In this research work, it was evaluated to reduce the BOD of the Haquira dump leachate through coagulation-flocculation processes, using Ferric Chloride (FeCl_3) as a coagulant.

Before carrying out the experiment, the characterization of the leachate from the dump had to be carried out and it was possible to determine that the BOD concentration of the Haquira leachate is 4000 mg/L, which exceeds the maximum permissible limit of DS N° 003- 2010-MINAM. Where before carrying out the experiments, the leachate was diluted in a ratio of 10 ml of leachate with 90 ml of water, this with the purpose of reducing the concentration of the solution and 25 ml of this dilution was distributed in each of the samples of the 4 groups of experimental tests. Each test group is made up of 8 samples. In addition to a dose of 100 to 800 ppm of FeCl_3 , respectively, was applied. Obtaining data was by measuring the sedimentation time of flocs, measuring the pH both with the pH meter as well as the use of the Phenol Red indicator and the quantification of BOD using the Winkler method.

In test group 1, a minimum concentration of 180 mg/L of BOD was determined, under the following conditions: sedimentation time (0^*), pH 5.1 and 700 ppm of FeCl_3 . In test group 2, a minimum concentration of 16 mg/L of BOD was determined, under the following conditions: sedimentation time 60 minutes, pH 7.8 and 800 ppm of FeCl_3 . In test group 3, a minimum concentration of 8 mg/L of BOD was determined, under the following conditions: sedimentation time 30 minutes, pH 8.9 and dose of 800 ppm of FeCl_3 . And finally, in test group 4, a minimum concentration of 4 mg/L of BOD was determined, under the following conditions: sedimentation time 5 minutes, pH 9.5 and 600 ppm of FeCl_3 .

In addition, the data from test group 4 were processed in the MINITAB 19 software, which allowed us to infer the optimal parameters for floc sedimentation time, pH, and FeCl_3 dose: 60 minutes, 10.6, and 800 ppm, respectively.

Keywords: Coagulation, Flocculation and BOD.

Note: (0^*), the floc sedimentation time could not be quantified since no flocs were formed.

INTRODUCCIÓN

De los diversos problemas percibidos en cualquier centro urbano, en todo el mundo, tenemos al manejo y aislamiento de los desechos domésticos locales (RSM). Su composición y volumen están en función del desarrollo de la economía de una localidad. En las naciones industrializadas los residuos caseros que un individuo genera al día llegan a dos kilogramos y están conformados por plástico, metales, vidrio, desechos de origen orgánico, papel y demás residuos. En comparación a las naciones en pleno desarrollo, donde se perciben desechos diarios por individuo menor a un kilogramo, encontrándose en mayor proporción en ello residuos de alimentos, residuos de origen orgánico, papel, residuos de aparatos electrónicos y plástico (1).

El constante avance de la urbanización en nuestra nación se refleja en el crecimiento positivo de la población en las diferentes localidades. En el 2014, se alcanzó un 74% de pobladores urbanos y la capital Lima, la urbe de mayor masa poblacional, originó RSM mayores a 7,400 toneladas cada día, por lo que se infiere que cada ciudadano produce 0.65 kilogramos aproximadamente. De acuerdo a proyecciones hechas por el OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), dentro de 20 la capital Lima originará dos veces más desechos domésticos. De este modo, el crecimiento está asociado a la necesidad de más infraestructura y equipamiento, y por ello los ciudadanos generan mayor cantidad de desechos domésticos (2).

Las municipalidades como entidades encargadas de proveer servicios a la población fueron obteniendo más recursos, funciones y competencias. Dichas entidades entran en contacto con los pobladores permitiéndoles definir de mejor manera todos sus requerimientos y por lo tanto poner a disposición de ellos servicios de calidad. Entre los diferentes servicios ofrecidos por estos entes tenemos al servicio de gestión de residuos sólidos municipales o RSM por sus iniciales. Los RSM son desechos que se originan en espacios comerciales, domésticos, urbanos y de la fabricación de bienes que originan desechos en los mencionados espacios. Se sabe que el 93% de los RSM son gestionados de forma directa, el 1% es gestionado por terceros y el 6% restante se administra de manera mixta. La relevancia de gestionar adecuadamente los RSM está en el vínculo directo existente entre la naturaleza, los desechos sólidos y la salud. La inadecuada gestión de estos factores ocasiona diversos escenarios negativos, como la aparición de patologías entéricas, perjuicios en la calidad del aire debido al

biogás y daño al agua de la superficie a causa de la creación de lixiviados los cuales traen consigo alteraciones negativas del clima y de la naturaleza (2).

El vertedero de Haqira que se ubica en Santiago, un distrito perteneciente a la provincia denominada Cusco, empezó a funcionar desde el 2001 en ausencia de condiciones ambientales y técnicas sanitarias obligatorias, al día de hoy acoge un aproximado de 400 toneladas de desechos caseros cada día y alberga alrededor de dos millones de toneladas de tales desechos de toda la provincia de Cusco, dichos desechos fueron manipulados de forma inadecuada durante aproximadamente 15 años o más, siendo el origen de efectos negativos al bienestar y de focos de infección que afectan a la naturaleza y a los ciudadanos (3).

Uno de los principales aspectos ambientales que repercuten negativamente con el medio ambiente son los LIXIVIADOS, estos son efluentes de características contaminantes, por lo cual se le categoriza como un residuo industrial al existir gran concentración de elementos recalcitrantes y que en consecuencia vuelven complejo su atención (4). En tal sentido, se propone realizar un pretratamiento mediante procesos de coagulación y floculación, a fin de disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Según la OEFA, la colocación de desechos sólidos en vertederos al aire libre es una actividad usual, dañina e irresponsable que afecta el bienestar de la población y la naturaleza. El riesgo medioambiental de un vertedero requiere ser disminuido mediante mecanismos de planeación medioambiental, el análisis ambiental de los espacios afectados por la acumulación incontrolada de desechos sólidos es uno de dichos mecanismos, tomando en consideración que a diario se disponen 3,200 toneladas de desechos en los vertederos que ya se encuentran en fase crítica en toda la nación (3). Geográficamente, el distrito de Cusco cuenta con 116.2 kilómetros cuadrados y tiene 107,840 residentes conforme al censo realizado en el 2005, quienes generan 4,072.26 toneladas de desechos sólidos en promedio, donde se infiere que cada residente produce 0.82 kilogramos de tales residuos; además el distrito alberga a 116,077 pobladores flotantes o turistas cada mes, espacios de comercio informal que se han vuelto mercadillos, los residentes cerca del lugar perciben mayores desechos sólidos en la urbe por tal motivo (5). Estos problemas de contaminación están presentes en el vertedero de Haqira que se ubica en Santiago, distrito donde empezó a funcionar desde el 2001 cuya vida útil se estimaba en 7 años, bajo el incumplimiento de las condiciones medioambientales y técnico sanitarias que establece el Minsa mediante la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) (3). Los desechos de composición sólida colocados en este vertedero son provenientes de diferentes distritos como Wanchaq, Saylla, Santiago, San Sebastián, San Jerónimo, Poroy, Cusco y Ccorca. Este vertedero admite un aproximado de 395 toneladas de desechos diariamente y desde el 2002 alberga 1,400,000 toneladas de desechos los mismos que son dispuestos en condiciones inadecuadas por más de 15 años (6); bajo este escenario se requiere

proponer alternativas que mitiguen los efectos de los lixiviados.

1.1.2. Formulación del problema

a. Problema General

¿Cómo disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación - floculación?

b. Problema Específico

- ¿Cómo caracterizar el lixiviado del botadero de Haqira?
- ¿Cómo determinar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis del FeCl_3 ?
- ¿Cómo determinar el modelo matemático para el proceso de Disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqira?
-

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación – floculación en el distrito de Ccorca, Provincia del Cusco la Región Cusco.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el lixiviado del botadero de Haqira.
- Determinar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis del FeCl_3 .
- Determinar el modelo matemático para el proceso de Disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqira.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación ambiental y social

Ambiental

Al desarrollar este estudio se intenta buscar un tratamiento alternativo a los lixiviados que se generan en el vertedero de Haqira los cuales están provocando deterioro medioambiental, contaminando principalmente el recurso hídrico (agua superficial y subterránea), el suelo (del espacio explotado y de cultivos a su alrededor) y el aire (3). Es por ello que es

importante tratar los lixiviados provenientes de dicho vertedero a través de mecanismos de floculación y coagulación, como procedimientos alternativos e innovadores a las técnicas tradicionales (4).

Social

Con el desarrollo de esta investigación se proporcionará una solución alternativa a los lixiviados de residuos sólidos del botadero de Haqira y de tal modo incrementar el bienestar de los pobladores cusqueños.

1.3.2. Importancia

Esta investigación brindará conocimientos acerca del proceso de coagulación – floculación aplicados a los lixiviados para así poder analizar la viabilidad del uso de dicho proceso como pre tratamiento de los lixiviados, ya que según los antecedentes la coagulación – floculación permitirá remover un gran porcentaje de los contaminantes presentes en los lixiviados y de esta manera dar una solución a la cadena de problemas ambientales que generan los lixiviados.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

Disminuye significativamente la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación y floculación en la Región Cusco.

- a. Hipótesis Alterna: La aplicación del agente coagulante (Cloruro Férrico) influye positivamente en la remoción de la DBO.
- b. Hipótesis Nula: La aplicación del agente coagulante (Cloruro Férrico) no influye positivamente en la remoción de la DBO.

1.4.2. Variables

$$F(X) = y$$

Descripción de variables

- **Variable Independiente:**
Proceso de Coagulación Floculación
Dimensiones
 - Tiempo de sedimentación de flóculos
 - pH
 - Dosis del coagulante (Cloruro Férrico)
- **Variable Dependiente:**
 - Concentración de DBO en el lixiviado tratado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. A nivel local

La investigación: “Evaluación Ambiental Del Botadero De Haqira, Metodología EVIAVE”. Tuvo como propósito más importante el aplicar una metodología de análisis de los impactos medioambientales de botaderos en el vertedero mencionado. Motivo por el cual, se centró en analizar la metodología denominada EVIAVE y establecer los cambios necesarios conforme a las leyes en materia técnica de nuestro país, para ser aplicados en botaderos que se ubican en toda la nación. Asimismo, diagnosticar el vertedero de Haqira en cuanto a su operación, organización e infraestructura y proponer soluciones para mejorar las problemáticas medioambientales y técnico sanitarias que sufre el vertedero y para gestionar adecuadamente los desechos caseros generados en la provincia de Cusco (3).

La investigación intitulada: “Biosorción del Plomo por Biomasa inactiva de bacterias aisladas en sedimentos de Lixiviados del Botadero de Haqira - Cusco”. Desarrollada con el objetivo de mejorar los parámetros y analizar la biosorción del plomo en el agua mediante biomasa sin actividad como absorbente, que se obtiene de aquella cepa cuya resistencia a dicho metal es más predominante, separada de los lixiviados del vertedero de Haqira en Cusco. El enriquecimiento realizado arrojó 5 cepas con resistencia cuya concentración fue superior a 93.8 miligramos por litro de Plomo (BMA – 05, BMA – 04, BMA – 03, BMA – 02 Y BMA – 01) cada una de ellas Gram de signo negativo, de estas las 4 primeras son bacilos y la última cocobacilos. Estas cepas se sometieron a cantidades ascendientes de plomo desde 0 a 875.82 miligramos por litro a fin de analizar la resistencia que poseen frente a tal metal. La cepa BMA – 04 fue seleccionada debido a que presentaba más resistencia a comparación de las demás (mayor a 875.82 miligramos por litro de plomo). Gracias al reconocimiento a nivel

molecular se percibe que podría tratarse de una especie recientemente descubierta o una mutación del *Proteus* sp., una enterobacteria no estudiada en el campo de la biosorción. La etapa estacionaria del desarrollo de dicha cepa fue registrada al cumplir 26 horas, debido a lo cual se consiguió biomasa desde las 30 horas de cultivo a una temperatura de 30° centígrados; se realizó su inactivación al llegar a los 121° centígrados por un cuarto de hora, que se recuperó por secado y centrifugado a una temperatura de 60° centígrados x 4 horas y a 105° centígrados x 6 horas. Finalmente, se logró producir 0.565 gramos de biomasa seca por litro, siendo fundamental para el biosorbente (7).

2.1.2. A nivel nacional

La investigación denominada: “Uso de células solares destiladoras en lixiviados de residuos sólidos domésticos, para su tratamiento, en planta piloto acondicionada en vivienda del distrito de independencia, Huaraz – Ancash, octubre 2015 – julio 2016”. La cual intenta proporcionar soluciones para tratar lixiviados de desechos sólidos caseros para que puedan ser utilizados nuevamente en la agricultura o para el consumo de la población, se propuso usar células destiladoras solares que se componen de calentadores al sol con conexiones al vacío, a partir de esto se evaluó la eficiencia de quitar cada sólido disuelto, regresarle el pH adecuado y aminorar su conductividad. El investigador realizó la implementación de una planta conformada por seis paneles termosolares con conexiones al vacío y producía mínimo 1.2 litros al día de lixiviados destilados bajo condiciones solares bajas (585 W/m^2), cuando el sol se encontraba en su punto más alto (1415 W/m^2) se producían 2.80 litros de lixiviados destilados al día, por otro lado, con la radiación en promedio (935.90 W/m^2) se lograba producir 1.87 litros al día en un espacio de 1.39 metros cuadrados, de forma similar, los parámetros evaluados evidenciaron una disminución de 30.35% de conductividad, el pH aumentó en 5.58% y los sólidos que fueron disueltos llegaron a los 36.82% con tendencia a convertirse en una respuesta básica que en comparación a los patrones de calidad del agua de tipo 1-A2 el total de sólidos diluidos y la conductividad no alcanzan

su cumplimiento y su pH sigue en el rango esperado, en suma de lo expuesto el investigador llega a concluir que resulta ineficiente usar células destiladoras solares compuestas por conexiones al vacío cuyo propósito es quitar los sólidos vertidos, regresar al pH esperado y aminorar su conductividad, finalmente recomienda incluir otros tratamientos o más fases de evaporación de continuar con estudios en el tema (8).

El estudio titulado: “Tratamiento de lixiviados del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno por el proceso de coagulación y floculación”. Se enfocó en probar que la contaminación medioambiental sería evitada al tratar los lixiviados procedentes del vertedero de Cancharani ubicado en la región Puno, a través de mecanismos de floculación y coagulación, haciendo uso del sulfato de aluminio y el hidróxido de calcio como herramientas coagulantes y floculantes respectivamente. Las dimensiones físico – químicas de los lixiviados procedentes de desechos sólidos generados por la ciudad de Puno alberga dentro de su composición hierro (50 miligramos por litro), el cual es claramente superior a lo permitido en los lineamientos de la Ley General de Aguas. Durante el desarrollo se modificó el nivel de pH que inicialmente era 3.5 a los 11 actuales, así como la cantidad de coagulante de sus 30 miligramos por litro llegó a 100; de forma similar, se alteró la cantidad de tiempo para combinarlos de 12 a 15 minutos y la velocidad para realizar la agitación de 20 a 100 RPM, a fin de encontrar sus intervenciones en los procedimientos experimentados, por ello se logró recuperar el 94.81% de hierro con ayuda del elemento floculante (4).

El trabajo de investigación denominado: “Tratamiento de Lixiviados del Botadero de Residuos Sólidos de la Ciudad de Puno con Surfactantes Aniónicos”. Su propósito fue tratar los lixiviados del botadero de desechos sólidos de la urbe, que se ubica en Cancharani, Puno, a través del uso de surfactantes; con ayuda de dos elementos, el coagulante y el floculante, estos son el sulfato de aluminio y el dodecil benceno sulfato de sodio respectivamente. Las dimensiones físico – químicas de los lixiviados procedentes de desechos sólidos generados por la ciudad

de Puno alberga dentro de su composición hierro (45 miligramos por litro), el cual es claramente superior a lo permitido en los lineamientos de la Ley General de Aguas. Durante el desarrollo del trabajo se modificó el nivel de pH que inicialmente era 5 a los 12 actuales, así como la cantidad de coagulante de sus 20 miligramos por litro llegó a 120; de forma similar, se alteró la cantidad de tiempo para combinarlos de 5 a 20 minutos y la velocidad para realizar la agitación de 25 a 150 RPM, a fin de encontrar sus intervenciones en los procedimientos experimentados, por ello se logró recuperar el 95.34% de hierro (reducción a 2,095 miligramos por litro) gracias al elemento floculante. A fines de definir cómo influye el pH en las etapas de la coagulación – floculación de los lixiviados procedentes de desechos sólidos de la urbe, el prototipo matemático se desarrolló por medio de la estadística y de diversos ensayos, se determinó que 11.5 es el pH adecuado, el tiempo para la coagulación adecuado es 12 minutos y medio y la velocidad para realizar la agitación es 25 RPM. El prototipo matemático obtiene veracidad gracias al valor hallado de los indicadores. Por último, el investigador llega a concluir que el parámetro pH es el que toma el papel más importante cuando se desea recuperar el nivel de hierro adecuado (9).

El trabajo investigativo titulado: “Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación - floculación y sedimentación”. El cual se enfocó en encontrar de forma experimental lo eficiente que resulta aplicar procedimientos de sedimentación, floculación y coagulación para tratar lixiviados. En donde los investigadores sometieron el lixiviado al test de Jarras en donde se analizaron y determinaron las variaciones o efectos de las pruebas de coagulación y floculación que se realizaron. Dando a conocer como conclusión final que es muy eficiente ya que remueve la turbidez en 94% y clarifica el lixiviado en un 68.70% como máximo, además remueve la materia orgánica en un 47.50% y 55.43% en DBO5 y DQO respectivamente (10).

La investigación: “Tratamiento de lixiviados en la etapa de compostaje mediante el proceso de coagulación con mucílago de Opuntia Ficus

Indica”. Donde se presenta una forma de tratar los lixiviados que se generan durante el compostaje; mecanismo utilizado en la planta tratadora de desechos sólidos ubicada en la provincia Concepción; a través de una técnica que emplea el mucílago de Opuntia como elemento coagulante, buscando disminuir parámetros de carga orgánica y su consistencia turbia evaluando diferentes dimensiones como el pH, la cantidad de tiempo en contacto y la cantidad de elemento coagulante. Obteniéndose en la caracterización de los lixiviados que el pH es 8.21, 377 UNT de turbiedad; 2,925 mgO₂/L de Demanda Bioquímica del Oxígeno; 5 088 mg/L de Demanda Química del Oxígeno; 7,982 miligramos por litro de desechos sólidos y 14° centígrados de temperatura. Después de desarrollados los ensayos se estableció que la cantidad adecuada del elemento coagulante a utilizar es 1 gramo por litro, vertido dentro de un espacio neutro cuyo pH sea 7 en 30 minutos para entrar en contacto, bajo el escenario descrito se consiguió reducir la DQO a 2,854.3 miligramos por litro, en porcentaje esto significa un 57.2% de DQO reducido, de forma similar, la turbiedad fue reducida a 41.1 UNT, que en porcentajes significa un 89.06% de reducción (11). La OEFA asumiendo su atribución de supervisión a instituciones estatales, llevó a cabo una fiscalización al vertedero de Haquira, que se encuentra bajo la administración de la provincia de Cusco; con el propósito de verificar el cumplimiento de las sugerencias emitidas por dicho organismo en el 2015, que pretendía disminuir los perjuicios medioambientales generados por el vertedero, y así evitar que afecte el bienestar de la naturaleza y de los ciudadanos (6).

2.1.3. A nivel internacional

El estudio denominado: “Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la cd. de chihuahua, México” tiene como objetivo plantear un método que mezcla técnicas fisicoquímicas, tecnologías para tratar los lixiviados sin tener que diluirlos, puesto que existe la posibilidad de usar técnicas biológicas en los lixiviados generados en vertederos que alcanzan su límite. En consecuencia, los lixiviados fueron sometidos a un tratamiento conformado por 4 fases: a.

coagulación, floculación y sedimentación a través de un elemento coagulante de origen inorgánico; b. proceso de absorción mediante carbón activado; c. proceso de oxidación química usando el Fenton por su propiedad reactiva y d. uso de membranas cuya ósmosis es inversa. Se tomaron en cuenta los requisitos de funcionamiento óptimo para todas las fases a fin de aumentar la cantidad removida de la DQO. Asimismo, se realizó la distribución de cada remoción luego las fases de tratamiento para la DBO₅, SDT (cantidad total de sal disuelta), ST (sólidos totales) y la cantidad total de nitrógeno. Al final se logró quitar 92% de la DQO, 68% de la DBO₅, 63% de la cantidad de nitrógeno, 46% de ST y 45% SDT (12).

La tesis: “Coagulación-floculación y separación de sólidos disueltos y suspendidos en un lixiviado estabilizado de vertedero”. El cual se orienta a buscar el mejoramiento de cada pretratamiento físico químico tradicional, de coagulación – floculación, para aplicarlos en la supresión de componentes refractarios de origen orgánico en viejos lixiviados de un botadero, para esto se toma en cuenta los requisitos más efectivos y favorables para ponerlo en marcha (13).

La investigación: “Caracterización y Tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México”. Donde se desarrolló la tipificación de los lixiviados que se producen en el espacio clausurado del lugar de colocación de los desechos, producidos en una ciudad de México. Los lixiviados alcanzaron su madurez, a los que fueron objeto de experimentos en la coagulación – floculación para tratarlos. Los elementos para realizar la coagulación fueron el FeSO₄ y el FeCl₃ en distintas cantidades (1.8, 1.4 y 1.6 gramos por litro), con pH inicial de 6 y 4.5, para realizar los ensayos. La eficiencia del procedimiento fue evaluada usando la masa orgánica cuantificada como DQO. Gracias a los resultados se pudo determinar que el elemento FeCl₃ presenta mayor efectividad que el elemento FeSO₄ al remover los componentes orgánicos. Además, se logró remover la DQO en 67% y se obtuvo 6 de pH por haber utilizado 1.4 gramos por litro del elemento FeCl₃ (14).

La investigación: “Evaluación del tratamiento fisicoquímico de lixiviados

parcialmente estabilizados. Estudio de caso: Vertedero de Navarro”. Se investigó las etapas de la coagulación – floculación en diversos ensayos usando el elemento FeCl_3 para conseguir la coagulación. El lixiviado a utilizar se obtuvo de algunas lagunas de Navarro, lugar en el cual se colocaban los desechos de la ciudad de Cali, Colombia. Para lograr el objetivo de la investigación se definieron las dimensiones para hallar eficiencia fisicoquímica del interés en la salud y de la calidad del recurso hídrico. Según las eficiencias obtenidas del color con 97%, DQO con 47%, DBO_5 con 75%, arsénico con 86%, cianuro con 97% y detergentes con 56%, cuando se terminó con el estudio se demostró que tratar fisicoquímicamente los lixiviados longevos es una alternativa acertada y viable y que el pH de coagulación es el parámetro de operación más significativo, el pH de mayor acidez resultó tener más efectividades (5 aproximadamente). La dosis del elemento coagulante es la siguiente dimensión más importante del proceso evaluado siendo los tiempos de mezcla rápida (TMR) y lenta (TML) también importantes, pero menos determinantes en especial el TML. Los valores óptimos encontrados de dosis, TMR y TML son 1600 mg/L, 80s y 10 min respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Residuos sólidos

Se trata de compuestos orgánicos e inorgánicos que, generalmente, no tienen un valor monetario para los individuos y se le denomina “basura” de forma coloquial. Asimismo, estos términos engloban a diversos materiales un tanto sólidos (barro, lodo, etc.) y aquellos que se generan debido a fenómenos del medio ambiente. Es importante recalcar que las aguas de índole residual (materias fecales, orina y aguas contaminadas) no forman parte de estos términos (8).

2.2.2. Disposición final de los residuos sólidos

Son las últimas operaciones y procesos realizados para disponer o tratar los desechos sólidos en un espacio específico, ya que es la fase final de su manipulación, de un modo ambientalmente seguro, permanente y sanitario. Dicha disposición debe ser llevada a cabo en ambientes idóneos, en otras palabras, en espacios con el debido equipamiento.

Cabe señalar que el Perú cuenta en la actualidad con 9 rellenos sanitarios los cuales no son suficientes para la gran demanda de rellenos sanitarios que se necesita en los 24 departamentos. Esta problemática no fue percibida inicialmente por las Gerencias de cada Municipalidad encargados de gestionar íntegramente los desechos sólidos municipales, en donde el manejo inadecuado de ellos es la fuente de diversas problemáticas medioambientales que arriesgan el bienestar de los individuos. Esto sucede debido a que la aparición de agentes u olores contaminadores y su efecto sobre la naturaleza se solucionaban a través de la colocación de desechos en zonas alejadas de la población o se arrojaban a las aguas, principalmente ríos. Otros componentes que ayudaban a poner en marcha esta “solución” eran las dimensiones de los pueblos y la producción reducida de desechos, los cuales estaban conformados por una proporción pequeña de materias inorgánicas y lo demás era orgánico (15).

En la actualidad se conoce que la colocación inadecuada de residuos municipales en vertederos es la fuente de efectos negativos en la salud de los individuos y en la naturaleza. Las circunstancias determinantes de la intensidad y forma de los efectos se relacionan con el tipo de desecho encontrado en mayor proporción, con los vertederos, el espacio entre este y los centros poblados, las particularidades y distancia de las aguas de la superficie posiblemente afectadas y el nivel de profundidad de las capas freáticas (15).

2.2.3. Lixiviado de residuos sólidos.

Es el efluente filtrado mediante los desechos sólidos, se encuentra junto a elementos suspendidos o disueltos. Un lixiviado está compuesto por la sustancia líquida que ingresa al hoyo de orígenes externos como la lluvia y el drenaje de la superficie. Un lixiviado alberga dentro de su composición diferentes elementos que derivan de la solubilización, de los materiales que sufren efectos bioquímicos y químicos producidos al interior del basurero. Además, son considerados como efluentes de líquidos residuales, caracterizados por sus altos niveles de materias orgánicas, inorgánicas y solubles (12).

a. Formación de lixiviados

Se forman cuando los líquidos provenientes de escorrentías y lluvia, se mueve en medio de los desechos sólidos almacenados y compactados dentro de un vertedero o relleno sanitario, dando paso a una sustancia oscura, con grandes cantidades de material orgánico, componentes contaminadores y de hedor desagradable; estos junto a la degradación anaerobia y aerobia de los materiales de origen orgánico, trae consigo partículas y sustancias que de por si se encontraban en los residuos, entonces al fluir de forma vertical, de no ser colocados en una superficie impermeable, pueden penetrar el subsuelo y afectar negativamente a los recursos hídricos subterráneos (10).

b. Caracterización de los lixiviados

Todo lixiviado procedente de los botaderos son efluentes complejos, su composición depende de muchos parámetros dentro de los cuales podemos señalar el tipo de residuo, de las condiciones climáticas en el que se encuentre ubicado el botadero, del modo de operación y de la edad del botadero. Usualmente un lixiviado es anóxico, lleno de ácidos de origen orgánico, iones sulfatados, de alta acidez y gran cantidad de iones de carácter metálico, principalmente de hierro. Por su composición los lixiviados tienden a (10):

- Desarrollar costras en las superficies en las que se encuentren almacenados
- Generar espumas
- Generar olores fuertes
- Incrementar o disminuir la concentración y cantidad del lixiviado.

c. Clasificación de los lixiviados

Es posible categorizarlos de diversos modos, para esto ciertos autores consideran la clase de desecho y cuán peligrosos pueden ser, los demás el periodo de operación del botadero, esta última consideración es la más útil puesto que el enfoque es entender si se trata de lixiviados cuya permanencia se antigua o media. Autores como Tchobanogous G, los categorizan según su estado de biodegradabilidad, pudiendo ser (10):

- Lixiviados Maduros (DBO/DQO 0.1 – 0.3)

- Lixiviados biodegradables (DBO/DQO > 0.3)
 - Lixiviados Estabilizados (DBO/DQO < 0.1)
- d. Generación y factores que intervienen en la producción de lixiviados

Cabe recordar que un lixiviado es una sustancia líquida generada por la abundancia de aguas entre los desechos sólidos y debido a la presencia de lluvias en medio de los lechos de desechos en plena descomposición. La generación de lixiviados en un botadero está en función de los factores mencionados a continuación (10):

- Escorrentía superficial
- Lluvias en el entorno del botadero
- Evapotranspiración
- Nivel de compactación
- Humedad natural de los residuos sólidos
- Capacidad de campo (capacidad para retener humedad de los desechos sólidos y del suelo).

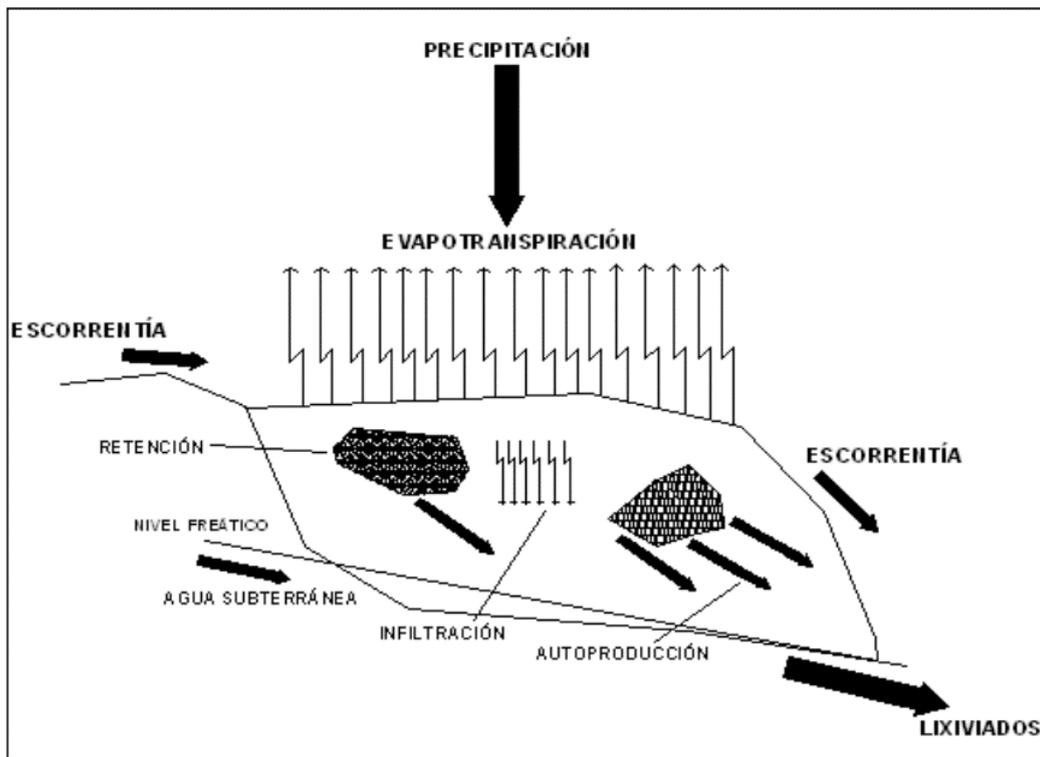


Figura 1. Generación de lixiviados. Tomado de (9).

- e. Composición de los lixiviados
- Están conformados por corrientes acuosas que llevan solutos

emulsionados o suspendidos procedentes de los desechos sólidos y que recorren dichos desechos (9). Los componentes se observan de mejor manera en la tabla 1.

Tabla 1. *Datos típicos sobre la composición del lixiviado de rellenos nuevos y maduros.*

Componente	Relleno nuevo (≤ 2 años)		Relleno Maduro (≥ 10 años)
DBO 5	2000 - 30000	10000	100 - 200
Carbono Orgánico Total (COT)	1500 - 20000	6000	80 - 160
DQO	3000 - 60000	18000	100 - 500
STS	200 - 2000	500	100 - 400
Nitrógeno Orgánico	10 - 800	200	80 - 120
Nitrógeno Amoniac	10 - 800	200	20 - 40
Nitrato	5 - 40	25	5 - 10
Nitrato Fósforo Total	5 - 100	30	5 - 10
Fósforo en ortofosfato	4 - 80	20	4 - 8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000 - 10000	3000	200 - 100
Potencial Hidrógeno	4.5 - 7.5	6	6.6 - 7.5
Dureza			
Dureza total como CaCO ₃	300 - 10000	3500	200 - 500
4,5			
Calcio	200 - 3000	1000	100 - 400
Magnesio	50 - 1500	250	50 - 200
Potasio	200 - 1000	300	50 - 400
Sodio	200 - 2500	500	100 - 200
Cloruro	200 - 3000	500	100 - 400
Sulfato	50 - 1000	300	20 - 50
Hierro total	50 - 1200	60	20 - 200

Nota: tomado de (9). Todas las unidades están en miligramos por litro, excepto el pH.

2.2.4. Coagulación

Proceso por el cual se desestabiliza químicamente toda partícula coloidal generada al momento de neutralizar las energías que impiden su unión, a través de la incorporación de elementos coagulantes de índole químico y de fuerzas para la combinación.

El proceso de coagulación constituye el método más empleado dentro

de plantas donde se trata las sustancias acuosas caseras porque elimina grandes proporciones de materiales de diferente origen a un bajo costo, a comparación de otras técnicas (4).

Al realizar los procesos de coagulación si no se toman en cuenta los parámetros óptimos bajos los cuales se deberían de realizar, puede ocasionar la acelerada degradación de las aguas y representar gastos en su operación. En tal sentido, se puede afirmar que la cantidad de elemento coagulante a usar compromete el uso de los mecanismos decantadores y resulta imposible llevar a cabo la clarificación, de no ajustar correctamente la dosis del elemento coagulante (4).

La figura 2 enseña la forma en la que los compuestos químicos eliminan la carga eléctrica existente encima de las partículas de índole coloidal, dando paso a la formación de flóculos por la aglomeración de dichas partículas (4).

Tal proceso es usado con fines de:

- f.** Remoción de la carga inorgánica u orgánica que no es fácilmente sedimentable.
- g.** Remoción de la coloración aparente y verdadera.
- h.** Remoción de organismos patógenos, bacterias y virus.
- i.** Eliminación de plancton y algas en general.
- j.** Remoción de sustancias que producen olor y sabor.

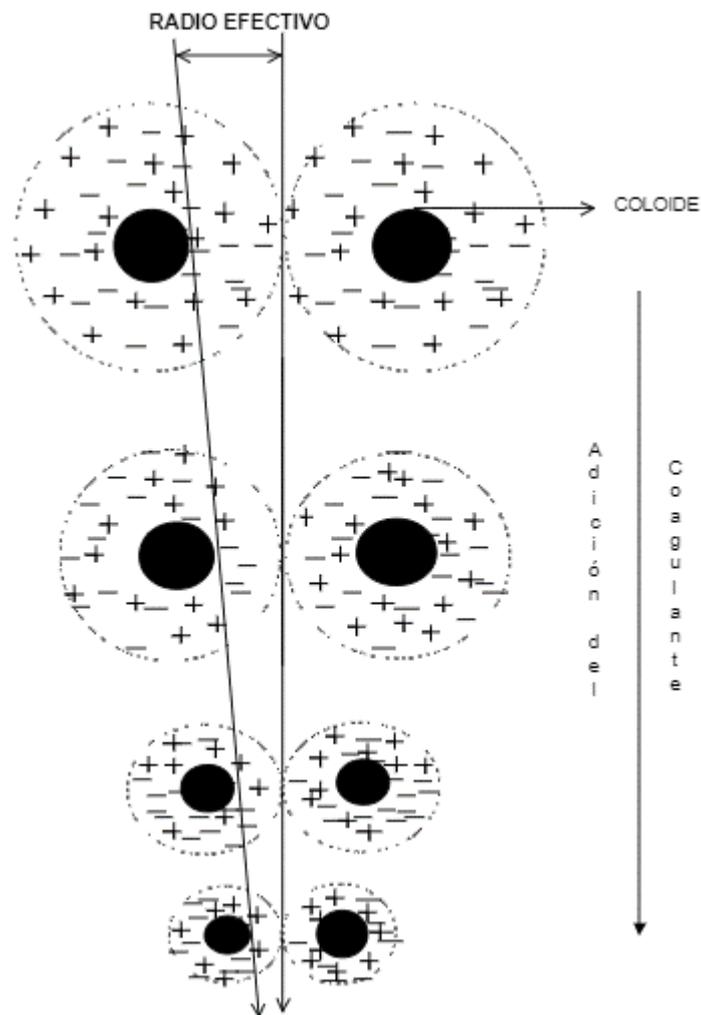


Figura 2. Coagulación. Tomado de (4).

2.2.5. Desestabilización de partículas

Las partículas de índole coloidal están cargadas de electricidad por naturaleza, dicha carga cambia conforme al tipo de componente coloidal, pudiendo tener signo negativo o positivo. Si un coloide tiende a ser estable esto sucede debido a su carga. Aquellos que presentan el mismo signo se alejan e impiden la formación de aglomerados. Es por su enorme superficie que un coloide tiene gran capacidad absorbente. Su absorción es selectiva cuando absorbe las partículas conforme a la carga que llevan, además constituye el fundamento para estabilizar cierta disposición de coloides. Estas partículas cuentan con mucha

carga de superficie, que se adquiere a través procedimientos ionizadores procedentes de diferentes conjuntos absorbentes o funcionales de los demás iones que se encuentran en medio de la dispersión. La excesiva carga de la superficie altera la colocación de los iones alrededor, es por ellos que aquellos iones que posean signo contrario tienden a ascender a la parte superficial y los de signo igual no se atraen. Gracias a esta actividad termodinámica, se logra distribuir la carga en las partículas, las cuales adoptan una capa eléctrica doble tal como se muestra en la siguiente figura (12).

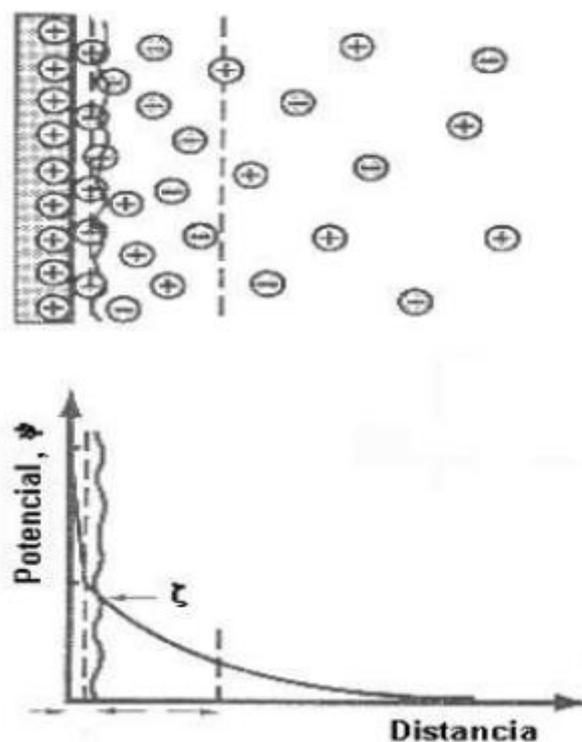


Figura 3. Doble capa eléctrica. Tomado de (12).

La capa doble es denominada de esa manera ya que se compone de un par de regiones cuyas particularidades se pueden diferenciar de forma clara: la primera capa es llamada rígida, se encuentra a poca distancia de la superficie, esta cuenta con iones fuertemente enlazados y es algo espesa; la otra capa se llama difusa, sus efectos termodinámicos coadyuvan al desplazamiento iónico y comprende el entorno iónico. La potencia eléctrica de la superficie entre estas capas, se determina por las particularidades de cada ion absorbido en segunda capa, la potencia eléctrica baja exponencialmente bajo una distancia r . Esto puede

representarse con la ecuación que sigue (12).

$$\varphi(r) = \varphi_0^{(-kr)}$$

La segunda capa tiene la facultad de contraerse cuando incrementa la cantidad de electrolitos, bajando la estabilidad de una partícula de índole coloidal debido a la posibilidad de colocación, facilitando el uso de procedimientos de coagulación, floculación y sedimentación. La materia coloidal alcanza la coagulación si la capa doble llega a contraerse en dimensiones críticas, de esta manera la atracción predomina en lugar de la repulsión que pueda sufrir cada partícula coloidal. Las partículas pueden ser desestabilizadas a partir de 3 métodos (12):

- a. Neutralización y adsorción de la carga.
- b. Alteración de la cantidad de iones determinantes del potencial.
- c. Contracción de la capa doble debido a la inclusión de electrolitos.

2.2.6. Teoría de la coagulación

Ciertas partículas generadoras de turbiedad y coloración de las sustancias acuosas de la naturaleza, están constituidas por cargas eléctricas. Dichas cargas crean energías repelentes entre sí mismas, debido a que están separadas y suspendidas dentro del agua. Motivo por el cual las partículas se mantienen lejos del fondo. El grupo conformado por toda partícula es lo denominado sistema coloidal, conformado por una capa doble hecha de múltiples iones, que se somete al potencial Z en la parte inferior del lecho doble. Para la coagulación se requiere aminorar este potencial mediante alguna de las siguientes técnicas:

- a. Coagulación por disminución del espesor de la doble capa.
- b. Coagulación por neutralización de la carga.

El proceso de desestabilización se logra a través de una serie de reacciones químicas bastante complejas. Entre las diferentes reacciones están las efectuadas con la alcalinidad, disminuyendo su concentración. Asimismo, ciertas reacciones pueden producir dióxido de carbono, lo que incrementa la acidez y disminuye el pH en el agua (4).

2.2.7. Coagulantes

Se trata de compuestos químicos que cuando se vierten en el agua pueden provocar reacciones químicas junto a los elementos químicos que se encuentren en el agua, en especial junto al componente alcalino que posee el agua con el objetivo de conformar precipitados voluminosos, de gran capacidad de absorción, usualmente se forma gracias al hidróxido metálico procedente del elemento de coagulación utilizado. En la desestabilización de partículas y producción de floculante, se utiliza mayormente los siguientes coagulantes (4):

- a) Sulfato de Aluminio.
- a) Cloruro de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- b) Cloruro Férrico.
- c) Sulfato Ferroso.
- d) Sulfato Férrico.
- e) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

Las sales aluminosas y ferrosas son aquellas usadas con mayor frecuencia; cuando se vierten en el agua se genera un conjunto de reacciones intrincadas en las cuales los materiales de hidrólisis presentan más eficacia que los iones; dichas sales entran en acción junto a la alcalinidad propia de la sustancia acuosa y generan hidróxidos ferrosos y aluminosos (4).

2.2.8. Floculación

Este proceso resulta de los procedimientos coagulantes, en aquí se agitan los cuerpos coagulados útiles en la aglomeración y crecimiento de flóculos creados a fin de incrementar el peso y tamaño requerido para posteriormente sedimentarse fácilmente, los mencionados flóculos al inicio tienen pequeñas dimensiones, cuando se enlazan aumenta su tamaño para sedimentarse (9).

El procedimiento de floculación se relaciona íntimamente con las actividades de traslado de partículas en el agua para lograr su contacto. Involucra la generación de ductos químicos entre las partículas para formar mallas de coágulos, con características porosas y

tridimensionales. De esta manera se va constituyendo, a través del desarrollo de partículas previamente coaguladas, aquellos flóculos que alcanzaron el peso y tamaño suficiente ya pueden ser sedimentados. Por un lado, la coagulación se da por reacciones químicas y por el otro, el procedimiento de floculación surge a raíz del traslado de partículas ya sin estabilidad al interior de la sustancia acuosa. Este proceso cuenta con 2 propósitos (9):

- a) Asociar cada coloide desestabilizado a fin de formar grupos de flóculos o partículas cuyo peso sea mayor al del líquido.
- b) Concentrar los flóculos con la finalidad de quitarle agua y alcanzar adecuada consistencia y peso para removerlos fácilmente.

La siguiente figura expone el proceso de floculación, el elemento de floculación forma un enlace entre aquellas partículas que están juntas, para ir formando masas floculadas de gran tamaño y de esta manera ser sedimentables (9).

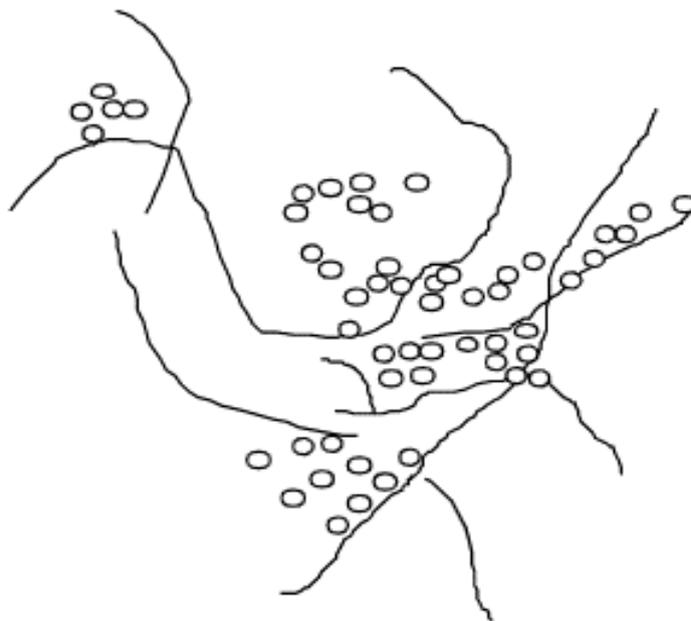


Figura 4. Aglomeración de partículas coloidales empleando floculante. Tomado de (9).

2.2.9. Factores que influyen en la coagulación

Entre ellos tenemos a la temperatura, la agitación que pueda sufrir el agua, duración de la retención y el nivel de pH (4).

a. Influencia del pH del agua.

El pH varía de acuerdo a la clase de elemento coagulante usado y del origen del líquido que se desea tratar; de llevar a cabo una coagulación sin el pH adecuado, la cantidad de coagulante debe incrementar; en tal sentido, se requiere una gran cantidad de este elemento.

Cuando se emplean sales aluminosas, el pH adecuado oscila entre los 6.5 y 8 (4).

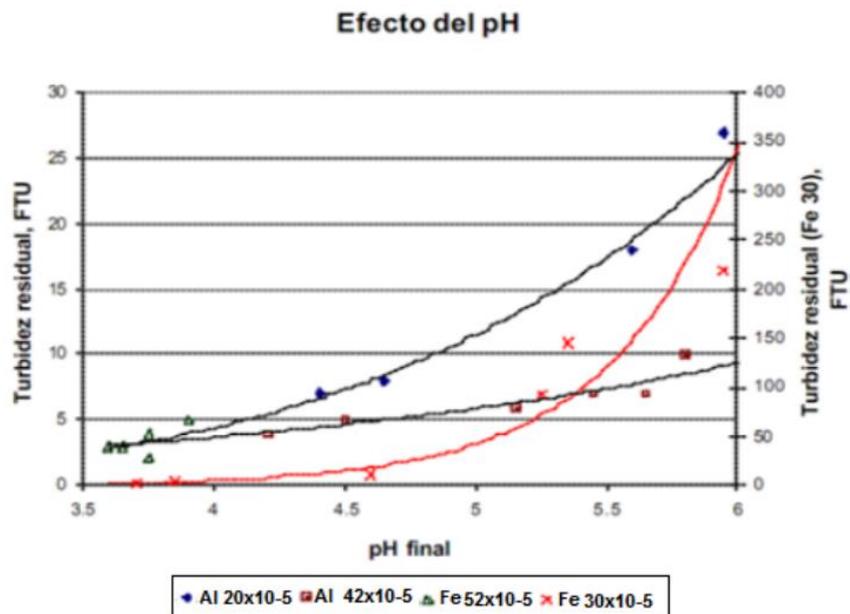


Figura 5. Influencia del pH en el coagulante. Tomado de (4).

Cuando el agua aporta mayor acidez, el proceso de coagulación se realiza de la mejor manera posible.

Tabla 2. Características de algunos reactivos coagulantes.

Coagulante	Dosis (mg/L)	pH optimo	Aplicaciones
Cal	150 - 500	9 - 11	Eliminación de coloides (1)
Al ₂ (SO ₄) ₃	75 – 250	4.5 – 7	Eliminación de coloides (1)
FeCl ₃	35 – 150	4 - 7	Eliminación de coloides (2)
FeCl ₂	70 - 200	4 - 7	
Polímero catiónico	2 - 5		Eliminación de coloides (3)
Polímero aniónico y no iónico		0.25- 1	Ayudante de floculación y sedimentación
<p>Nota: tomado de (4). (1) Eliminación de coloides y de fosforo. Agua de baja alcalinidad y alta concentración de fosforo. (2) Eliminación de coloides y de fosforo. Agua de baja alcalinidad y alta concentración de fosforo. (3) Eliminación de coloides. Ayudante con coloides metálicos.</p>			

2.2.10. Proceso de coagulación floculación

Dentro de su estructura, un lixiviado contiene materias suspendidas, estas pueden sedimentarse al encontrarse sin movimiento o son materias dispersas que se sedimentan con dificultad, al igual que las partículas coloidales. Estas partículas poseen estabilidad gracias a cargas con el mismo signo encima de ellas lo que provoca la repulsión de un par de partículas contiguas, tal como la repelencia entre un par de polos opuestos, ello no deja que las partículas colisionan para aglutinarse, llamados materias floculadas. Lo que impide la sedimentación de partículas. El procedimiento de coagulación – floculación, es de naturaleza química, en ello las partículas con menores dimensiones son desestabilizadas y juntadas para incentivar el rápido decantamiento (9).

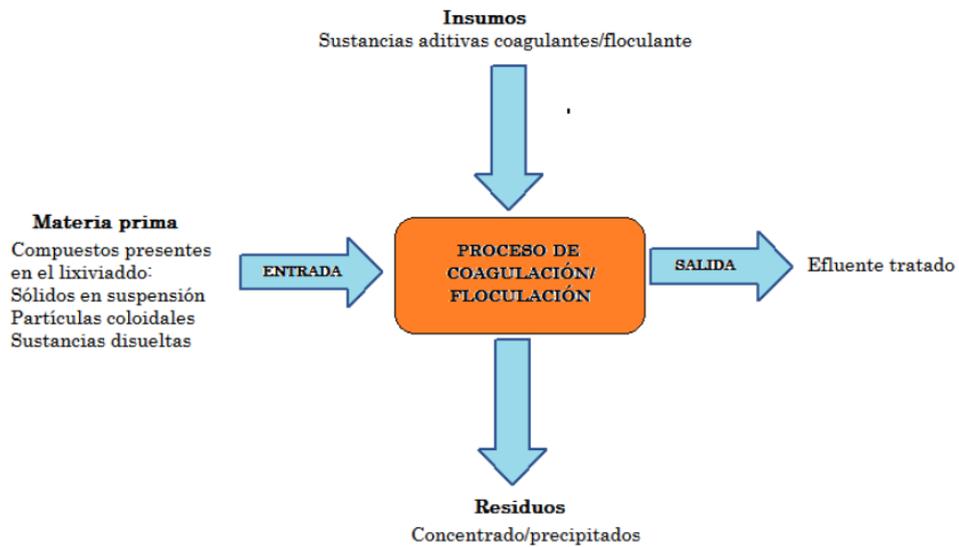


Figura 6. Esquema del proceso de Coagulación y Floculación. Tomado de (9).

2.2.11. Oxígeno disuelto

Es el oxígeno presente en medio del agua en condiciones de equilibrio con el oxígeno del aire del medio ambiente.

En desechos líquidos, el OD es aquel aspecto que detecta si las alteraciones biológicas fueron obra de organismos aeróbicos o anaeróbicos.

Los aeróbicos necesitan O_2 libre y generan materiales inocuos y terminados, mientras que los últimos (anaeróbicos) dan paso a materiales finales que comúnmente contienen sustancias de origen orgánico en gran proporción sin previa estabilización.

El OD es fundamental cuando se desea un ambiente aeróbico en sustancias acuosas naturales que son objeto de tratamientos aeróbicos y albergan materias polucionadas para tratar residuos procedentes de industrias y de desagües.

Sin embargo, el oxígeno es un componente fundamental en la corrosión del hierro, específicamente para contenedores de vapor y sistemas de distribución de aguas. Los test de OD sirven como medio de supervisión (16)

2.2.11.1. Recolección de Muestras

- Antes de tomar la muestra del agua se debe tomar la temperatura.

- Cada muestra se vierte en un envase cuya abertura sea estrecha, con un tapón amolado que tenga cabida para 250 o 300 mililitros, siendo importante ser cuidadosos a fin de no caer en el arrastre o la disolución del O₂ atmosférico.
- En el muestreo de líneas de presión, se fija en el grifo una manguera de caucho o jebe, que alcance la zona más profunda del envase y permita el derrame 2 o 3 veces su volumen.
Retirar el tubo de caucho y tapar rápidamente el frasco toma muestra.
- Existen aparatos para obtener muestras de líquido para la determinación de OD, tanto en corriente como en embalses y en tanques de profundidad moderada (16).

2.2.11.1.1. Preservación de las Muestras

La preservación de las muestras, por períodos de 4 a 8 horas puede verificarse agregando al frasco 0.7 mL de H₂SO₄ concentrado junto a un miligramo de nitrato de sodio al 2% (2 gramos de NaN₃ en 100mL de agua destilada); con este tratamiento se detiene la actividad biológica y se conserva el O₂, si el frasco se almacena a la temperatura muestreo o bien con sello hidráulico a una temperatura de 10°C a 20°C (16).

2.2.11.2. Selección del método

La selección del procedimiento analítico que deba aplicarse esta en función del origen de la muestra y sus interferencias (16):

- 1) El Método original de Winkler, únicamente debe emplearse para aguas con cierto grado de pureza, las cuales cuentan con índices menores a 0.1 ppm de nitrógeno en forma de nitritos y menor de 0.5 ppm de material ferroso.
- 2) La Modificación de Alsterberg (para Nitrato de Sodio) es usado en aguas negras, efluentes y corrientes, en especial si contiene más de 0.1 mg/litro de N de Nitrito y no más de 1 ppm de Fe ferroso. No debe haber otros agentes reductores
- 3) La Modificación de Rideal Stewart (para permanganato), debe usarse únicamente en material ferrosas

2.2.11.3. Método winkler o yodométrico

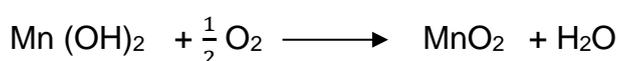
Fundamento

Las reacciones base de la determinación envueltas en el método de Winkler son las siguientes (16):

a) El MnSO_4 que se agrega a la muestra de agua forma un precipitado blanco de:



b) Luego se agrega el Ioduro álcali ($\text{NaOH} + \text{KI}$) que intensifica la reacción y se produce la oxidación del manganeso de la siguiente manera:



El Mn^{2+} convertido mediante oxidación en MnO_2 en ciertas ocasiones denominada fijación del Oxígeno, sucede de forma lenta, en especial en temperaturas bajas. Una agitación de la muestra por lo menos de 30 segundos es necesaria. Al tratar con agua del océano o ricas en sal es necesario mayor duración del contacto.

Después de sacudir la muestra en una cantidad de tiempo prudente a fin de permitir que la totalidad del oxígeno reaccione, luego se añade ácido sulfúrico que permite la oxidación del manganeso la cual ocurre en un medio fuertemente ácido.



Como se puede observar el Iodo libre desprendido es equivalente al oxígeno fijado en la reacción anterior.

La muestra debe ser tapada y agitada vigorosamente por lo menos diez segundos con el fin de conseguir la reacción completa y distribuir el yodo uniformemente a lo largo de la muestra.

Finalmente, la muestra está lista para titular el I_2 desprendiendo con tiosulfato de sodio 0.025N utilizando indicador de almidón (16).

Interferencias

Nitritos, hierro férrico y ferroso, materia orgánica, sulfuros, sulfitos, hipocloritos, sólidos suspendidos y otras sustancias oxidantes o reductoras. Para todas estas interferencias existen modificaciones del método winkler (16).

Reactivos:**Solución de sulfato manganoso.**

- Pesar 480 g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ o 400 g $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o 360 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Disolver a 1000 mL.

Solución álcali-yoduro-nitruro

- Pesar 500 g de NaOH, disolver en 600mL de agua.
- Pesar 150 g de KI, diluir en 150 mililitros de agua.
- Pesar 10 g de Nitruro de sodio y diluir en 150 mililitros de agua.
- Combinar los 3 compuestos con agitación constante y transferir a una probeta de 1000mL.
- Guardar en un frasco oscuro.

Solución de tiosulfato 0.0375 N

- Pesar 9.37 g de tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ grado reactivo.
- Disolver y aforar a un litro.
- Para preservar se adiciona 0.4 g de NaOH.

 H_2SO_4 CONCENTRADO**Solución indicadora de almidón****Procedimiento: pág. 58 OMS - seda**

- Se emplea un frasco de boca angosta de tapón de cristal de 250 mL.
- Se toma la muestra completamente llena.
- Se quita el tapón del frasco y con una pipeta graduada se agrega 2 mL de sulfato manganoso, se agita invirtiendo el recipiente.
- Se agrega del mismo modo 2 mL de solución álcali-ioduronitruro, se vuelve a agitar.
- Mezclar convenientemente invirtiendo el recipiente.
- Se quita el tapón y se agrega H_2SO_4 concentrado hasta la disolución completa.
- Transferir un volumen determinado y titular con Tiosulfato de sodio utilizando indicador de almidón (16).

Estandarización de Na₂S₂O₃.5H₂O

Se estandariza con yodato de potasio KIO₃ 0.1 N.

Pesar 3.567 g de Na₂S₂O₃.5H₂O, disolver con agua destilada y aforar a 1 litro.

A 25 mililitros de este compuesto añadir un exceso de KI (1 g de la sal sólida o 10 mililitros de un compuesto al 10%)

Luego agregar 3 mililitros de H₂SO₄ 2 N: El yodo liberado se titula con el compuesto de Na₂S₂O₃.5H₂O acompañado de movimiento continuo, utilizando una mezcla de almidón (16).

$$V_1N_1 = V_2N_2$$

Cálculos:

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

Donde:

V_g= volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂O)

N= normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂O

8=peso equivalente al Oxígeno

1000=miliequivalentes

2.2.12. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Método 5210 A

1. Consideraciones generales

La DBO es la proporción de oxígeno que necesitan las bacterias en la labor de estabilización de los cuerpos orgánicos putrefactos en ambientes adecuados aeróbicamente.

La demanda de Oxígeno de las aguas contaminadas, negras y residuos de origen industrial ocurre por la presencia de 3 tipos de materia:

a) Materiales Nitrogenados oxidables, derivados del nitrógeno, amoníaco y nitrito orgánico útiles como nutrientes para determinadas bacterias como las Nitrobacter y Nitrosomas.

b) Materiales Orgánicos carbonosos, aprovechados como nutrientes por seres aeróbicos.

c) Algunos compuestos químicos de reducción (sulfuro, hierro ferroso

y sulfito) que entran en acción junto al oxígeno molecularmente vertido.

En aguas sedimentadas, domésticas y crudas, gran parte de ellas y para la demanda de oxígeno se usa la segunda clase de material y es determinado a partir del test de DBO.

Aquellos efluentes que sufrieron tratamientos biológicos, se considera que una parte de la demanda de oxígeno es de consumo, a la primera clase de materiales que son sometidas al test de DBO.

2. Principio de la determinación

La prueba consiste en la determinación del OD, antes y después de un período de incubación a 20 °C. El período usual de incubación es de 5 días. Si la muestra presenta una demanda de Oxígeno mayor que la cantidad de Oxígeno disuelto, se hace una dilución.

La cantidad en que se hace la dilución depende de la Demanda de Oxígeno y debe ser de tal manera que una apreciable cantidad de OD (1.5 a 2.0 ppm como mínimo) deben permanecer después del período de incubación.

Para desechos o desagües que tiene un desconocido OD, es necesario hacer un número de diluciones de manera de estar seguros que algunas cumplan con los requerimientos (16).

3. Método de determinación

Método directo

Con muestras en que la DBO a 5 días no exceda de 7 ppm no es necesario diluirla. Muchas aguas de río entran en esta categoría.

El procedimiento usual es llevar la muestra a temperatura de 20°C y airearla previamente para incrementar o decrecer el contenido de gas disuelto de la muestra cerca de saturación. Entonces dos o más botellas de DBO se llenan con la muestra; por lo menos en una se analiza el OD inmediatamente y las otras se incuban por 5 días a 20°C. Después de 5 días se determina la cantidad de OD que permanecen en las muestras incubadas y se calcula el DBO a 5 días por diferencia de los resultados (16).

$$O.D \text{ inicial} - O.D \text{ final} = D.B.O$$

Método de las Diluciones

El método de las diluciones para medir la DBO se basa en el concepto fundamental en que el promedio de la degradación bioquímica sufrida por las materias orgánicas aumenta si la proporción de material existente se incrementa al mismo tiempo y viceversa.

En la prueba de DBO, cualquier factor que influye en la biodegradación de las materias orgánicas debe guardarse bajo control. Los mayores factores de importancia son:

- Libre de sustancias tóxicas.
- Favorable pH y condiciones osmóticas.
- Presencia de suficientes elementos, nutrientes y accesorios.
- La existencia significativa de organismos provenientes del suelo.
- Temperatura estándar (16).
- **El agua de dilución**

Una gran variedad de aguas ha sido usada para el trabajo de DBO.

- Las aguas superficiales naturales parecen ser ideales, pero tienen un número de desventajas; incluyendo variable DBO, población de microorganismos variables y contenido mineral variable.
- Después de larga experiencia, ha sido demostrado que una dilución sintética de agua preparada con agua destilada es la mejor para las pruebas de DBO, debido a que las variables antes mencionadas pueden ser controladas.
- Aguas destiladas usadas para el proceso de preparación de aguas de dilución es de principal importancia. Ella debe ser libre de sustancias tóxicas. Cloro y cloraminas y cobre son los que comúnmente se encuentran.
- El pH del agua de dilución debe estar comprendido entre 6.5 a 8.5 sin afectar la acción de las bacterias saprofitas. Debe estar seguro que la solución sea buffer (no cambie de pH), por medio de la adición de fosfato a aproximadamente pH=7.0. La solución Buffer es esencial para mantener favorables condiciones de pH todo el tiempo.

- Las propias condiciones osmóticas son mantenidas por la adición de fosfatos de sodio y potasio para proveer capacidad buffer. En adición se añaden sales de calcio y magnesio para contribuir al total contenido de sales. Las sales de K, Na, Ca y Mg añadidos dan capacidad buffer y propias condiciones osmóticas que también sirven para dar a los microorganismos estos elementos que son necesarios en su crecimiento y metabolismo.
- El agua de dilución contiene todos los materiales esenciales para la medida del DBO, excepto los microorganismos necesarios. Una gran variedad de materiales ha sido usada para propósitos de "siembra". Experiencias han mostrado que desagües domésticos, particularmente desagües de sistemas combinados, dan una población balanceada de mezcla de organismos como ninguno y usualmente 2 mililitros de desagüe por un litro de aguas de dilución es suficiente.
- El agua de dilución debe ser siempre "sembrada" con desagüe u otros materiales para asegurar una población de organismos en varias diluciones y para proveer una oportunidad para cualquier materia orgánica presente a ser expuesta al mismo tipo de organismos tal como son envueltas en la estabilización del desecho. Esto último es un punto a menudo ignorado y que ha dado altos resultados erróneos en muchos casos.
- Finalmente, el agua de dilución debe ser puesta al aire para llenarla de oxígeno previo a su uso.

2.3. Definición de términos básicos

Abreviaturas:

- OD: Oxígeno Disuelto
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- pH: Potencial de Hidrógeno
- DD/P/D: Desechos domésticos por persona por día
- RSM: residuos domésticos municipales
- DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud
- OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- EVIAVE: Evaluación de Impactos Ambientales de Vertederos
- UNT: Unidad nefelométrica de turbidez
- ST: Sólidos totales
- SDT: Sales disueltas totales
- ppm: Partes por millón
- LMPs: Límites Máximos Permisibles

Términos Usados:

- a. **Aspecto ambiental:** Componente derivado de las actividades económicas que lleva a cabo una entidad (pudiendo ser servicios o productos) y que interactúa o entra en contacto con la naturaleza (17).
- b. **Enfermedades entéricas:** Son aquellas enfermedades originadas por la ingesta de agua o alimentos contaminados con toxinas, bacterias, protozoos, virus y parásitos; la ingesta en cantidad suficiente afecta la salud del consumidor (18).
- c. **Biogás:** Combinación gaseosa que entre sus componentes alberga al dióxido de carbono y al metano, al igual que diferentes suciedades (19).
- d. **Riesgo ambiental:** Es la posibilidad de que se presenten peligros afectando de forma indirecta o directa la diversidad biológica de la naturaleza y a está de por sí, en un lapso de tiempo y espacio específico, pudiendo ser de procedencia antropogénica y natural (17).
- e. **Producción per cápita:** Es el valor de cada servicios y bien final que genera una nación en un periodo anual, si la mencionada producción se reparte, cada individuo recibiría una parte de ello (2).
- f. **Botadero:** Colocación indebida de desechos sólidos en ambientes y vías públicas, zonas baldías, urbanas o rurales, generando peligros medioambientales y salubres (15).
- g. **Adsorbente:** Es aquel componente que tiende a condensarse dentro de una interfase, esta es distinta a las diferentes composiciones que corresponden al centro de toda fase (20).
- h. **Planta piloto:** Es aquella instalación diseñada para realizar experimentos de diferentes procedimientos a fin de poner a prueba el proceso que sea de interés estudiar y controlar (21).
- i. **Surfactante aniónico:** Es aquella sustancia que posee una actividad superficial o interracial, que afecta la fuerza libre Gibbs. En otras palabras, en la actividad realizada a la tensión de la superficie (22).
- j. **Reactivo fenton:** Se define como la reacción en donde se combina el Fe^{2+} (o Fe^{3+}) y el peróxido de hidrógeno, entrando en acción en forma de

catalizadores, a fin de conformar radicales HO• (23).

- k. **Membranas de ósmosis inversa:** Son aquellas membranas que permiten la separación de diferentes partículas de un flujo invertido con una solución osmótica (sales) o mezcla a través de membranas semipermeables (24).
- l. **Escorrentía:** Se define como parte de la lluvia que alimenta los efluentes intermitentes, superficiales o constantes, propias de un cauce (25).
- m. **Biodegradabilidad:** Descomposición anaeróbica o aeróbica de materiales por medio de acciones enzimáticas de ciertos microorganismos como algas, bacterias y hongos dentro de un ambiente normal (26).
- n. **Evapotranspiración:** Proceso usado cuando se desea conocer qué cantidad de agua requieren las plantas para desarrollarse correctamente, en un terreno para el cultivo o algún jardín (27).
- o. **Electrolito:** Sustancia que, al ser disuelta en agua forma iones (28).
- p. **Sedimentación:** Proceso en donde las partículas que pesan más la sustancia acuosa, ubicados en medio de ello, se remueven gracias a la gravedad (29).
- q. **Alícuota:** Se define como la porción adquirida de cierta masa (alícuota de índole sólido) o de cierto volumen (alícuota de índole líquida), para usarla en ensayos en laboratorios o en industrias, ya que sus particularidades químicas y físicas, al igual que su conformación son idénticas a las de la masa principal (30).
- r. **Dilución:** Aminoramiento de los componentes concentrados de una sustancia o microorganismo (30).
- s. **Disolvente:** Elemento determinante del estado de la materia o que es mayor entre la disolución (31).
- t. **Soluto:** Es el componente presente en menos cantidad en una solución (32).
- u. **Solución:** Sistema fraccionable, homogéneo; que está conformado por mínimamente 2 sustancias pura miscibles (32).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Metodología general de investigación

El presente estudio está estructurado de acuerdo con el método hipotético deductivo, bajo este método se emite una hipótesis sobre las respuestas probables a la problemática planteada y en verificar con ayuda de la información disponible si concuerdan con estas. Si la problemática está cerca al método observacional, siendo la situación más sencilla, se denominan empíricas a las hipótesis, por otro lado, en situaciones intrincadas, se denominan abstractas (33).

3.1.2. Método específico

Este trabajo de investigación usa la experimentación, dado que fue planteada una hipótesis, que mediante el proceso de coagulación/floculación si se logró disminuir la DBO del lixiviado proveniente del botadero de Haqaira, para poder corroborar dicha hipótesis se tendrá que someter a la experimentación las variables propuestas y de esta manera, comprobar la hipótesis (34).

3.1.3. Tipo de investigación

El estudio es tecnológico. Este tipo de estudio da respuesta a problemáticas técnicas, se enfoca en probar la validez de las técnicas que utilizan lineamientos científicos que prueban su nivel de eficacia en la transformación o modificación de un fenómeno o hecho. Un estudio tecnológico utiliza la información teórica – científica que surge de investigación sustantivas o básicas y pone en orden normas técnicas que al aplicarlas altera la realidad (34).

3.1.4. Nivel

La investigación está encaminada en un nivel de comprobación de hipótesis o explicativo, estas investigaciones se enfocan en explicar científicamente el fenómeno y predecirlo. Se necesita planear de forma explicativa la hipótesis para explicar de la mejor forma la aparición de un hecho específico; dicha hipótesis no es expuesta en forma explicativa dentro de investigaciones descriptivas (34).

3.1.5. Alcance

La investigación fue desarrollada en el botadero de Haqira, situado al lado sur oeste de la urbe de Cusco.

3.2. Diseño de la investigación

Este trabajo de investigación corresponde al diseño de preprueba/posprueba en un conjunto solamente, en donde a dicho conjunto se le aplica la pre prueba al tratamiento o estímulo del experimento, luego se usa un tratamiento y por último se aplica la posprueba. Dicho diseño se diagramaría así (35):

$$GE: O1 \rightarrow X2 \rightarrow O2$$

En donde:

GE es la Muestra de Investigación

O1 y O2 son las Mediciones antes y después del experimento respectivamente

X2 es la Aplicación del Estímulo o Tratamiento experimental.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Una población es el grupo de casos que tienen diversas particularidades en común (35).

Para este estudio la población estará comprendida por todos los botaderos que se encuentran en la región del Cusco.

3.3.2. Muestra

Se utilizó el muestreo intencional, criteriado o intencionado. Este busca la representatividad de una población, lo cual se logra con una intención u opinión específica que aquel que elige las muestra y el análisis de esta representación es netamente subjetiva (34). En tal sentido, la muestra será el botadero de Haqira.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Ubicación de la zona de trabajo

a) Ubicación política

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Distrito: Santiago

Localidad: Comunidad campesina de Haqira

a) Localización

El vertedero de Haqira se ubica en la comunidad del mismo nombre, en la cabecera de la pequeña cuenca del río conocido como Huatanay, una distancia de 7.5 kilómetros en dirección sur – oeste de la urbe de Cusco, a una distancia de 3 kilómetros de centros poblados urbanos (7).

- Coordenadas UTM WGS 18 zona 18L y 19L
- Coordenada X: 8 499 938 m, 8 500 500 m E
- Coordenada Y: 823 000 m, 823 300 m N Altitud: 3910 m
- 3930 m.

Coordenadas UTM:

- Este: 464867
- Norte: 8681164
- Altitud: 3210.



Figura 7. Ubicación espacial del botadero de Haquira. Tomado de (36).

3.4.2. Equipos y materiales utilizados

Materiales de campo

- Implementos de bioseguridad: botas, mascarillas, barbijo, gorra guantes, mamelucos, gafas
- Plumón indeleble, cinta embaladora, lapiceros y lápices
- Cuaderno de campo
- Cooler refrigerado
- Envases de plástico con capacidad de 2000 mL
- Cámara fotográfica

Equipos utilizados para la prueba de floculación

- Test de jarras
- Potenciómetro pH
- Balanza analítica marca KINNLEE
- Horno eléctrico MAGEFESA
- Laptop

Materiales de laboratorio

- Vaso precipitado 100ml
- Envases de plásticos descartables de 1000 ml

- Probetas de 10 ml, 25ml, 100 ml
- Pera de succión
- Mortero
- Jeringas de 10 ml
- matraz volumétrico de 1000, 250, 100 ml
- Pipetas de 10, 20 ml
- Tubos de ensayo

Insumos y reactivos

- **Reactivo coagulante**
- Cloruro férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- **Reactivo para Regular el pH**
- Hidróxido de Sodio 1 M

Reactivos para la determinación de Oxígeno Disuelto

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Nitruro de sodio al 2% (NaN_3)
- Sulfato de manganeso (MnSO_4)
- Ioduro alcali ($\text{NaOH} + \text{KI}$)
- Tiosulfato de sodio 0.025N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
- Indicador de almidón
- Agua destilada

Reactivos ácidos (para Regular el pH)

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

Indicador de Rojo de fenol

Tabla 3. *Volumen de muestra de lixiviado para analizar parámetros.*

PARÁMETRO	TIPO DE ENVASE	TAMAÑO MÍNIMO DE MUESTRA	PRESERVANTE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Plástico	100 ml	No requiere.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Plástico	100 ml	2.5mL de Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄).
Sólidos totales en Suspensión	Plástico	1 litro	No requiere.
Aceite y grasas	Vidrio ámbar	250 ml	Se le adicionara H ₂ SO ₄ concentrado hasta pH < 2, con el fin de romper las emulsiones e hidrolizar los jabones y detergentes.
pH	Plástico	100 ml	No requiere
Temperatura	Plástico	100 ml	No requiere

Nota: Laboratorio QUIMICALAB.

3.1.1. Métodos de referencia.

Tabla 4. *Métodos de referencia de toma de muestra y análisis de laboratorio.*

PARAMETRO	CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS	MÉTODO DE ENSAYO EN LABORATORIO MC QUIMICALAB.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Muestras tomadas en un envase de plástico sin burbuja	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 5210 B. 2012; 22nd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD): Test.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Muestras tomadas en envase de plástico, se preserva con 0,5 ml de Ácido Sulfúrico, hasta llegar a un pH menor a 2.	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 5220 B. 2012; 22nd Ed. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos totales en Suspensión	Muestras tomadas en envase de plástico, no se preserva, pero antes de su análisis debe ser homogenizada la muestra.	SMEWW – APHA – AWWA – WEF Part 2540-D. 2012; 22nd Solids: Total Suspended Solids dried ad 103-105°C
Aceite y grasas	Muestras tomadas en un envase de vidrio ámbar, preservado con 2,5 ml de Ácido Sulfúrico, hasta llegar a un pH menor a 2.	ASTM D3921 – 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water
pH	Este parámetro es medido de forma directa con un pHmetro, previamente el equipo fue enjuagado y limpiado con agua destilada. También se usó el indicador de rojo fenol.	El pH se determinó por medio de un pHmetro marca: HANNA.
Temperatura	Este parámetro es medido de forma directa con un termómetro digital	Se uso el termómetro digital de la marca HANNA.

Nota: Procedimiento de muestreo y Métodos del laboratorio QUIMICALAB.

3.1.2. Caracterización del lixiviado proveniente del botadero de residuos sólidos urbanos de Haqira de la ciudad del Cusco.

Los lixiviados empleados en este trabajo de investigación son provenientes del vertedero de “Haqira” de la provincia de Cusco. Este lixiviado es caracterizado debido a su intensa coloración marrón – negra y su alta carga orgánica (que se expresa por el vínculo de DBO y DQO).

La caracterización de este lixiviado se llevó a cabo considerando diferentes parámetros que se indican en los Límites Máximos Permisibles que establece el decreto supremo No. 003-2010-MINAM. Dichos valores de referencia son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR.

Parámetros	Unidad	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150 mg/L
Temperatura	C°	<35

Nota: Tomado de (37).

3.1.3. Procedimiento

La investigación inició luego de pedir los permisos que corresponden a la Gerencia de Medio Ambiente de la Municipalidad Provincial de Cusco. Donde se detalló el cronograma de actividades que se desarrollaron, ver anexo N°2. La investigación tomó en cuenta las siguientes etapas para su desarrollo:

Inspección Inicial

En esta fase, se realizó una visita al botadero de Haqira, con la guía de los trabajadores técnicos encargados como se puede observar en el tercer Anexo. En este tiempo se dio a conocer el proceso de recolección de lixiviados para complementar la información a esta investigación.

Muestreo de Línea Base

- a. Se realizó la coordinación y preparación de los instrumentales de laboratorio, que se utilizarían para llevar a cabo el muestreo de los lixiviados.
- b. Se informó a los trabajadores a cargo del botadero del Haqira, sobre las actividades que se desarrollarían, asimismo se consiguieron los permisos que corresponden, para la recolección de muestras.
- c. Muestreo: Después de conseguir los permisos, nos ubicamos en la etapa de toma de muestras, como se muestra en el anexo.
- d. Acondicionamiento y transporte: Seguidamente se procedió al rotulado, cada muestra fue ingresada a la caja fría, como indica el procedimiento en la cadena de custodia, para posteriormente ser enviada al laboratorio MC QUIMICALAB.
- e. Análisis: Después de ingresar las muestras dentro del

laboratorio, se llevaron a cabo diversos estudios como: pH, Grasa y Aceite, DQO, DBO, Total de Sólidos Suspendidos, temperatura; al conseguir todo resultado se comenzó a desarrollar la parte experimental con el agente coagulante en el laboratorio.

3.4.6. Plan de trabajo en el laboratorio

- a) Primeramente, se procedió a preparar el FeCl_3 a partir de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, efectuando los siguientes cálculos:

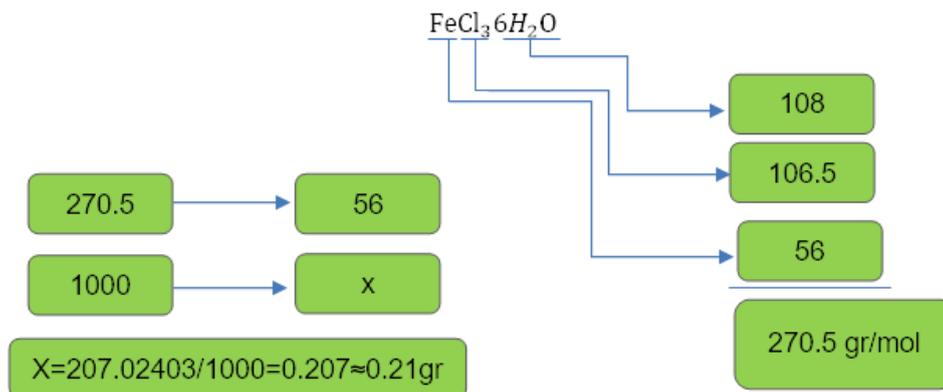


Figura 8. Cálculos Estequiométricos.

En donde se pesó 0.21 gr $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para después ser diluida en 1000ml de agua destilada representando en concentración 1000 ppm de FeCl_3 y dicha concentración ir separándose en las concentraciones que irán desde los 100 ppm hasta los 800 ppm, estos cálculos son detallados en la siguiente tabla 6.

Tabla 6. Cálculo de concentraciones de $FeCl_3$.

Fórmula: $V_1 * C_1 = V_2 * C_2$		
Donde:		
V_1 = Volumen de la muestra diluida (ml)		
C_1 = Concentración (ppm)		
V_2 = Volumen del agente coagulante $FeCl_3$ (ml)		
C_2 = Concentración (ppm)		
Concentración (C_1) ppm	DESCRIPCIÓN	Volumen del $FeCl_3$ (ml)
100	$25 * 100 = V_1 * 1000$	2.5
200	$25 * 200 = V_2 * 1000$	5
300	$25 * 300 = V_3 * 1000$	7
400	$25 * 400 = V_4 * 1000$	10
500	$25 * 500 = V_5 * 1000$	12.5
600	$25 * 600 = V_6 * 1000$	15
700	$25 * 700 = V_7 * 1000$	17.5
800	$25 * 800 = V_8 * 1000$	20

Nota: En base a estos cálculos se puede trabajar con volúmenes mayores de acuerdo al requerimiento de la prueba.

Preparación de NaOH para regular el pH

Seguidamente se preparó NaOH con una concentración de 1 Molar, en donde se pesó 4 g de NaOH el cual ha sido diluido en un matraz volumétrico con la ayuda de 1000 ml de agua destilada.

Preparación de la muestra de lixiviado para las pruebas experimentales

Se efectuó la dilución de 10 ml de lixiviado con 90 ml de agua y de esta manera ir trasvasando en todos los recipientes de los grupos de pruebas experimentales. Dichos volúmenes de muestras de lixiviados diluidas se les cuantificó la DBO_5 a cada uno por titulación, así como el pH, con la ayuda del indicador de pH (Rojo Fenol), estos datos se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 7. Grupo de Prueba 1.

PRUEBA 1 - lixiviado diluido en 10/100 <i>dilución $\frac{10}{100} = \frac{10 \text{ ml de lixiviado}}{10 \text{ ml de lixiviado} + 90 \text{ ml de agua}}$</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Muestra de lixiviado (ml)	25	25	25	25	25	25	25	25
pH	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
DBO mg/L	420	420	420	420	420	420	420	420

Nota: Propia.

Tabla 8. Grupo de Prueba 2.

PRUEBA 2 - lixiviado diluido en 10/100 <i>dilución $\frac{10}{100} = \frac{10 \text{ ml de lixiviado}}{10 \text{ ml de lixiviado} + 90 \text{ ml de agua}}$</i>								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Muestra de lixiviado (ml)	25	25	25	25	25	25	25	25
pH	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
DBO mg/L	420	420	420	420	420	420	420	420

Nota: Propia.

Tabla 9. Grupo de Prueba 3.

PRUEBA 3 - lixiviado diluido en 10/100								
$\text{dilución} \frac{10}{100} = \frac{10 \text{ ml de lixiviado}}{10 \text{ ml de lixiviado} + 90 \text{ ml de agua}}$								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
Muestra de lixiviado (ml)	25	25	25	25	25	25	25	25
pH	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
DBO mg/L	420	420	420	420	420	420	420	420

Nota: Propia.

Tabla 10. Grupo de Prueba 4.

PRUEBA 4 - lixiviado diluido en 10/100								
$\text{dilución} \frac{10}{100} = \frac{10 \text{ ml de lixiviado}}{10 \text{ ml de lixiviado} + 90 \text{ ml de agua}}$								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
Muestra de lixiviado (ml)	25	25	25	25	25	25	25	25
pH	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
DBO mg/L	420	420	420	420	420	420	420	420

Nota: Propia.

- b) Seguidamente se sometió a la experimentación cada grupo de prueba bajo las condiciones que se detallarán en las siguientes tablas en grupos de prueba de jarra.

Tabla 11. Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 1.

PRUEBA 1								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
H₂SO₄ (ml) adicionado	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
FeCl₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800

Nota: Propia.

Tabla 12. Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 2.

PRUEBA 2								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
NaOH 1M (ml)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
FeCl₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800

Nota: Propia.

Tabla 13. Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 3.

PRUEBA 3								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
NaOH 1M (ml)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
FeCl₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800

Nota: Propia.

Tabla 14. Condiciones de experimentación del Grupo de Prueba 4.

PRUEBA 4								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
NaOH 1M (ml)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.8
FeCl₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800

Nota: Propia.

- c) Finalmente se identificó que el grupo de la prueba 4 presentaba mejores condiciones de trabajo para empezar con la coagulación – floculación. Dichos resultados se detallan en el capítulo IV.

3.4.7. Diseño factorial 2^k

Es aquella herramienta estadística usada para planear de forma eficiente un proceso de experimentación, buscando la significancia de cada variable independiente que se desea estudiar en la menor cantidad posible de ensayos, también evalúa su comportamiento para obtener prototipos matemáticos de carácter empírico, los cuales servirán de fundamento para procesos optimizadores (9). El diseño factorial fue implementado mediante el software MINITAB 19. En este trabajo, algunos ensayos factoriales comunes permitirán la optimización de los factores, los cuales serán de dos niveles.

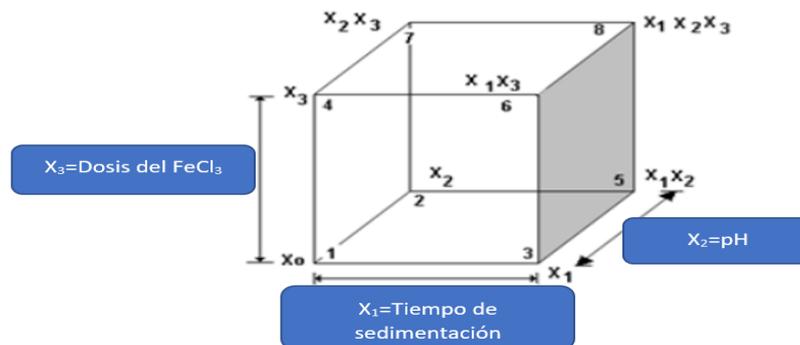


Figura 9. Esquematización del diseño factorial 2^3 . Tomado de: (9)

La cantidad de ensayos o muestra, para el diseño factorial fue determinada por la fórmula siguiente:

$$N = 2^K$$

En donde:

K= número de variables

N= número total de experimentos

Para este caso, el número de variables son 3: tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis de FeCl₃, reemplazando el número de variables en la ecuación:

$$N = 2^3$$

$$N = 8$$

Este diseño factorial asumirá algo de linealidad y tiene el deber de pronosticar de forma adecuada cada área del modelo (9). Debido a lo cual, las 3 variables elegidas en los exámenes exploratorios, se involucran en la disminución de la DBO.

Ya que se intenta conocer qué efectos tienen estas variables en la disminución de la DBO, entonces se llevaron a cabo exámenes experimentales con el fin de hallar el nivel que poseen las variables por separado. En la siguiente tabla se detallarán los niveles para cada variable.

Identificación de las variables de trabajo

Tabla 15. *Identificación de variables de trabajo.*

Factor	Símbolo	Unidad	Nivel (-)	Nivel (+)
Tiempo de sedimentación de flóculos (minutos)	X ₁	minutos	5	60(1h)
pH	X ₂	Escalar	6	10
Dosis de FeCl ₃	X ₃	ppm	600	800

Nota: Propia.

Matriz del diseño $2^3=8$

De acuerdo a la información expuesta en la anterior tabla, se determinó la cantidad de pruebas que deben realizarse (mezclando los índices máximos y mínimos de los 3 factores preestablecidos). El diseño 2^3 significa que se deben llevar a cabo 8 de estas pruebas con 2 réplicas. Los datos de la matriz se ven en la tabla 16.

Tabla 16. *Matriz del diseño.*

N° de pruebas	Diseño	Combinación de niveles			Variables de respuesta (DBO)
		X1	X2	X3	Y
1	()	5	5	500	Y ₁
2	A	60	5	500	Y ₂
3	B	5	11	500	Y ₃
4	AB	60	11	500	Y ₄
5	C	5	5	800	Y ₅
6	AC	60	5	800	Y ₆
7	BC	5	11	800	Y ₇
8	ABC	60	11	800	Y ₈

Nota: Propia.

Estos datos se subirán al software MINITAB 19, el cual nos permitirá realizar el análisis del diseño factorial, los resultados nos ayudarán a determinar el parámetro óptimo de los factores analizados, esto se detalla en el capítulo IV.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

Este apartado explica cada resultado conseguido acerca de la caracterización del lixiviado, los parámetros óptimos para el tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis de FeCl₃, así como la determinación del prototipo matemático, que será de utilidad en las etapas de la coagulación – floculación.

4.1.1. Caracterización de los lixiviados del botadero de Haqira

La caracterización del lixiviado se estableció en función a los parámetros del D.S N° 003-2010-MINAM, en la tabla 17, se comparan tanto los parámetros de la norma como los resultados del lixiviado.

Tabla 17. *Análisis fisicoquímico del lixiviado de Haqira – muestra.*

Parámetros	Unidad	Lixiviado del botadero de Haqira sin tratamiento	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	23	20
DBO	mg/L	4000	100
DQO	mg/L	12000	200
pH	Unidad	7.5	6.5 – 8.5
Solidos totales (en suspensión y disueltos)	mg/L	24200	150
Temperatura	C°	14	≤35

Nota: informe del laboratorio QUIMICALAB, ver ANEXO N° 6.

4.1.1.1. Discusión de los resultados de la caracterización de los lixiviados del botadero de Haqira:

De acuerdo con estos resultados obtenidos los parámetros presentes en el lixiviado del botadero de Haqira superan significativamente los LMP del D.S N° 003-2010-MINAM, principalmente la variable de estudio,

el cual es la DBO con un valor de 4000 mg/L. Este valor nos indica la contaminación por materia orgánica, que de ser vertido en ecosistemas acuáticos provocaría la disminución del oxígeno y de esta manera creando condiciones de anoxia y está a su vez dañaría a las comunidades biológicas presentes en el ecosistema acuático.

4.1.2. Determinación de los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis del FeCl₃.

En esta etapa de la investigación se fue identificando cuales son los parámetros óptimos para iniciar con la coagulación – floculación con el FeCl₃. En este sentido, se han ido analizando los resultados de los diversos experimentos de coagulación/floculación sobre la muestra diluida (dilución 1/10) del lixiviado, dichos resultados de los experimentos se detallan en las tablas: 21,22,23,24 y 25. Las variables de operación analizadas en los grupos pruebas 1,2,3 y 4, con el objeto de identificar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis del FeCl₃.

Cada muestra de los grupos de prueba para el proceso de coagulación/floculación posee una dilución 1/10.

Tabla 18. Resultados del Grupo de Prueba 1.

PRUEBA 1								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
H ₂ SO ₄ (ml) adicionado	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
FeCl ₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800
pH	4	4	4.3	4.5	4.7	5	5.1	5.5
Tiempo de sedimentación de flóculos (minutos)	–	–	–	–	–	–	–	–
DBO (mg/L)	240	240	210	204	198	192	180	180

Nota: Propia.

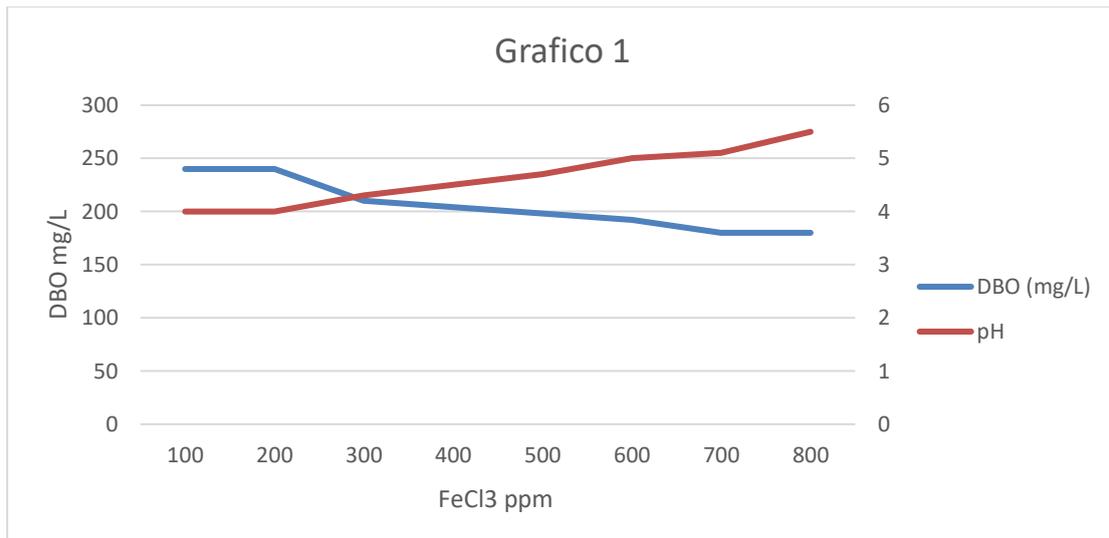


Figura 10. Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del FeCl_3 del grupo de prueba 1.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 1. El gráfico 1 evidencia que la concentración de la DBO disminuye hasta 180 mg/L para una dosis de 700 ppm de FeCl_3 en un pH de 5.1.

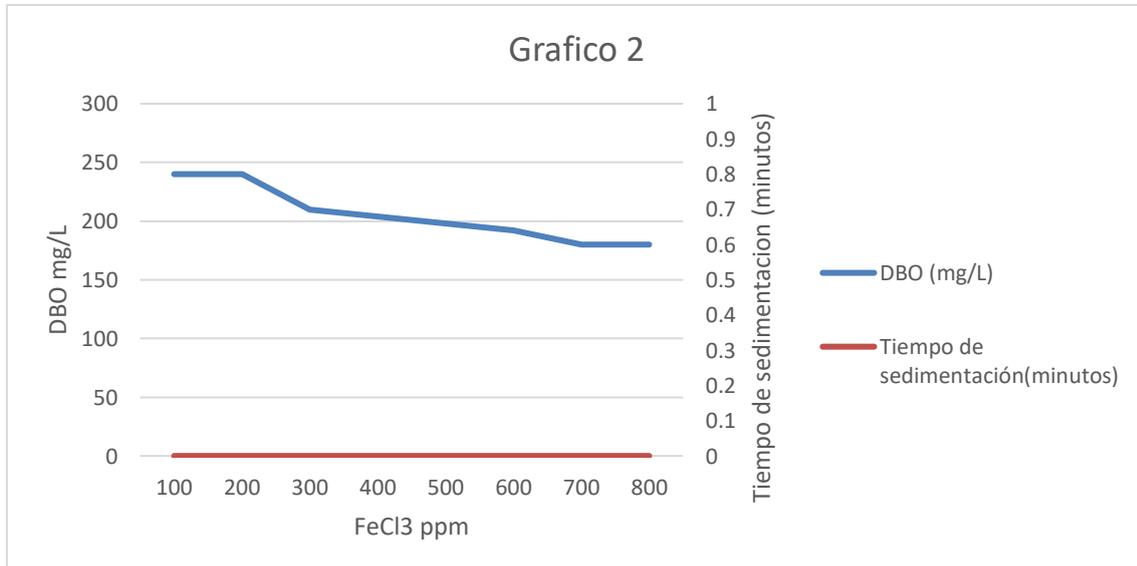


Figura 11. Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del FeCl_3 del grupo de prueba 1.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 1. En el gráfico 2 se observa que para la DBO de 180 mg/L, el tiempo de sedimentación de flóculos es 0, dado que en este grupo de prueba bajo las condiciones que se fueron analizando los experimentos

no se observó la formación flóculos por ende el tiempo de sedimentación de flóculos es 0.

Tabla 19. Resultados del Grupo de Prueba 2.

PRUEBA 2								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
NaOH 1M (ml)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
FeCl3 (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800
pH	6.5	6.8	7	7.3	7.6	7.5	7.5	7.8
Tiempo de sedimentación de flóculos (minutos)	60	60	60	60	60	60	60	60
DBO (mg/L)	48	44	36	24	28	24	20	16

Nota: Propia.

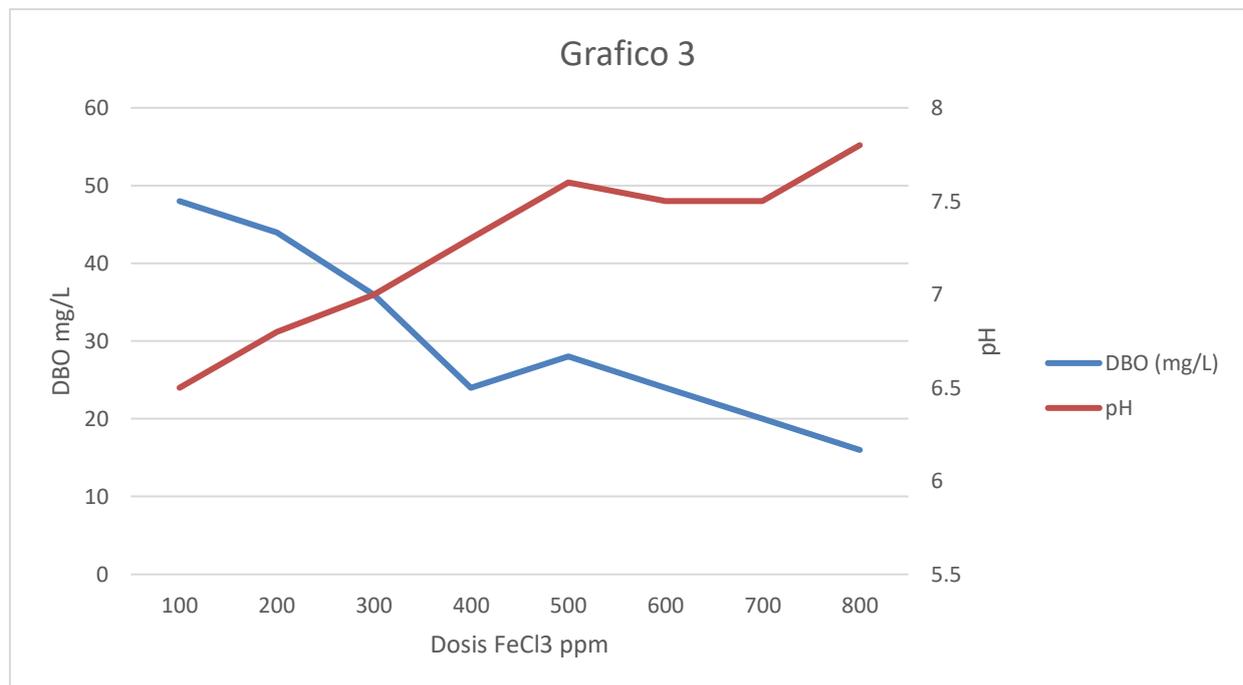


Figura 12. Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del FeCl₃ del grupo de prueba 2.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 2. El gráfico 3 evidencia que la concentración de la DBO alcanzó un valor mínimo de 16 mg/L para una dosis de 800 ppm de FeCl₃ en un pH de 7.8.

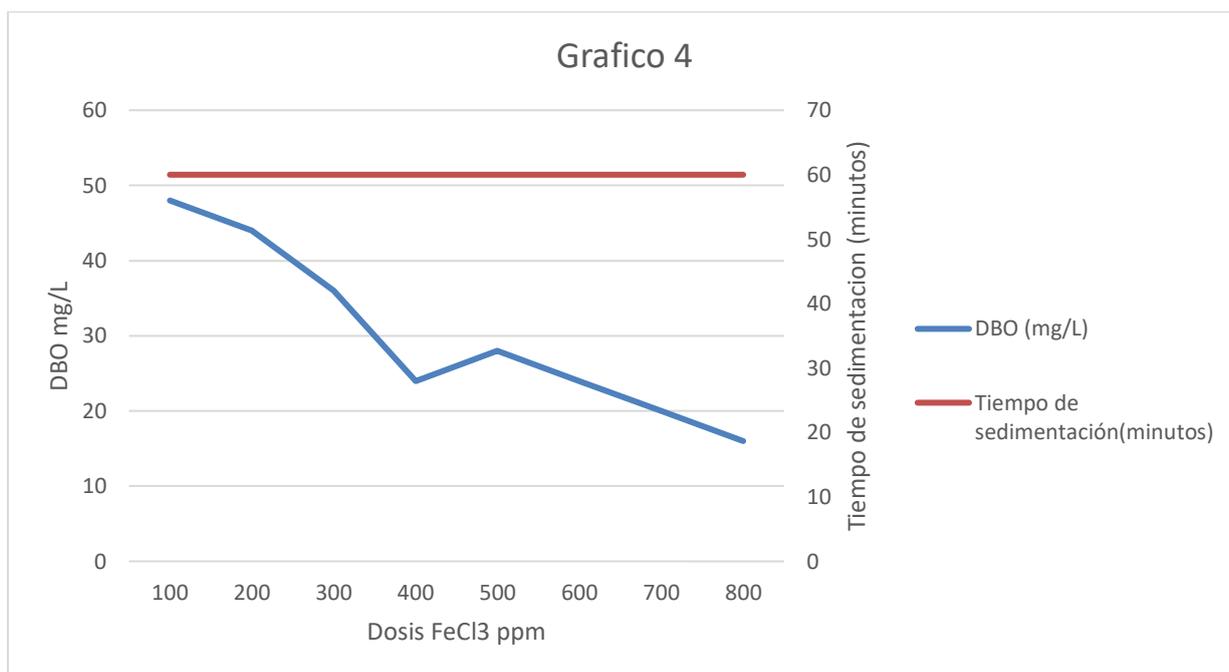


Figura 13. Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del FeCl₃ del grupo de prueba 2.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 2. En el gráfico 4 se observa que para la DBO de 16 mg/L, el tiempo de sedimentación fue de 60 minutos (1H).

Tabla 20. Resultados del Grupo de Prueba 3.

TABLA DE PRUEBA 3								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
NaOH 1M (ml)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
FeCl ₃ (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800
pH	8.1	8.2	8.1	8.3	8.6	8.7	8.7	8.9
Tiempo de sedimentación de flóculos (minutos)	30	30	30	30	30	30	30	30
DBO (mg/L)	36	32	28	24	20	16	12	8

Nota: Propia.

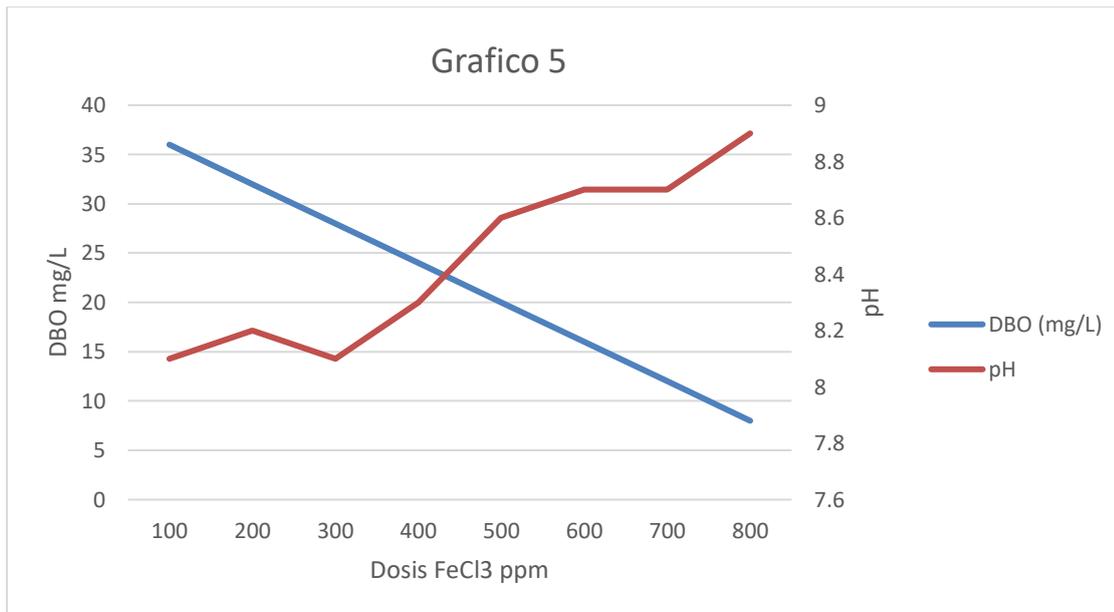


Figura 14. Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del FeCl_3 del grupo de prueba 3.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 3. El gráfico 5 evidencia que la concentración de la DBO alcanzó un valor mínimo de 8 mg/L para una dosis de 800 ppm de FeCl_3 con un pH de 8.9.

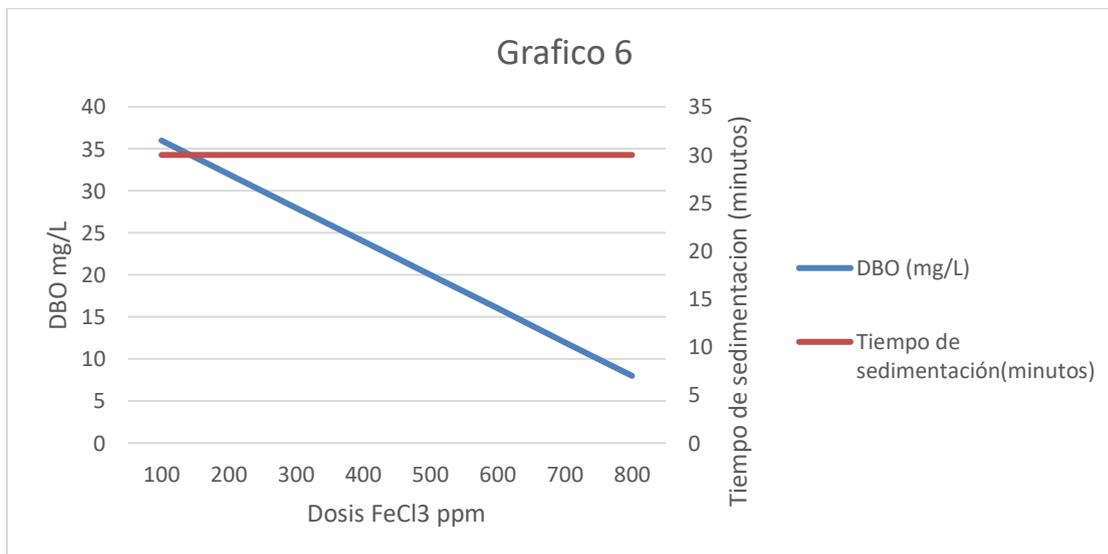


Figura 15. Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del FeCl_3 del grupo de prueba 3.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 3. En el gráfico 6 se observa que para la DBO de 8 mg/L, el tiempo de sedimentación fue de 30 minutos.

Tabla 21. Resultados del Grupo de Prueba 4.

TABLA DE PRUEBA 4								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
NaOH 1M (ml)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
FeCl3 (ppm)	100	200	300	400	500	600	700	800
pH	9	9.1	9.4	9.4	9.5	9.5	9.7	10.6
Tiempo de sedimentación de flóculos (minutos)	10	10	10	10	5	5	5	5
DBO (mg/L)	28	24	20	16	12	4	4	4

Nota: Propia.

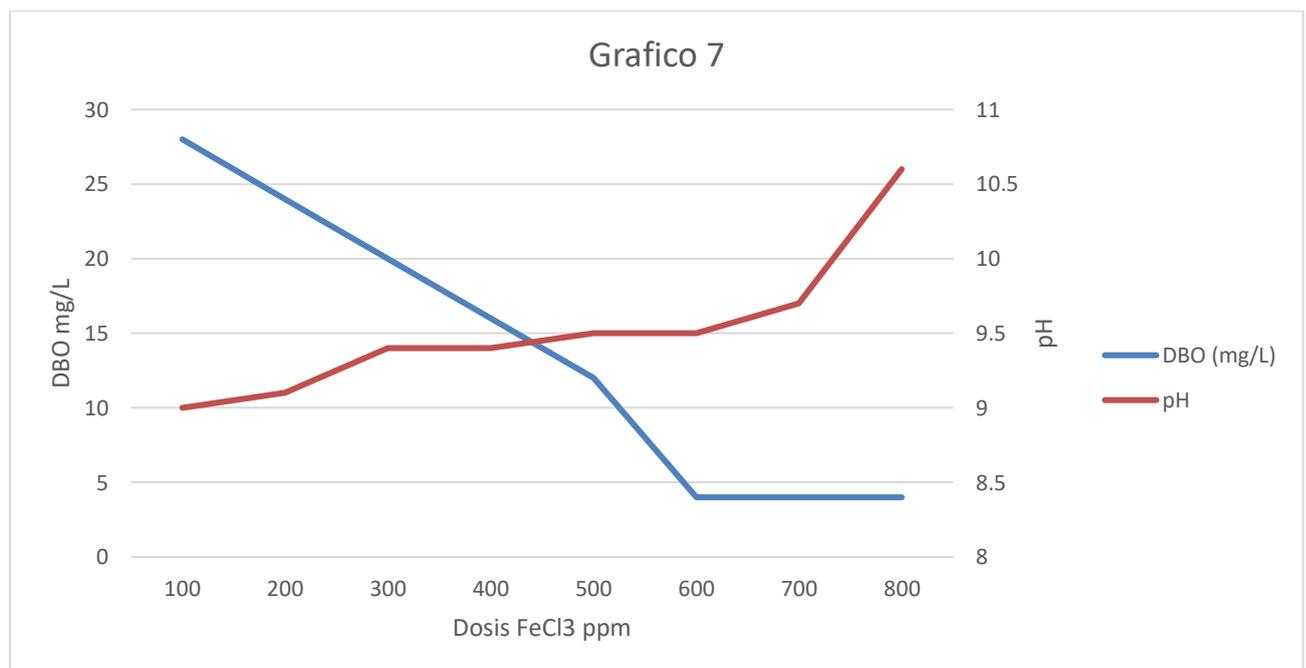


Figura 16. Disminución de la DBO Vs pH Vs Dosis del FeCl₃ del grupo de prueba 4.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 4. El gráfico 7 evidencia que la concentración de la DBO alcanzó un valor mínimo de 4 mg/L para una dosis de 600 ppm de FeCl₃ bajo un pH de 9.5.

Cabe señalar que a partir de los 600 ppm la tendencia de la DBO es constante.

De acuerdo a los resultados del grupo de prueba 4. En el gráfico 8 se observa que para la DBO de 4 mg/L, el tiempo de sedimentación de flóculos fue de 5 minutos.

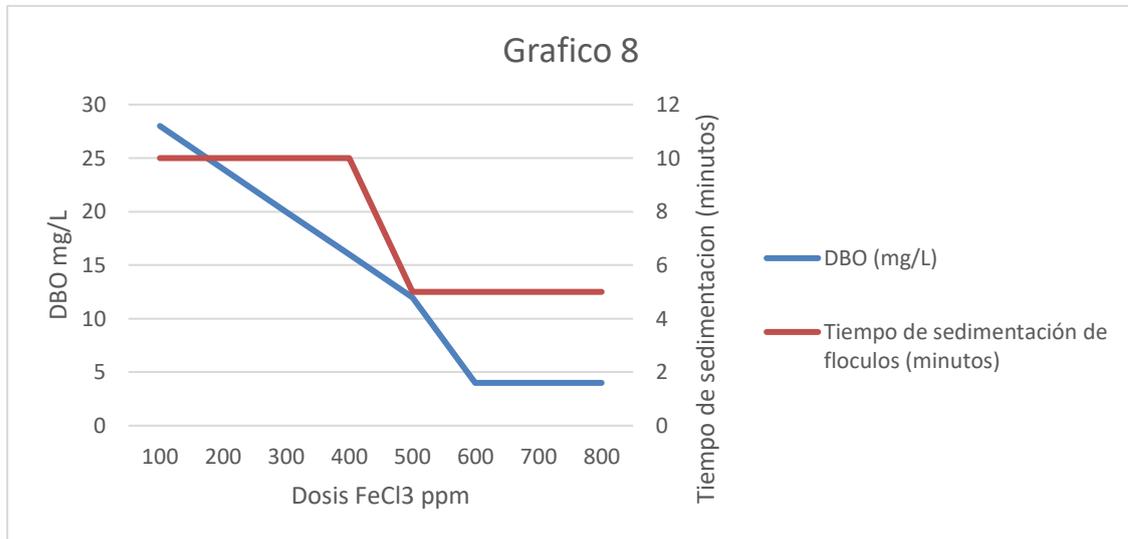


Figura 17. Disminución de la DBO Vs Tiempo de sedimentación de flóculos Vs Dosis del FeCl₃ del grupo de prueba 4.

4.1.2.1. Discusión de los resultados para poder determinar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación de flóculos, Ph y dosis del FeCl₃.

Grupo de prueba 1: De acuerdo con la investigación: "Evaluación del tratamiento fisicoquímico de lixiviados parcialmente estabilizados. Estudio de caso: Vertedero de Navarro"(38), señalan que obtuvieron eficiencias de DBO₅ (75%) a un pH ácido (5), utilizando como coagulante el FeCl₃ en una porción de 1600 mg/L. Comparando con los resultados de DBO₅ del grupo de prueba 1 se obtuvo una disminución de la DBO₅ de 192 mg/L (46%), bajo un pH de 5. En conclusión, llevar a cabo el proceso de coagulación/ floculación bajo condiciones ácidas no disminuye la DBO₅, además de que identificamos que no hubo formación de flóculos.

Cabe señalar también que en la investigación: "Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación - floculación y sedimentación"(10). Los

investigadores señalan que obtuvieron una eficiencia del 96% en la clarificación de los lixiviados además que suprimir la formación de espumas y reducir el olor de las muestras a rangos ácidos de pH = 4.53 y una dosis elevada de FeCl₃ (40%) de 10 000 mg/L. Al igual que con la otra investigación se concluye que ejecutar las etapas de la coagulación - floculación bajo condiciones ácidas no influye significativamente en la disminución de la DBO.

Grupo de prueba 2: De acuerdo con la investigación: Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Obtuvieron mejores resultados con el FeCl₃ que al usar FeSO₄ para remover materiales orgánicos. Además, los resultados de su investigación señalan una remoción de la DQO (67%), bajo 6 de pH y 1.4 gramos por litro de FeCl₃. Comparando con los resultados del grupo de 2 se obtuvo una disminución de la DBO₅ de 48 mg/L bajo un pH de 6.5. En conclusión, llevar a cabo el proceso de coagulación/ floculación bajo condiciones medianamente alcalinas si se logró disminuir significativamente la DBO₅, además de que identificamos la formación de flóculos, los mismos que sedimentaron en 60 minutos (1H).

Grupo de prueba 3 y 4: De acuerdo a los resultados de estos dos grupos de prueba se pudo inferir que bajo condiciones alcalinas si se observó una influencia significativa en la disminución de la DBO₅. En donde el grupo de prueba 3 en la muestra B 8 bajo un pH de 8.9 y con una dosis 800 ppm se logró disminuir la DBO₅ hasta 8 mg/L. Al igual que en el grupo de prueba 4 en la muestra C 6 bajo un pH de 9.5 se logró identificar que la DBO₅ disminuyó hasta los 4 mg/L. Cabe señalar que a partir del pH de 9.5 la tendencia de la disminución de la DBO₅ es constante, además de que la variable de mayor importancia es el pH dentro de los procesos de coagulación – floculación.

4.1.2.1. MATRIZ DEL DISEÑO $2^3 = 8$

Tabla 22. Resultados de la Matriz de diseño 2^3 .

N° de pruebas	Diseño	Combinación de niveles			Variables de respuesta (DBO)
		X1	X2	X3	Y
1	()	5	6	500	148
2	A	60	6	500	76
3	B	5	10	500	4
4	AB	60	10	500	1
5	C	5	6	800	150
6	AC	60	6	800	78
7	BC	5	10	800	5
8	ABC	60	10	800	1

Nota: Propia.

Tabla 23. Resultados de los Coeficientes codificados.

Término	Efecto	Coef.	EE del Coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		57.76	*	*	*	
X1	- 37.90	- 18.95	*	*	*	1.00
X2	-110.07	- 55.03	*	*	*	1.00
X3	1.2565	0.6283	*	*	*	1.00
X1*X2	34.45	17.23	*	*	*	1.00
X1*X3	- 0.3667	- 0.1834	*	*	*	1.00
X2*X3	- 0.6633	- 0.3317	*	*	*	1.00
X1*X2*X3	- 0.2265	- 0.1132	*	*	*	1.00

Nota. Propia.

Interpretación:

La columna de valores de efecto nos permitirá describir el tamaño y la dirección de la relación entre un factor (X_1 , X_2 , X_3) y las interacciones de estas (X_1*X_2 , X_1*X_3 , X_2*X_3 y $X_1*X_2*X_3$), con la variable de respuesta (DBO).

Determinando que las interacciones X_1*X_3 (Tiempo de sedimentación de flóculos *dosis del FeCl_3) y X_2*X_3 (pH*dosis del FeCl_3) tienen un efecto que no son estadísticamente significativos en la disminución de la DBO, lo cual nos indica que la variable de respuesta representada por la DBO no disminuye si estos factores interactúan. Sin embargo, los factores X_1 y X_2 tienen efectos negativos en la DBO, principalmente el factor X_2 (pH) con un valor numérico negativo de -110.07 . El signo negativo nos indica que es el factor que tiene más influencia en la disminución de la DBO.

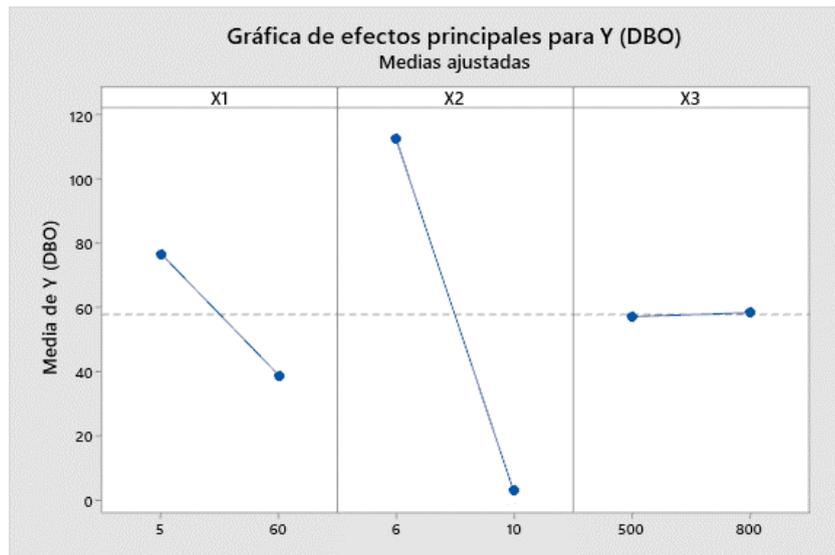


Figura 18. Gráfica de efectos principales para Y (DBO).

Interpretación:

En la gráfica de efectos principales para Y(DBO), se observa de manera gráfica que el factor X_2 (pH) posee una pendiente negativa lo cual indica una influencia negativa en la variable de respuesta representada por la DBO. A su vez nos indica que al incrementar el pH de 6 a 10 se disminuye significativamente la DBO. Además de que el factor X_1

(Tiempo de sedimentación de flóculos) nos permite deducir que si aumentamos el tiempo de 5 a 60 minutos influye en la disminución de la DBO.

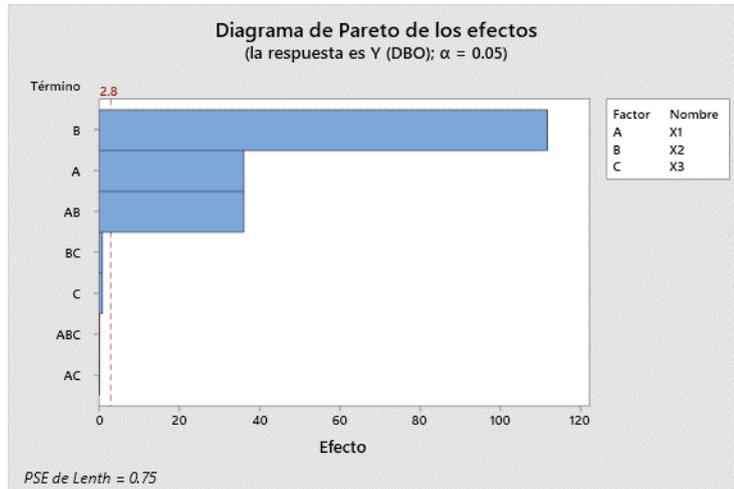


Figura 19. Diagrama de Pareto de los efectos.

Interpretación:

De acuerdo al diagrama de Pareto de efectos, las barras que representan los factores B(X_2), A(X_1) y AB($X_1 * X_2$) cruzan la línea de referencia que está en 2,8. Principalmente el factor X_2 (pH) que sobrepasa significativamente la línea de referencia. Estos factores son estadísticamente significativos en el nivel de 0.05 con los términos actuales del modelo.

En el diagrama de Pareto muestra el valor de los efectos, ya que se pudo determinar cuál efecto es más significativo, pero no se puede determinar cuáles efectos aumentan o disminuyen la respuesta. Para determinar eso utilizaremos la gráfica normal de los efectos estandarizados para examinar la magnitud y dirección de los efectos en una gráfica.

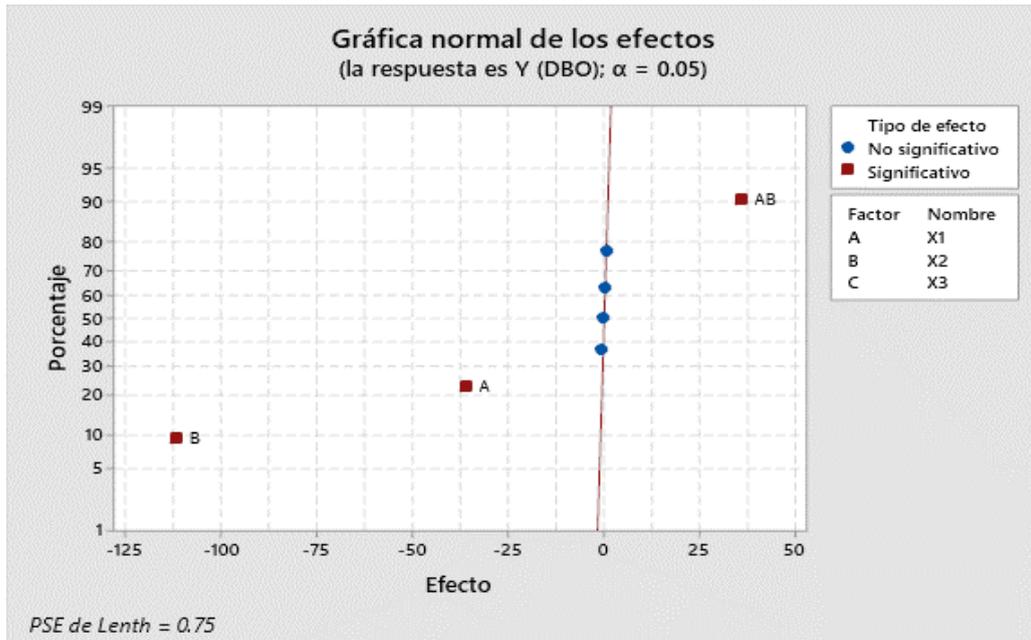


Figura 20. Gráfica normal de los efectos.

Interpretación:

La anterior gráfica demuestra que los efectos más alejados del 0 tienen gran significancia estadística. En tal sentido, los efectos de A(X₁), B(X₂) y AB (X₁* X₂) tienen gran significancia estadística con un nivel de 0.05. Asimismo, de la gráfica se desprende el sentido al cual se dirige el efecto. X₂ (pH) posee un efecto estándar NEGATIVO. Cuando el factor sube de nivel, DISMINUYE la respuesta (DBO). Esto quiere decir que cuando el pH (X₂) y Tiempo de sedimentación de flóculos aumentan (X₁), la respuesta (DBO) disminuye.

En conclusión, estos experimentos nos han permitido descubrir que los adecuados parámetros destinados al proceso de Disminución de la DBO mediante procesos de coagulación/floculación mejora al aumentar el Tiempo de sedimentación de flóculos (60 minutos), el pH (10) y la dosis del FeCl₃ (800 ppm).

4.1.3. Determinación del modelo matemático para el proceso de disminución de la DBO del Lixiviado del botadero de Chaquira

Para nuestro caso de investigación empleamos el modelo matemático que brinda la ecuación de regresión lineal múltiple. Dicha ecuación tiene el propósito de explicar la interrelación existente entre cierta variable de tipo dependiente (DBO) y una serie de variables de tipo independiente (Tiempo de sedimentación de flóculos, pH y dosis de FeCl_3). Para este caso, se intenta explicar la interrelación existente entre la DBO como variable de respuesta “Y” y las variables explicativas (X_1 , X_2 y X_3).

Los procesos de coagulación – floculación depende de un conjunto de particularidades físico – químicas que el lixiviado posee, principalmente el pH. Este parámetro y la porción adecuada del elemento coagulante, ejercen la mayor influencia en el proceso de coagulación.

El resumen de la estadística de la regresión se puede observar detalladamente en la tabla que sigue.

Tabla 24. Estadísticas de la regresión.

Coefficiente de correlación múltiple	0.995387642
Coefficiente de determinación R^2	0.990796558
R^2 ajustado	0.989810475
Error típico	8.302280738
Observaciones	32

Nota: Propia.

El coeficiente de correlación fue del 99% lo cual significa que hay una interrelación predominante entre la variable dependiente y las de tipo independiente. Además, el R^2 ajustado obtenido fue del 98.98%, lo cual nos indica que la ecuación generada explica el modelo explica en 98.98% la variabilidad de los datos de respuesta del proceso de disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haquira.

La ecuación de regresión lineal múltiple representará a la información experimental a la cual dio origen y otorga una descripción al proceso de coagulación/floculación. El prototipo matemático tiene una validez que se demuestra por el parecido que poseen los valores calculados por medio de dicho prototipo y en los resultados de los experimentos.

$$\mathbf{DBO = 374.4627981 - 1.313004504 * \text{Tiempo de Sedimentación de flóculos} - 37.15398127 * \text{pH} - 0.005931951 * \text{Dosis del FeCl}_3}$$

CONCLUSIONES

1. En este trabajo de investigación se disminuyó la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación – floculación utilizando como agente coagulante el FeCl_3 . Logrando disminuir la DBO desde una concentración de 4000 mg/L hasta una concentración de 4 mg/L.
2. Se pudo determinar la caracterización de los lixiviados del botadero de Haqira en donde la DBO de los lixiviados poseen una concentración de 4000 mg/L. Lo cual nos indica la gran demanda de oxígeno requerida por los diferentes microorganismos para que puedan descomponer los cuerpos orgánicos que se hallan entre los lixiviados. Además de que dicha concentración supera los límites permitidos del D.S N° 003-2010-MINAM.
3. Se determinó que los parámetros adecuados para Disminuir la DBO de los lixiviados del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación/ floculación son bajo las condiciones de un tiempo de sedimentación de flóculos de 60 minutos, Ph:10 y con 800 ppm de FeCl_3 . De los cuales el pH influye significativamente en la disminución de la DBO.
4. El modelo matemático hallado significa que la ecuación de regresión es la representación fiel de la información experimental a la cual dio origen y otorga una descripción al proceso de Disminución de la DBO en Lixiviados del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación/floculación, obteniendo una correlación del 98.98%. El prototipo matemático tiene una validez que se demuestra por el parecido que poseen los valores calculados por medio de dicho prototipo y en los resultados de los experimentos.

$$DBO = 374.4627981 - 37.15398127 * \text{pH} - 0.005931951 * \text{Dosis del } \text{FeCl}_3 \\ - 1.313004504 * \text{Tiempo de Sedimentacion de floculos}$$

RECOMENDACIONES

1. Previo a empezar experimentos o investigaciones en una entidad privada o pública, se recomienda llevar a cabo cada trámite correspondiente con anticipación para obtener la autorización para ingresar y utilizar su infraestructura, en dicho documento se debe detallar toda actividad a desarrollar.
2. Cuando se realicen actividades dentro del botadero de Haquira, usualmente se perciben olores intensos que emana el botadero propias del proceso de descomposición materia orgánica que se encuentra mezclada con los residuos comunes; además de ello en el caso de reunir muestras, es recomendable utilizar prendas personales para la protección, como: mascarillas, guantes desechables y gafas de protección; estos evitarán que entremos en contacto directo con los agentes contaminantes.
3. Para realizar el registro de información en el laboratorio, es necesario comprobar que los instrumentos y equipos que se vayan a utilizar se encuentren calibrados, para finalmente realizar las mediciones y los datos que se vayan a obtener sean confiables para la investigación.
4. Con relación a la caracterización de los lixiviados, es recomendable ejecutar caracterizaciones con mayor detalle, puesto que en esta investigación solo se consideraron parámetros generales en donde no se especifica los demás componentes del lixiviado, tales como metales pesados.
5. Es necesario proponer la creación de una planta de tratamiento de los lixiviados del botadero de Haquira y de esta manera mitigar la contaminación ambiental principalmente de las aguas subterráneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DE LEÓN-GÓMEZ, Héctor, CRUZ-VEGA, Carlos R., DÁVILA-PÓRCEL, René Alberto, VELASCO-TAPIA, Fernando and CHAPA-GUERRERO, José R. *Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterráneo*. 2015.
2. INEI. *Un Análisis de la Eficiencia de la Gestión Municipal de Residuos Sólidos en el Perú y sus determinantes*. 2018.
3. VALDERRAMA, Jhonathan. *Evaluación Ambiental Del Botadero De Haqira, Metodología EVIAVE*. Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.
4. MEDRANO, Roxana. *Tratamiento de lixiviados del botadero de residuos sólidos de la Ciudad de Puno por el proceso de coagulación y floculación*. Universidad Nacional del Altiplano, 2017.
5. CORNEJO, Julio, BONETT, Jorge, PAREJA, Jesser and MUÑOZ, Maritza. *Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial del Cusco*. 2011. P. 1–46.
6. OEFA. *El OEFA supervisa botadero de Haqira en Cusco*. 2016.
7. SANGA FLORES, Javier. *Biosorción del Plomo por Biomasa inactiva de bacterias aisladas en sedimentos de Lixiviados del Botadero de Haqira - Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2016.
8. LUNA, Humberto. *Uso de Células Solares Destiladoras en Lixiviados de Residuos Sólidos Domésticos, para su Tratamiento, en Planta Piloto Acondicionada en Vivienda del Distrito de Independencia, Huaraz – Ancash, octubre 2015 – Julio 2016*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2006.
9. ASTORGA, Elvis. *Tratamiento de Lixiviados del Botadero de Residuos Sólidos de la Ciudad de Puno con Surfactantes Aniónicos*. Universidad Nacional del Altiplano, 2018.
10. ANCHIRAICO, Yuri and VILCAHUAMAN, Michael. *Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación - floculación y sedimentación*. Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.

11. DAMIAN, Yoel. *Tratamiento de lixiviados en la etapa de compostaje mediante el proceso de coagulación con mucilago de Opuntia Ficus Indica*. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018.
12. CHÁVEZ MONTES, Wendy Margarita. *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, México*. CENTRO DE INVESTIGACION EN MATERIALES AVANZADOS, 2011.
13. SANCHÉZ, Manuel. *Coagulación-floculación y separación de sólidos disueltos y suspendidos en un lixiviado estabilizado de vertedero*. Universidad de Oviedo, 2013.
14. NÁJERA, H., CASTAÑÓN, J., FIGUEROA, J. and ROJAS-VALENCIA, M. Caracterización y Tratamiento Físicoquímico de Lixiviados Maduros Producidos en el Sitio de Disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Redisa*. 2009. No. Noviembre, p. 1–9.
15. CONAM. *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos*. 2004.
16. CAYURI, Mario Cumpa. *MANUAL PRÁCTICO DE REGIÓN CUSCO*. 2016.
17. IRAUNKORRA, Garpen. Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales. *Ihobe*. 2016. P. 1–20.
18. COMISIÓN DE SALUD PÚBLICA DE BOSTON. Las Enfermedades Entéricas y la Salud Sexual. 2017. No. March, p. 5611.
19. FAO, MINENERGIA, PNUD and GEF. Manual del Biogás. *Proyecto CHI/00/G32*. 2011. P. 120.
20. VEGA, L. Fenómenos de superficie. Adsorción. *Apuntes de fisicoquímica*. 2010. P. 1–10. Fenómenos de Superficie: generalidades sobre tensión superficial y adsorción
21. MATLAB. Programación y Supervisión de Planta Piloto Utilizada como Plataforma de Ensayo de Controladores Diseñados en MATLAB. P. 6–13.
22. SALAGER, Jean-Louis. *Surfactantes: tipos y usos*. 2002. El presente modulo da una revisión tórica de algunos de los tipos de surfactantes existentes, además de dar ejemplos de aplicación y usos de cada uno de ellos.
23. GARCIA HERRERA, Julián Camilo. Procesos fenton y foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales de laboratorio microbiológico empleando Fe₂O₃ soportado en nanotubos de carbono. *Repositorio Ujaveriana*. 2014. p. 65.

24. CALERO, Marta. Filtración Para Membrana Y Ósmosis Inversa. *Universidad de Alicante*. 2016. P. 1–5.
25. JUNCOSA, Ricardo. Escorrentía. *Hidrología I: Ciclo Hidrológico*. 2005. P. 65–84. I
26. RUIZ, Mariana, PASTOR, Karla and ACEVEDO, Adriana. Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Información Tecnológica*. 2013. Vol. 24, no. 2, p. 47–56. DOI 10.4067/S0718-07642013000200007. T
27. SIAR. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. 1999. P. 22–24.
28. CIQUIME. Propiedades Físicas Y Químicas. 2007. P. 1–6.
29. PÉREZ FARRÁS, L.E. Teoría de la Sedimentación. *Cátedra De Hidráulica Aplicada a La Ingeniería Sanitaria*. 2005. P. 23.
30. INSTITUTO NACIONAL DE and CUALIFICACIONES. Glosario De Términos Cualificación Profesional: Análisis Químico. *Fondo Social Europeo*. 2015. Vol. 3, p. 1–6.
31. P. A. ROSENDO, BLANCO VILLASEÑOR, Ángel, PRIETO RUZ, Teresa and MOLES, Pesos Moleculares Y. *Disoluciones. Tipos de mezclas*. 1994.
32. COVA, Viviana. Físico-química biológica Los contenidos a desarrollar se encuentran. *Físico-química biológica*. 2009. P. 21.
33. CEGARRA, José. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. 2014. ISBN 84-7978-624-8.
34. SANCHEZ CARLESSI, Hugo and REYES MEZA, Carlos. *Metodología y Diseños en la Investigación Científica*. . 2017.
35. FERNANDEZ COLLADO, Carlos and BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la Investigación*. 1384. ISBN 9781456223960.
36. GOOGLE EARTH. Ubicación del Botadero de Haquira. 2021.
37. MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El peruano*. 2010. p. 11. Normas Legales, Congreso de la Republica.
38. VALENCIA, V, AGUDELO, J, RESTREPO, I and CAJIGAS, A. Evaluación del tratamiento fisicoquímico de lixiviados parcialmente estabilizados. Estudio de caso: Vertedero de Navarro. 2007. No. February, p. 10.

ANEXOS

ANEXO N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA Y CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Descripción de Variables <ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable Independiente: proceso de coagulación / floculación. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo de sedimentación ✓ pH ✓ Dosis del FeCl₃ ▪ Variable Dependiente: Concentración de la DBO del lixiviado tratado
¿Cómo disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación - floculación?	Disminuir la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación – floculación en el distrito de Ccorca, Provincia del Cusco la Región Cusco	Disminuye significativamente la DBO del lixiviado del botadero de Haqira mediante procesos de coagulación y floculación en la Región Cusco.	
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo caracterizar el lixiviado del botadero de Haqira? 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar el lixiviado del botadero de Haqira. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó la caracterización del lixiviado del botadero de Haqira.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo determinar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación, pH y dosis del FeCl₃? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación, pH y dosis del FeCl₃. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinaron los parámetros óptimos de tiempo de sedimentación, pH y dosis del FeCl₃.
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo determinar el modelo matemático para el proceso de disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqira? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el modelo matemático para el proceso de disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqira 	<ul style="list-style-type: none"> • Se determinó el modelo matemático para el proceso de disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqira

Tipo de Investigación:

- Este fue Tecnológica.

Nivel de Investigación:

en un nivel explicativo

Alcance de Investigación:

- El presente trabajo de investigación está orientado a desarrollarse en el botadero de Haqira situado al sur oeste de la ciudad del Cusco.

Población y Muestra:

- Para esta investigación la población estará comprendida por todos los botaderos que se encuentran en la región del cusco.
- Muestra: los lixiviados del botadero de Haqira.

Técnica para Recolección de Datos:

- Medición mediante titulación.

Tipo de Variable		Dimensiones	Indicador	Unidad de Medida	Tipo de Variable	Escala de Medición
Variable Independiente	Tiempo de Sedimentación pH Dosis de FeCl ₃ .	Medición del tiempo Medición del pH Medición de Dosis del FeCl ₃ .	Minutos transcurridos Rango de pH Concentración del FeCl ₃	Minutos Escarlar ppm	Cuantitativa Continua	Razón/proporción
Variable Dependiente	DBO del lixiviado tratado	Medición de Oxígeno Disuelto.	O.D (oxígeno disuelto.)	mg/L	Cuantitativa Continua	Razón/proporción

ANEXO N° 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PRESENTADA A LA GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN EN EL BOTADERO DE HAQUIRA – REGION CUSCO - 2022																															
NOMBRE: Kevin D. Arredondo Licona																															
CARRERA PROFESIONAL: Ingeniería Ambiental																															
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: Disminución de la DBO del Lixiviado del Botadero de Haquira mediante procesos de coagulación/floculación - Región Cusco.																															
ACTIVIDADES	Enero																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	31	
Toma de muestras in situ del botadero de Haquira	■	■	■	■	■	■	■	■	■																						
Segunda toma de muestras in situ en el botadero de Haquira									■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Presentación del informe del laboratorio sobre el análisis de los lixiviados																	■														
Desarrollo de la parte experimental en laboratorio con la muestra de lixiviados																		■	■	■	■	■	■	■	■						
Desarrollo de los resultados obtenidos en la investigación																										■	■	■	■	■	■


 MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO

 Roberto Cerón Rojas Caspales
 GERENTE DE MEDIO AMBIENTE

ANEXO N° 4. VISITA AL BOTADERO DE HAQUIRA.



ANEXO N° 5. TOMA DE MUESTRAS DE LIXIVIADOS DE LA POZA DEL BOTADERO DE HAQUIRA.



Toma de muestras de la poza de recolección de lixiviados

ANEXO N° 6. INSUMOS Y MATERIALES DE LABORATORIO.



Recipientes de 100 ml/ Fiolas de 50 ml, 100 ml/ pipetas 10 ml y 20 ml/ tubos de ensayos, goteros/ embudo de 50 ml.



Pera de succión.



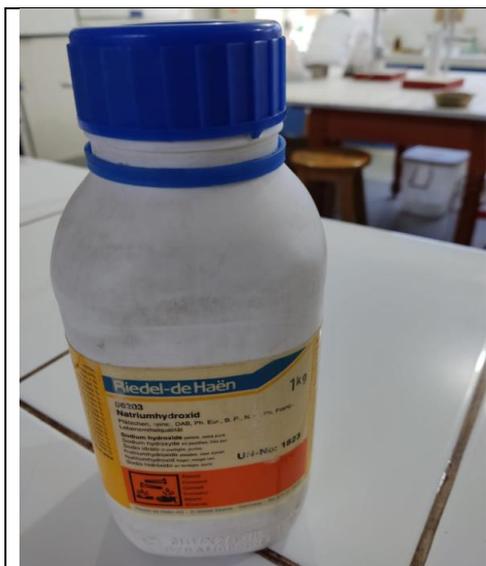
Balanza analítica KINLEE.



Mortero.



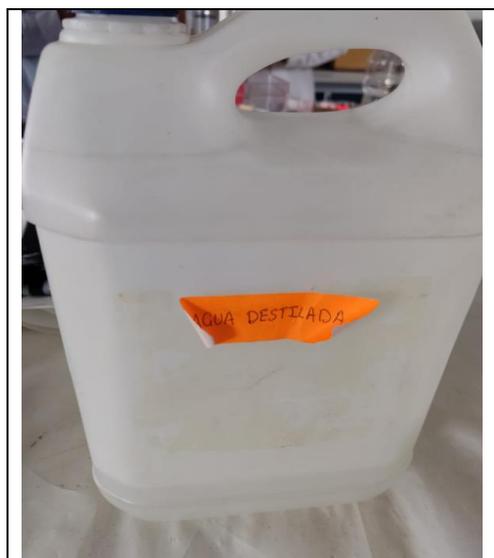
Cloruro Férrico Hexahidratado
($\text{Fe}_3\text{Cl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).



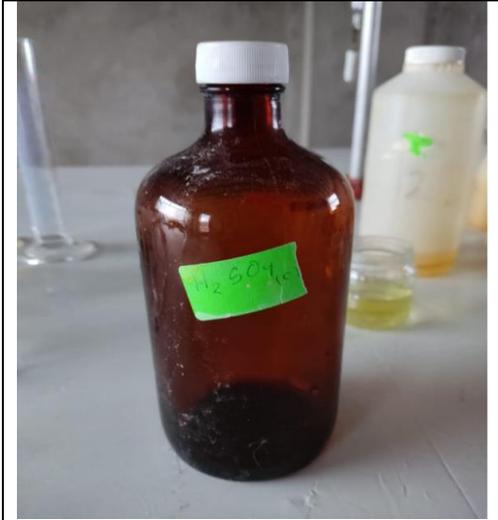
Hidróxido de Sodio (NaOH).



Indicador de pH, Rojo fenol.



Agua destilada.



Ácido Sulfúrico (H_2SO_4). 1M



pH metro HANNA.



Agitador adaptado para realizar la prueba de jarras.

ANEXO N° 7. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN LABORATORIO



Pesado de los reactivos.



Dilución en agua destilada de los reactivos.



Dilución del lixiviado con agua en una relación de 1/10.



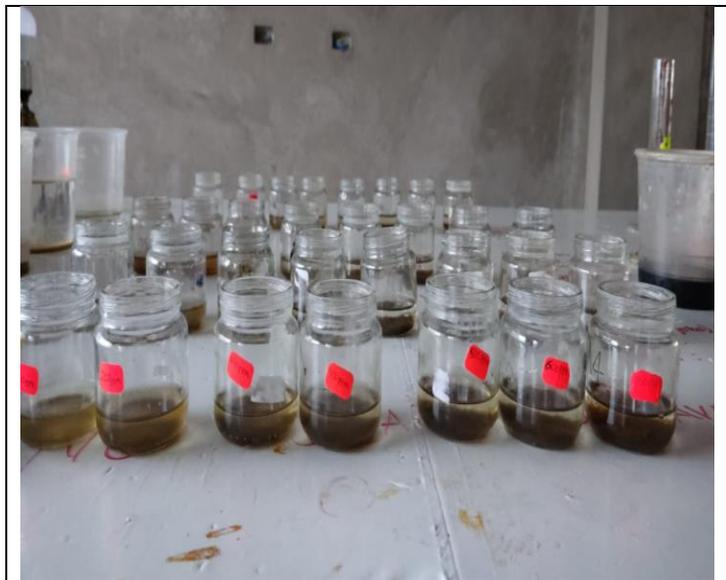
Trasvase de 25 ml de la muestra diluida a recipientes de vidrio de 100 ml.



Adición de diferentes dosis de Fe_3Cl en cada muestra, dichas dosis van desde los 100 ppm hasta los 800 ppm.



Adición de NaOH y H_2SO_4 a las muestras, para modificar el pH.



Muestras de los Grupos de pruebas experimentales.



Formación de flóculos.



Filtrado de las muestras para realizar la cuantificación de la DBO_5 por titulación. En donde se ira separando los flóculos de las muestras.



Trasvase de las muestras filtradas a depósitos de vidrio de 30 ml.



Reactivos aplicados a las muestras para realizar la titulación de DBO_5 .



Grupo de muestras listas para ingresar al horno eléctrico para llevar a cabo el proceso de incubación a 20 C° .



Grupo de muestras listas para ingresar al horno eléctrico para llevar a cabo el proceso de incubación a 20 C°.

ANEXO N° 8. SOLICITUD DIRIGIDA A LA GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO

“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia”

Cusco, 17 de noviembre del 2021

SOLICITUD

PARA: GERENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA MUNICIPALIDAD DE CUSCO

SEÑOR: Mgtr. ROBERTO CARLOS ROJAS CESPEDES.
Gerente de Medio Ambiente

ASUNTO: Solicito autorización para realizar trabajos de investigación en el botadero de Haquira.

REF: Realizar investigación de tesis.



YO, Kevin Donovan ARREDONDO LICONA, identificado con DNI N° 75801222; Bachiller en Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas, con el debido respeto me presento y menciono lo siguiente:

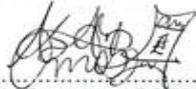
Que siento requisito necesario para poder lograr la titulación y posterior Colegiatura debo de realizar una investigación, me dirijo ante usted para mencionarte que dicha investigación deseo realizarlo en el Relleno sanitario de Haquira de la Provincia del Cusco, el proyecto de investigación de vengo desarrollando lleva por título: DISMINUCION DE LA DBO DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE HAQUIRA MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACION – FLOCULACION – REGION CUSCO, este trabajo es de un nivel experimental por ello solicito:

- Permiso para el acceso al Relleno Sanitario de Haquira.
- Como primera actividad, la toma de muestras de lixiviados como línea base para el desarrollo de la investigación.
- Permiso para el ingreso y salida del personal de apoyo, materiales, equipos y muestras durante 2 semanas tiempo que durara la investigación.

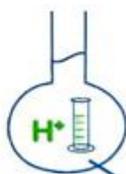
Para mayor comunicación le dejo mi correo electrónico: kevinTHEBOSS1997@gmail.com y mi número de celular 944926695.

Sin otro en particular, Ruego a usted acceder a mi solicitud

Atentamente.


Kevin Donovan ARREDONDO LICONA
DNI: 75801222

ANEXO N° 9: CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE CHAQUIRA



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0067-22

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA : KEVIN DONOVAN ARREDONDO LICONA

TESIS : "DISMINUCIÓN DE LA DBO DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO DE HAQUIRA
 MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN – REGIÓN
 CUSCO"

MUESTRA :
 M₁: Caracterización del lixiviado

DISTRITO : Santiago

PROVINCIA : Cusco

DEPARTAMENTO : Cusco

FECHA DE MUESTREO : 04/01/2022

FECHA DE INFORME : 11/01/2022

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	LMP*
Aceites y Grasas	mg/L	23	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	mg/L	4000	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	12000	200
pH		7.5	6.5 – 8.5
Sólidos Totales (en suspensión y disueltos)	mg/L	24200	150
Temperatura	°C	14	≤35

MÉTODOS DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

*Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR



Mario Cumpa Cayuri
 MARIO CUMPA CAYURI
 INGENIERO QUÍMICO
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16185

ANEXO N° 10. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 1 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃. 5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃. 5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

CÁLCULO DE LA D.B.O DE LA DILUCIÓN DEL GRUPO DE PRUEBA 1								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución antes de cultivar en el digestor	100	100	100	100	100	100	100	100
Oxígeno disuelto (OD) final	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
O.D inicial - O.D final	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
DBO₅ (mg/L)	420							

NOTA: estas muestras han sido diluidas 100 veces antes de ser cultivados.

ANEXO N° 11. CALCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 2 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

CÁLCULO DE LA D.B.O DE LA DILUCIÓN DEL GRUPO DE PRUEBA 2								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución	100	100	100	100	100	100	100	100
Oxígeno disuelto (OD) final	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
O.D inicial - O.D final	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
DBO (mg/L)	420							

NOTA: estas muestras han sido diluidas 100 veces antes de ser cultivados.

ANEXO N° 12. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 3 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:
N = normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂
V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂)
X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota
8= peso equivalente al Oxigeno
1000= miliequivalentes

CÁLCULO DE LA D.B.O DE LA DILUCIÓN DEL GRUPO DE PRUEBA 3								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución	100	100	100	100	100	100	100	100
Oxígeno disuelto (OD) final	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
O.D inicial - O.D final	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
DBO (mg/L)	420							

NOTA: estas muestras han sido diluidas 100 veces antes de ser cultivados.

ANEXO N° 13. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 4 ANTES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃. 5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃. 5H₂)

X = Numero de gramos de Oxígeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxígeno

1000= miliequivalentes

CÁLCULO DE LA D.B.O DE LA DILUCIÓN DEL GRUPO DE PRUEBA 4								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución	100	100	100	100	100	100	100	100
Oxígeno disuelto (OD) final	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
O.D inicial - O.D final	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
DBO (mg/L)	420							

NOTA: estas muestras han sido diluidas 100 veces antes de ser cultivados

ANEXO N° 14. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 1 DESPUES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

TABLA DE PRUEBA 1								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución antes de cultivar en el digestor	40	40	40	40	40	40	40	40
Oxígeno disuelto (OD) final	1.5	1.5	2.3	2.4	2.6	2.7	3.0	3.0
O.D inicial - O.D final	6.0	6.0	5.3	5.1	5.0	4.8	4.5	4.5
DBO (mg/L)	240	240	210	204	198	192	180	180

NOTA: estas muestras han sido diluidas 40 veces antes de ser cultivados.

CÁLCULO DE O.D DESPUES DE LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS A 20 C° - PRUEBA 1								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
N	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375
V final	19	18	17	16	17	18	20	22
V inicial	18.6	17.7	16.7	15.7	16.7	17.7	19.7	21.7
Vg	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
V.A (volumen de la alícuota)	20	20	20	20	20	20	20	20
X (gramos)	0.00003	0.00003	0.000045	0.000048	0.000051	0.000054	0.00006	0.00006
X (Miligramos)	0.03	0.03	0.045	0.048	0.051	0.054	0.06	0.06
Valor para la conversión a un litro	50	50	50	50	50	50	50	50
OD final (después de la digestión de la muestra a 20 C°) mg/L	1.5	1.5	2.25	2.4	2.55	2.7	3	3

ANEXO N° 15. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 2 DESPUES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

TABLA DE PRUEBA 2								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución antes de cultivar en el digestor	40	40	40	40	40	40	40	40
Oxígeno disuelto (OD) final	6.3	6.4	6.6	6.9	6.8	6.9	7	7.1
O.D inicial - O.D final	1.2	1.1	0.9	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4
DBO (mg/L)	48	44	36	24	28	24	20	16

NOTA: estas muestras han sido diluidas 40 veces antes de ser cultivados

CÁLCULO DE O.D DESPUES DE LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS A 20 C° - PRUEBA 2

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
N	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375
V final	21	19	21	23	21	20	19	18
V inicial	20.6	18.6	20.6	22.5	20.5	19.5	18.5	17.5
Vg	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V.A (volumen de la alícuota)	20	20	20	20	20	20	20	20
X (gramos)	0.000126	0.000128	0.000132	0.000138	0.000136	0.000138	0.00014	0.000142
X (Miligramos)	0.126	0.128	0.132	0.138	0.136	0.138	0.14	0.142
Valor para la conversión a un litro	50	50	50	50	50	50	50	50
OD final (después de la digestión de la muestra a 20 C°)	6.3	6.4	6.6	6.9	6.8	6.9	7	7.1

ANEXO N° 16. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 3 DESPUES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃.5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃.5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

TABLA DE PRUEBA 3								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución antes de cultivar en el digestor	40	40	40	40	40	40	40	40
Oxígeno disuelto (OD) final	6.6	6.7	6.8	6.9	7	7.1	7.2	7.3
O.D inicial - O.D final	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
DBO (mg/L)	36	32	28	24	20	16	12	8

NOTA: estas muestras han sido diluidas 40 veces antes de ser cultivados

CÁLCULO DE O.D DESPUES DE LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS A 20 C° - PRUEBA 3								
	B1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8
N	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375
V final	21	19	17	19	21	20	19	18
V inicial	20.6	18.6	16.5	18.5	20.5	19.5	18.5	17.5
Vg	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V.A (volumen de la alícuota)	20	20	20	20	20	20	20	20
X (gramos)	0.000132	0.000134	0.000136	0.000138	0.00014	0.000142	0.000144	0.000146
X (Miligramos)	0.132	0.134	0.136	0.138	0.14	0.142	0.144	0.146
Valor para la conversión a un litro	50	50	50	50	50	50	50	50
OD final (después de la digestión de la muestra a 20 C°)	6.6	6.7	6.8	6.9	7	7.1	7.2	7.3

ANEXO N° 17. CÁLCULO DE LA TITULACIÓN DE LA DBO₅ DEL GRUPO DE PRUEBA 4 DESPUES DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.

$$\frac{1000}{8} = \frac{V_g * N}{X}$$

DONDE:

N = normalidad del Na₂S₂O₃. 5H₂

V_g = volumen gastado del tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃. 5H₂)

X = Numero de gramos de Oxigeno disuelto en el volumen de la alicuota

8= peso equivalente al Oxigeno

1000= miliequivalentes

TABLA DE PRUEBA 4								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
Oxígeno disuelto (OD) inicial	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Número de veces de la dilución antes de cultivar en el digestor	40	40	40	40	40	40	40	40
Oxígeno disuelto (OD) final	6.8	6.9	7	7.1	7.2	7.4	7.4	7.4
O.D inicial - O.D final	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1
DBO (mg/L)	28	24	20	16	12	4	4	4

NOTA: estas muestras han sido diluidas 40 veces antes de ser cultivados

CÁLCULO DE O.D DESPUES DE LA DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS A 20 C° - PRUEBA 4								
	C1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
N	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375
V final	19.5	21.5	23.5	20.5	22.5	21.5	18.5	20.5
V inicial	19	21	23	20	22	21	18	20
Vg	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V.A (volumen de la alícuota)	20	20	20	20	20	20	20	20
X (gramos)	0.000136	0.000138	0.00014	0.000142	0.000144	0.000148	0.000148	0.000148
X (Miligramos)	0.136	0.138	0.14	0.142	0.144	0.148	0.148	0.148
Valor para la conversión a un litro	50	50	50	50	50	50	50	50
OD final (después de la digestión de la muestra a 20 C°)	6.8	6.9	7	7.1	7.2	7.4	7.4	7.4