



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**TRATAMIENTO FISICO-QUÍMICO PARA LA
REMEDIACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO
SANITARIO NARANJAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
CAL, ZEOLITA Y CLORO.
TRABAJO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR
QUIROZ JIMÉNEZ LEONARDO ANDRÉS**

**TUTOR
ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO M.Sc.**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA REMEDIACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO NARANJAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAL, ZEOLITA Y CLORO**, realizado por el estudiante **QUIROZ JIMÉNEZ LEONARDO ANDRÉS**; con cédula de identidad N°**080417441-5** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

**Ing. Arcos Jácome Diego Armando
Tutor**

Guayaquil, 08 de septiembre del 2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA REMEDIACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO NARANJAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAL, ZEOLITA Y CLORO”**, realizado por el estudiante **QUIROZ JIMÉNEZ LEONARDO ANDRÉS**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

GARCÍA ORTEGA YOANSI, M.Sc.
PRESIDENTE

FACUY DELGADO JUSSEN, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

CRESPO LEÓN KARLA, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ARCOS JÁCOME DIEGO, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 07 de Septiembre del 2020

Dedicatoria

A mis cuatro madres; Ana Jiménez, Mariana Márquez, Angelita Jiménez y Patricia Jiménez. Por ser ese pilar fundamental dentro de mi vida académica y por todo el cariño que siempre me transmiten.

Y al resto de mi familia, por todo el apoyo incondicional que me brindan cada día.

Agradecimiento

Gracias a mi familia y amigos por siempre estar allí apoyándome en mis decisiones.

A cada uno de los docentes que estuvo presente conmigo durante mi estancia en la Universidad, en especial a mi tutor de tesis Ing. Diego Arcos por todo su apoyo y predisposición en el trabajo realizado y al Ing. Carlos Banchón por inculcarme sus conocimientos innovadores.

A la Universidad Agraria del Ecuador por permitirme ser parte de esta prestigiosa institución y por todos los conocimientos adquiridos.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo QUIROZ JIMÉNEZ LEONARDO ANDRÉS, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO PARA LA REMEDIACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO NARANJAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CAL, ZEOLITA Y CLORO”** para optar el título de **INGENIERÍA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 08 de septiembre del 2020

QUIROZ JIMÉNEZ LEONARDO ANDRÉS
C.I. 0804174415

Índice General

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice General.....	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Resumen	14
Abstract.....	15
1. Introducción.....	16
1.1 Antecedentes del problema.....	16
1.2 Planteamiento y formulación del problema	18
1.2.1. Planteamiento del problema.....	18
1.2.1. Formulación del problema.....	19
1.3 Justificación de la investigación	19
1.4 Delimitación de la investigación	20
1.5 Objetivo general	21
1.6 Objetivos específicos	21
1.7 Hipótesis	21
2. Marco teórico.....	22
2.1 Estado del arte.....	22
2.2 Bases teóricas.....	24

2.2.1.	Desechos solidos.....	24
2.2.2.	Relleno sanitario	25
2.2.3.	Lixiviados.....	25
2.2.3.1.	<i>Composición y calidad de los lixiviados</i>	26
2.2.3.1.1.	<i>DQO</i>	27
2.2.3.1.2.	<i>Turbidez</i>	27
2.2.3.1.3.	<i>Potencial Hidrógeno</i>	27
2.2.3.2.	<i>Contaminación al ambiente</i>	27
2.2.3.3.	<i>Afectaciones a la salud humana</i>	28
2.2.4.	Alternativas de tratamientos de lixiviados.....	29
2.2.4.1.	<i>Tratamientos biológicos</i>	29
2.2.4.1.1.	<i>Anaerobios</i>	29
2.2.4.1.2.	<i>Aerobios</i>	30
2.2.4.2.	<i>Sistemas naturales</i>	30
2.2.4.3.	<i>Recirculación de lixiviados</i>	30
2.2.5.	Sistemas de Tratamientos Físico-Químicos	31
2.2.5.1.	<i>Coagulación-floculación</i>	31
2.2.5.1.1.	<i>Cal apagada</i>	32
2.2.5.2.	<i>Adsorción</i>	33
2.2.5.2.1.	<i>Zeolita</i>	33
2.2.5.2.2.	<i>Tipos de zeolita</i>	33
2.2.5.2.3.	<i>Uso para tratamiento de lixiviados</i>	35
2.2.5.3.	<i>Oxidación</i>	35
2.2.5.3.1.	<i>Cloro granular</i>	35
2.3	Marco legal.....	36

3.	Materiales y métodos	39
3.1	Enfoque de la investigación	39
3.1.1.	Tipo de investigación	39
3.1.2.	Diseño de investigación	39
3.2	Metodología	40
3.2.1.	Variables	40
	3.2.1.1. Variable independiente	40
	3.2.1.2. Variable dependiente	40
3.2.2.	Tratamientos	41
3.2.3.	Diseño experimental	41
3.2.4.	Recolección de datos	42
	3.2.4.1. Recursos	42
	3.2.4.2. Métodos y técnicas	42
3.2.5.	Análisis estadístico	45
4.	Resultados	46
4.1	Comparación de los resultados de los análisis físicos y químicos iniciales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal con la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097 A.	46
4.2	Determinación del porcentaje de remoción de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal mediante pruebas de tratabilidad.	46
4.2.1	Resultados de Sólidos Totales aplicando Cal e Hipoclorito de Calcio 47	
4.2.2	Resultados de Sólidos Suspendidos Totales aplicando Cal e Hipoclorito de Calcio	48

4.2.3	Resultados de Turbidez aplicando Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita	49
4.2.4	Resultados de pH aplicando Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita.....	50
4.2.5	Resultados de Coliformes Fecales aplicando Cal.....	51
4.2.6	Comparación de los resultados del tratamiento compuesto (T10) con el AM 097^a	52
4.2.7	Comparación entre los tratamientos con sus mejores dosis y el tratamiento 10 con el Acuerdo Ministerial 097^a y el valor inicial.....	54
4.3	Realización de una propuesta técnica económica del tratamiento propuesto de acuerdo a los resultados obtenidos.....	57
5.	Discusión	60
6.	Conclusiones.....	62
7.	Recomendaciones.....	63
8.	Bibliografía.....	64
9.	Anexos	73

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de los componentes de un lixiviado joven y uno viejo..	27
Tabla 2. Descripción de los tratamientos a emplearse.....	41
Tabla 3. Caracterización inicial de los parámetros a estudiar	46
Tabla 4. Comparación del Tratamiento 10 con el Acuerdo Ministerial 097A....	53
Tabla 5. Cantidad y precio de los reactivos empleados en la propuesta.....	59
Tabla 6. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	81
Tabla 7. Análisis de la Varianza para Sólidos totales.....	82
Tabla 8. Test: Duncan Alfa = 0,05.....	82
Tabla 9. Análisis de la Varianza para Sólidos suspendidos totales.....	82
Tabla 10. Test: Duncan Alfa = 0,05.....	82
Tabla 11. Análisis de la Varianza para pH	83
Tabla 12. Test: Duncan Alfa = 0,05.....	83
Tabla 13. Analisis de la Varianza para Turbidez	83
Tabla 14. Test: Duncan Alfa = 0,05.....	83
Tabla 15. Análisis de Varianza para Coliformes totales	84
Tabla 16. Test: Duncan Alfa = 0,05.....	84

Índice de figuras

Figura 1. Aplicación de la Cal e Hipoclorito de Calcio en 3 dosis distintas para remover St.....	48
Figura 2, Aplicación de la Cal e Hipoclorito de Calcio en 3 dosis distintas para remover Sst	49
Figura 3. Aplicación de la Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita en 3 dosis distintas para remover Turbidez	50
Figura 4. Aplicación de la Cal, Hipoclorito de Calcio y Turbidez en 3 dosis distintas para determinar pH	51
Figura 5. Aplicación de la Cal en 3 dosis distintas para remover Coliformes ...	51
Figura 6. Aplicación del Tratamiento 10 con las mejores dosis de cada reactivo	53
Figura 7. Comparación de los tratamientos para Sólidos Totales	54
Figura 8. Comparación de los tratamientos para Sólidos Suspendidos Totales	55
Figura 9. Comparación de los tratamientos para pH.....	55
Figura 10. Comparación de los tratamientos para la Turbidez.....	56
Figura 11. Comparación de los tratamientos para Coliformes Totales.....	57
Figura 12. Diseño del Tratamiento Propuesto.....	58
Figura 13. Diagrama de Flujo de la Metodología	73
Figura 14. Disposición final de desechos sólidos	73
Figura 15. Piscina de lixiviados del Relleno Sanitario	74
Figura 16. Experimentación en el Laboratorio de Agua y Suelo de la Universidad Agraria del Ecuador.....	74
Figura 17. Caracterización inicial de sólidos totales.....	75

Figura 18. Medición del pH inicial	75
Figura 19. Determinación de Turbidez	76
Figura 20. Agitador magnético	76
Figura 21. Determinación de sólidos suspendidos totales	77
Figura 22. Colocación de las placas Petri film con las muestras de coliformes en la estufa.....	77
Figura 23. Secado de las muestras de sólidos totales en la estufa.....	78
Figura 24. Conteo de colonias de coliformes	78
Figura 25. Muestra del lixiviado inicial y muestra tratada con cal.....	79
Figura 26. Tratamientos con los reactivos por separados.....	79
Figura 27. Tratamiento completo propuesto.....	80
Figura 28. Metodología de Turbidez	85
Figura 29. Metodología de Sólidos Totales	86
Figura 30. Metodología de Sólidos Suspendidos Totales	87
Figura 31. Metodología de pH.....	88
Figura 32. Metodología de Coliformes	89

Resumen

La gestión de los residuos sólidos en los rellenos sanitarios genera lixiviados, los cuales afectan negativamente a los ecosistemas que se interrelacionan en el entorno. Por lo tanto, este estudio se enfocó en evaluar la aplicación de cal, zeolita e hipoclorito de calcio como tratamientos físicos-químicos para la depuración de lixiviados provenientes del Relleno Sanitario Naranjal Cantón Naranjal, provincia del Guayas. Se establecieron diez tratamientos (T) con tres repeticiones: Cal hidratada T1 (1g), T2 (3g), T3 (7g); Hipoclorito de Calcio T4 (1g), T5 (2g), T6 (3g); Zeolita T7 (15g), T8 (30g), T9 (40g), mientras que, el T10 se compuso de las mejores dosis de cada reactivo (Cal hidratada 3g e hipoclorito de calcio 1g) dejando de lado a la zeolita por no mostrar eficacia en la remoción de los contaminantes. Mediante las pruebas de laboratorio se determinó que para sólidos totales y coliformes totales el T10 fue el más eficiente con una remoción del 98,41% y 100% respectivamente, para la turbidez el T3 mostró el mejor resultado en dosis de 7g con una remoción de 94% similar al T10 93,8%. Por último, para sólidos suspendidos totales el hipoclorito de calcio obtuvo los mejores resultados 97,65% aplicando 1g similar al T10 95,71% y el pH al aplicar 2g se mantuvo dentro de los límites permisibles. Llegando a concluir que el T10 por ser un tratamiento completo (coagulación-floculación y oxidación) es adecuado para la remoción de lixiviados.

Palabras claves: coagulación, floculación, lixiviado, oxidación, residuos sólidos

Abstract

The management of solid waste in sanitary landfills generates leachates, which negatively affect the ecosystems that are interrelated in the environment. Therefore, this study focused on evaluating the application of lime, zeolite, and calcium hypochlorite as physical-chemical treatments for the purification of leachates from the Naranjal Sanitary Landfill, Guayas province. Ten treatments (T) were established with three repetitions: hydrated lime T1 (1g), T2 (3g), T3 (7g); Calcium Hypochlorite T4 (1g), T5 (2g), T6 (3g); Zeolite T7 (15g), T8 (30g), T9 (40g), while T10 was made up of the best doses of each reagent (hydrated lime 3g and calcium hypochlorite 1g), leaving aside zeolite for not showing efficacy in the removal of contaminants. Through laboratory tests, it was determined that for total solids and total coliforms T10 was the most efficient with removal of 98.41% and 100% respectively, for turbidity, T3 showed the best result in doses of 7g with a removal of 94% similar to T10 93.8%. Finally, for total suspended solids, calcium hypochlorite obtained the best results 97.65% applying 1g similar to T10 95.71%, and the pH when applying 2g was kept within the permissible limits. It was concluded that T10 being a complete treatment (coagulation-flocculation and oxidation) is suitable for the removal of leachate.

Keywords: coagulation, flocculation, leachate, oxidation, solid waste.

1. Introducción

La gestión de los residuos sólidos se ha consolidado como una problemática de índole ambiental, social y económica a nivel mundial, dado al gran volumen de desechos que se incrementan diariamente (Quintero Ramírez et al., 2017). Los rellenos sanitarios han servido de acopio de los desechos a través de los años, pero su tendencia es de ir desapareciendo debido a su costosa tecnología de impermeabilización para tratar lixiviados, además de, la poca disponibilidad de suelos (López-Vega & Santos-Herrero, 2017). El lixiviado se clasifica dependiendo el tiempo de vida útil del relleno sanitario y cuya composición es compleja por las diferentes sustancias que derivan de los desechos (Martínez-López et al., 2014).

Las alternativas de tratamientos de lixiviados se pueden jerarquizar dependiendo de diversas características como por el tipo de contaminación que puedan remover y de acuerdo a los niveles que se logren alcanzar de efectividad aplicando cada una de ellas, entre los tratamientos más usados están los fisicoquímicos como: coagulación-floculación, oxidación, absorción (Giraldo, 2001). Por tanto, en esta investigación se evaluó la efectividad de la cal, zeolita e Hipoclorito de Calcio como tratamientos físicos-químicos para la remediación de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal ubicado en el Cantón Naranjal provincia del Guayas, con la finalidad de bajar las cargas contaminantes y poder aprovechar estas aguas.

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial, el confinamiento y gestión de la basura manifiesta hoy en día uno de los mayores problemas (Sumathi et al., 2008). De igual manera, la incertidumbre de los desechos sólidos proyecta un empeoramiento debido al crecimiento poblacional e industrial, generando múltiples afectaciones al ambiente

(Ojeda et al., 2008). Por lo cual, la gestión de los desechos sólidos de las ciudades integra una gran problemática ambiental, social, económica, dado que el volumen de los desechos está incrementando a diario (Renou et al., 2008). Así mismo, se considera que se producen 1.3 billones de desechos sólidos al año, de este valor aproximadamente 340 millones de toneladas son dispuestas en rellenos sanitarios (Hidalgo et al., 2016). También, los rellenos sanitarios ilícitos o no regulados sirven de servicio para 4 mil millones de habitantes, aportando más del 40% de residuos en el planeta (Banco Mundial, 2016).

En Europa, los residuos domésticos por habitante al día comprenden 2 kg en países industrializados (León-Gómez et al., 2015). A su vez, España recibe alrededor de 21.9 millones de toneladas de basura anualmente en sus rellenos sanitarios, lo que equivale a 463 kg por habitante (Hidalgo et al., 2016).

En Latinoamérica, los residuos sólidos alcanzan valores de 541.000 toneladas al día, mientras que la cantidad que termina en los botaderos a cielo abierto es de 145.000 toneladas al día (ONU, 2018). Por lo tanto, los habitantes de esta región producimos 1kg de basura por día (ONU, 2018). Mientras que, 7 millones de toneladas de basura se generan en el Perú anualmente, y menos del 50% son destinados a un relleno sanitario (PNUD, 2018). También, un estudio realizado en Cuba sobre el balance hídrico de un vertedero para comprobar cuantos lixiviados se producen en época seca y lluviosa dio como resultados 12,74 m³/d; y 41,23 m³/d respectivamente, siendo mayor el promedio en época lluviosa (Pellón Arrechea et al., 2015).

En Ecuador, 58.829 toneladas de desechos sólidos son generadas a la semana (Solíz, 2015). También, el 50% de los GADM realizan la gestión de residuos de una manera adecuada y se proyecta a un 86% para el 2020

(Ministerio del Ambiente, 2016). A su vez, en Quito se generó un promedio de 2.100 ton/día de residuos sólidos urbanos, lo que provocó desde el inicio del año un volumen de lixiviado acumulado de 47.727,95 m³ en las 11 piscinas con las que cuenta el Relleno Sanitario el Inca (EMGIRS EP, 2018). Por lo tanto, es de alta relevancia el estudio de los lixiviados ya estos son generados por la putrefacción de los desechos sólidos y poseen una gran carga de contaminante.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

Un relleno sanitario municipal representa un área empleada para la disposición final de residuos urbanos (León-Gómez et al., 2015). Por lo tanto, los lixiviados resultan de la infiltración de líquidos provenientes de los residuos sólidos a consecuencia de la putrefacción en el proceso de estabilización, y contienen una composición muy tóxica y variable (Méndez Novelo et al., 2010). También, el principal impacto ambiental está relacionado a la contaminación de aguas tanto superficiales como subterráneas (Pablos et al., 2011).

En el año 2017, Ecuador acopió 12.337,26 toneladas de basura al día, el 84.3% fueron acumuladas de forma no diferenciada y el 15.7% fue diferenciado (Censos, 2017). También, un ecuatoriano genera 0.86 kg de residuos sólidos al día en las zonas urbanas (Censos, 2017).

Cabe mencionar, que el relleno sanitario de Naranjal se encuentra ubicado en la zona vía hacienda la Fátima a 17 km de distancia del sector urbano y cuenta con 5 ha, donde, además se hayan una zona para lombricultura y reciclaje. Por lo tanto, la problemática radica en el crecimiento poblacional de este Cantón ya que antes contaba con 69.012 habitantes (INEC, 2010). También, es una ciudad que se dedica a la producción agrícola, ganadera, la pesca y silvicultura lo que

conlleva a grandes cantidades de desechos, según estudios previos, de 3 a 4 toneladas de residuos por día ingresan al relleno sanitario lo que equivale a 43 kg y 58 kg por habitante respectivamente, sin ser clasificados produciendo aglomerados de basuras continuamente.

A su vez, el relleno sanitario Naranjal cuenta con una piscina para disposición de los lixiviados procedentes de los residuos a los cuales se les aplica un tratamiento inadecuado y se los recircula al relleno sanitario, siendo una técnica muy común pero que no abarca un tratamiento apropiado, además genera mayores concentraciones de contaminantes. A su vez, se encuentran a la intemperie de las precipitaciones que modifican la composición de los lixiviados y en ocasiones permiten el rebose de estos a la superficie para posteriormente contaminar el ambiente (Méndez Novelo et al., 2009).

Por lo tanto, es importante considerar un tratamiento completo de los lixiviados para este relleno sanitario que cumpla dentro de los límites permisibles con la normativa ambiental vigente (Acuerdo Ministerial 097^a), además, que sea amigable con el ambiente y económicamente más rentable. De tal forma, que se minimice su impacto al ambiente y la salud.

1.2.1. Formulación del problema

¿Cuál es la efectividad de la zeolita, cal y cloro para remover turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de los lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal (RESANAR)?

1.3 Justificación de la investigación

Una de las problemáticas de los rellenos sanitarios es la generación de lixiviados, los cuales tienen altas concentraciones de compuesto inorgánicos y orgánicos que contaminan el recurso agua, suelo y aire si no son tratados

adecuadamente. Por lo tanto, las diversas opciones de tratamientos de lixiviados se recomiendan de acuerdo a la efectividad que estas poseen para remover un tipo de contaminante, los lixiviados comprenden altas concentraciones de sustancias tóxicas por lo cual es necesario tratarlos (Martínez-López et al., 2014).

En el caso de estudio, los lixiviados no son tratados de manera adecuada. Por lo cual, el presente trabajo se enfocó en darle un tratamiento adecuado propuesto por el personal encargado del relleno sanitario, por medio de procesos físico-químicos aplicando cal, zeolita y cloro con la finalidad que los parámetros introducidos cumplan con el Acuerdo Ministerial 097 A para ser descargados a un cuerpo hídrico y evitar su acopiamiento que representa una fuente de contaminación inminente para el ambiente y la salud humana. Además, que sea económicamente más rentable.

Esta investigación presentó información importante, que podrá servir como guía para las autoridades con la finalidad de reducir los impactos de la contaminación por lixiviados al ambiente. También, es un incentivo para estudios a futuro.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La toma de muestras se llevó a cabo en el relleno sanitario del Cantón Naranjal, mientras que, la caracterización y el tratamiento se efectuó en los laboratorios de agua y suelo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Agraria del Ecuador unidad académica Guayaquil.
- **Tiempo:** 4 meses

1.5 Objetivo general

Evaluar la aplicación de cal, zeolita y cloro como tratamientos físicos-químicos para la depuración de lixiviados provenientes del Relleno Sanitario Naranjal (RESANAR).

1.6 Objetivos específicos

- Comparar los resultados de los análisis físicos y químicos iniciales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal con la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097 A.
- Determinar el porcentaje de remoción de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal mediante pruebas de tratabilidad.
- Realizar una propuesta técnica económica del tratamiento propuesto de acuerdo a los resultados obtenidos.

1.7 Hipótesis

La implementación de los tratamientos físicos-químicos mediante la aplicación cloro, cal, zeolita reducirá el porcentaje de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de los lixiviados del RESANAR.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

De acuerdo a investigaciones bibliográficas el hidróxido cálcico (Cal) elimina un 90% de metales pesados y un 70 a 90% de turbidez, materia en suspensión y color aplicando una dosis de 1 a 15 g/l en una muestra de lixiviado (Amokrane et al., 1997). De igual forma, aplicando una dosis de 1 g/l el porcentaje de remoción de la DQO es de 45% a un pH 12 (Kargi & Pamukoglu, 2003). También, la aplicación de Zeolita después de un proceso con coagulación-floculación elimina aproximadamente un 50% de DQO, además de tener una gran eficiencia para eliminar metales pesados (Otall et al., 2003). Mientras que, el cloro por oxidación química tiende a eliminar un gran porcentaje de hierro, color y un 48% de DQO (Ho et al., 1974).

En Marruecos, se estudió y se comparó la aplicación de 3 coagulantes: sulfato de aluminio, cloruro de hierro e hidróxido de calcio a diferentes dosis en muestras de lixiviados del vertedero Fkih Ben Salah. Los resultados obtenidos dentro de esta investigación muestran que la Cal es el coagulante más eficaz con niveles de remoción de turbidez, SST y DQO de 90,30%; 81,79%; 90,29% respectivamente a una dosis optima de 10 g/l (Hasna et al., 2016).

Mientras que, en la ciudad de Mohammedia (Marruecos) se aplicó un tratamiento de coagulación-floculación en lixiviados de su relleno sanitario. Como coagulante se utilizó el hidróxido de calcio a una dosis de 15 g/l y como floculante se aplicó el cloruro férrico a dosis de 2,5 g/l. La eliminación máxima sólidos suspendidos, DQO, turbidez y conductividad fue de 46%, 60%, 45% y 30% respectivamente (Mabrouki et al., 2020).

En Perú, se realizó una investigación sobre el tratamiento de las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago – B. su

metodología se basa en aplicación de la cal como coagulante-floculante para evaluar la sedimentación de los SST y reducir la turbidez, se empleó el test de jarra y se realizaron pruebas de sedimentación en probetas y en vasos precipitados, de igual manera las pruebas de turbidez y sedimentación de SST. Como resultado, la dosis optima de cal fue de 0,3 g/l con una remoción de 99,97% para turbidez y SST respectivamente (Tejada Mayta, 2017).

Otro estudio en Perú (Puno), evaluó la capacidad de los floculantes alumbre andino (kollpa) y cal artesanal para la remediación de los contaminantes de las aguas residuales. Utilizando el método de floculación y sedimentación de flujo ascendente con cal artesanal del 50% de pureza con un pH de 10 y el alumbre andino (kollpa) del 49% de pureza con un pH de 7,3. Los resultados con la cal artesanal mostraron la remoción del 84,16% de SST, 83,63% de turbidez, 66,66% de conductividad eléctrica, 74,69 de fosforo y 91,13 de DQO (Sánchez & Marlene, 2016).

En México, se aplicó un sistema de tratamiento fenton/filtración/absorción, primero se realizó la prueba de jarra con los reactivos empleados y se dejó sedimentar. Luego, las muestras se filtraron con un papel de filtro de retención de sólidos menores a 4 μm , para luego depositarlas en un recipiente con carbón activado. Finalmente, los resultados mostraron que la remoción de la DQO fue de 99,9% de los cuales solo 9,1% se logró con el proceso de absorción, de igual manera, la clarificación del color fue de 95,7% (Méndez Novelo et al., 2019).

En la ciudad de Piura (Perú), se evaluó la aplicación de bacterias degradantes cultivadas y el hipoclorito de calcio en muestras de aguas residuales mediante análisis de laboratorio para luego aplicar la metodología en un tanque de Imhoff. Para el hipoclorito de calcio, se probaron varias dosis para obtener la mejor

mediante un agitador y luego se dejó sedimentar, mientras que para las bacterias se realizó un cultivo. Los resultados con hipoclorito de calcio mostraron la remoción de 4,58% de coliformes totales, 6,66% de coliformes fecales, mientras que la dosis óptima de hipoclorito de calcio fue de 15 ppm (Jabo & Nicole, 2018).

En el cantón Guaranda Provincia de Bolívar, se propuso un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de tres reactivos: Policloruro de Aluminio, auxiliar iónico CHEMFLOCN-100 e Hipoclorito de calcio 6 ppm, a los cuales se les realizó pruebas de tratabilidad para determinar la mejor dosis las cuales fueron 3,5 ppm; 0,8 ppm; 6 ppm respectivamente. El hipoclorito de calcio se lo utilizó para la depuración de microorganismos como coliformes totales y fecales con una remoción de 99,99%, además se obtuvieron buenos resultados de color con una remoción del 97,85%, turbidez de 99,53% y SST de 90,92% (Calderón & Cecilia, 2016).

En el Cantón Chimbo, Provincia de Bolívar, se evaluó la eficiencia del carbón activado y la zeolita como catalizadores de un proceso de oxidación avanzada en lixiviados provenientes del botadero de Naranjito, el oxidante que reaccionó con cada uno de los catalizadores fue el peróxido de hidrógeno al 50%. Se aplicaron varias dosis de catalizadores y el peróxido de hidrógeno para determinar sus eficiencias. Los resultados con zeolita mostraron la remoción del 30% de DQO, 86% del color y 96% de turbidez (Salazar & Maribel, 2019).

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Desechos solidos

Se los define como cualquier material producto de la transformación de la materia prima y del consumo de esta, cuya calidad no confiere usarlo de nuevo dentro del proceso que lo genero. Se puede tratar de algún tipo de sustancia o

mezclas de sustancias peligrosas o no peligrosas en los estados gaseosos, líquidos y sólidos que requieren de una disposición final o tratamiento final (Sánchez y Gándara, 2011).

2.2.2. Relleno sanitario

La disposición final es un elemento relevante de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS), puesto que aquellos residuos sólidos urbanos (RSU) que ya no tienen vida útil necesitan un lugar para su disposición final (Torres-Lozada et al., 2014). Los rellenos sanitarios son muy empleados a nivel mundial pero por causa de la baja disponibilidad de suelo y porque dentro de los procesos de tratamientos de sus lixiviados se necesita de costos altos, su tendencia está a ir desapareciendo (López-Vega & Santos-Herrero, 2017).

Los residuos sólidos sumidos en un relleno sanitario están doblegados a cambios físicos, biológicos y químicos. La degradación biológica de los residuos orgánicos comienza en condiciones aeróbicas aprovechando el oxígeno atrapado en el relleno, al agotarse el aire el proceso sigue en condiciones anaerobias. La degradación de los desechos esta repercutida por la composición de los residuos sólidos municipales, la humedad, la temperatura y el grado de compactación (López-Vega & Santos-Herrero, 2017).

2.2.3. Lixiviados

Los lixiviados son subproductos de los procesos dentro de un relleno sanitario (Torres-Lozada et al., 2014). Los lixiviados son el efecto de la infiltración de líquidos a medida que se van descomponiendo los residuos sólidos estabilizados en los rellenos sanitarios, la dificultad de su tratamiento es porque su estructura es muy variable y toxica. Una de sus fuentes primarias son las precipitaciones depositadas en los vertederos y la humedad de sus residuos que se percolan

ocasionando todo tipo de reacciones fisicoquímicas y biológicas (Méndez Novelo et al., 2009).

2.2.3.1. Composición y calidad de los lixiviados

Los compuestos inorgánicos y orgánicos solubles presentes en la basura se forman por el resultado de la transformación biológica y química dentro del relleno sanitario, los efectos de estos procesos aportan significativamente a la manifestación de compuestos orgánicos dentro de los lixiviados (El-Fadel et al., 2002). La materia orgánica fácilmente biodegradable tiene altas concentraciones de amoníaco y ácidos grasos volátiles, por lo tanto, estos ácidos se mezclan con el lixiviado del vertedero le bajan el pH y aportan a la solubilización de los metales que se encuentran en los desechos (Giraldo, 2001).

Las zonas de depósitos de lixiviados que han sido llenadas recientemente contienen un alto grado de contaminación, cuyas aguas se las denomina como lixiviados jóvenes. Por lo consiguiente, las concentraciones de las sustancias que ingresaron a estos yacimientos vírgenes con el tiempo tienden a disminuir. Sin embargo, sabiendo que un relleno sanitario tiene una vida útil muy larga constantemente habrá una parte del vertedero que concede lixiviado joven, de igual forma tendrá aporte de lixiviados maduros (<5 años) y lixiviados viejos (>5 años) (Giraldo, 2001). Por lo tanto, se puede decir que los lixiviados jóvenes aportan una mayor contaminación a diferencia de los viejos que naturalmente se estabilizan regulando su carga contaminante como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de los componentes de un lixiviado joven y uno viejo

Característica	Lixiviado Joven	Lixiviado Viejo
DBO	Muy alto	Bajo
DQO	Muy alto	Alto
Amoniaco	Muy alto	Alto
Fósforo	Usualmente deficiente	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy altos	Bajos
Sales disueltas	Muy altas	Bajas (relativamente)
Agentes incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy altos	Bajos
Metales pesados	Muy altos	Bajos

(Giraldo, 2001)

2.2.3.1.1. DQO

La demanda química de oxígeno de un lixiviado es la dosis de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente las sustancias orgánicas que se encuentran en estas mismas aguas (W. Heinke & J. Glynn, 1999).

2.2.3.1.2. Turbidez

La turbidez es la disminución de la claridad de un fluido causado por la presencia de sólidos no disueltos diferentes al propio líquido (Acebo-González & Hernández-García, 2013).

2.2.3.1.3. Potencial Hidrógeno

El Potencial Hidrógeno es un indicador que muestra el estado alcalino o ácido de una disolución acuosa (Mansilla Canela, 2014).

2.2.3.2. Contaminación al ambiente

Los lixiviados contienen mezclas complicadas de sustancias que incorporan macro componentes inorgánicos, materia orgánica disuelta y una gran cantidad de compuestos orgánicos xenobióticos. Estas sustancias en gran cantidad dentro de los lixiviados es tóxica y peligrosa para el ambiente y la salud de los seres

vivos. Por consiguiente, estos químicos pueden bioacumularse en los organismos y pasar a través de la cadena alimenticia hasta llegar a los seres humanos (Budi et al., 2016).

El manejo inadecuado de los rellenos sanitarios urbanos (RSU) conlleva a efectos nocivos sobre el ambiente, uno de sus principales efectos es la contaminación de aguas superficiales las cuales en su mayor parte son fuentes de agua potable. Los desechos contienen materia orgánica que causan una disminución del oxígeno disuelto y un alto porcentaje de nutrientes generando procesos de eutrofización, los RSU a menudo están mezclados con desechos peligrosos industriales generando contaminación química. Todos estos factores generan la pérdida o disminución del agua para el consumo del hombre o para la recreación, afecta negativamente a la fauna acuática y degrada el paisaje (Espinosa Lloréns et al., 2010).

Otro de los efectos negativos implica la contaminación de aguas subterráneas, los lixiviados migran por medio de los desechos y la parte no saturada de la zona donde se encuentra el RSU llegando al área saturada generando la contaminación de acuíferos (Adarve Alcázar & Rebollo Ferreiro, 1992).

2.2.3.3. Afectaciones a la salud humana

Los lixiviados de un RSU provocan enfermedades graves. Manifiestan un alto contenido de materia orgánica, dentro de la cual se encuentran organismos patógenos como: *escherichia coli*, *hafnia alvei* y *citrobacter freundii*. Así mismo, se encuentran sustancias cancerígenas como el arsénico. Entre los contaminantes está el plomo que proviene de los desechos de baterías y pueden afectar problemas cerebrales en niños e hipertensión arterial en adultos. También, el

mercurio y el cadmio que generan lesiones neurológicas, renales y hepáticas (Ramos, 2009).

2.2.4. Alternativas de tratamientos de lixiviados

Las opciones de tratamientos de lixiviados se pueden catalogar de acuerdo a diversas características, como los niveles de tratamientos que se obtengan con cada una de estas alternativas o por el tipo de polución que puedan depurar. Los lixiviados tienen todos los grandes grupos de contaminación lo que implica en algunos casos la dificultad de la remoción de un grupo debido a la presencia de otro, como por ejemplo: la remoción de los metales pesados y materia orgánica (Martinez-Lopez et al., 2014).

2.2.4.1. Tratamientos biológicos

Los lixiviados comprenden una alta concentración de materia orgánica disuelta. Por lo tanto, estas tecnologías clásicas se aplican exclusivamente para la remoción de materia orgánica (Giraldo, 2001).

2.2.4.1.1. Anaerobios

Se utilizan para lixiviados con altas concentraciones de materia orgánica de fácil biodegradabilidad, existen muchos tipos de tratamientos anaerobios como: lagunas anaerobias, filtros anaerobios, sistemas de lecho fluidizado. Con lo que respecta a la disminución de DBO, estas tecnologías presentan altas eficiencias a cargas razonables. También, se aplican para alcanzar niveles de tratamientos secundarios pero su mayor eficiencia se evidencia usándolas como pre tratamiento (Giraldo, 2001). Este tratamiento se fundamenta en la aplicación bacteriana en estado de ausencia de oxígeno permitiéndole ser un proceso simple y que no genera demasiado lodo (Martinez-Lopez et al., 2014).

2.2.4.1.2. Aerobios

Son aplicados cuando se requiere obtener bajos niveles de DBO en un efluente. Este proceso es óptimo debido a que los lixiviados contienen gran cantidad de DBO, por lo tanto, tiene un porcentaje de remoción mayor a 90% pero la DBO remanente puede ser aun elevada. Los costos de este sistema de tratamiento son relativamente altos cuando se trabaja con lixiviados concentrados jóvenes, mientras que si se refieren a concentraciones medias o bajas de DBO los costos reducen. Por lo tanto, estas tecnologías se aplican como post tratamiento a sistemas anaerobios o para lixiviados viejos que contiene bajos niveles de DBO (Giraldo, 2001).

2.2.4.2. *Sistemas naturales*

Los sistemas naturales, humedales artificiales y lagunas poseen la virtud de simplicidad en sus procesos y la facultad de alcanzar distintos niveles de tratamientos desde un pre tratamiento hasta uno terciario. La combinación de estos pueden mejorar muchos de los problemas que otros tratamientos no son capaces debido a la versatilidad en sus procesos como la acumulación de precipitados, la toxicidad a los microorganismos, la formación de espumas y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas (Giraldo, 2001).

2.2.4.3. *Recirculación de lixiviados*

Es uno de los procedimientos en el manejo de los lixiviados de un RSU, se encarga de controlar la libre dispersión de estos. Este proceso se trata de la recirculación de los lixiviados por todo el RSU a través de tuberías llegando a las zonas de descomposición de los residuos acelerando su putrefacción, tratándose por medio de procesos biológicos, precipitación y absorción. Este tratamiento es beneficioso por el aumento de la humedad la cual acelera la tasa de degradación

biológica de los desechos y la tasa de recuperación del metano generado en el relleno (Gámez et al., 2009).

2.2.5. Sistemas de Tratamientos Físico-Químicos

Los tratamientos fisicoquímicos se han utilizado a lo largo del tiempo para la depuración de lixiviados, especialmente en lixiviados de menor biodegradabilidad y con presencia de compuestos recalcitrantes y tóxicos (Lopez et al., 2004). Estos tratamientos manifiestan una gama de ventajas como la simplicidad de materiales y equipamientos, una rápida puesta en marcha, factible automatización y operación y baja sensibilidad a las variaciones de temperatura. Dentro de las desventajas están los altos costos de los químicos empleados, el gran uso de energía y los costos para la gestión de lodos que se generan en estos procesos (Kurniawan et al., 2006).

En cuanto a los sistemas fisicoquímicos de mayor aplicación en tratamiento de lixiviados son: oxidación, absorción, precipitación química, arrastre con aire, coagulación-floculación y separación por membranas. Por lo regular, estos tratamientos son convenientes para el pre tratamiento de lixiviados estabilizados para terminar el proceso de remoción biológica (Kargı & Pamukoglu, 2004).

2.2.5.1. Coagulación-floculación

Desde hace dos décadas se ha venido investigando de manera profunda los procesos de coagulación-floculación y la aplicación de recientes coagulantes y coadyuvantes tanto orgánicos como inorgánicos para lograr una efectiva depuración de la materia orgánica y sólidos suspendidos en los tratamientos de lixiviados (Aguilar, 2002).

La coagulación y floculación son procesos de desestabilización de los componentes de una sustancia por superación de las fuerzas que contiene su

estabilización para luego formar agregados, que consisten en la unión de partículas muy pequeñas las cuales por su tamaño no pueden ser removidas por filtros, para luego conformar agregados de mayor tamaño y de mayor facilidad de decantación con la finalidad de conseguir una separación por sedimentación (Aguilar, 2002).

Los reactivos utilizados en los procesos de coagulación-floculación difieren según el tipo de estudio, la mayoría aplican coagulantes clásicos como el cloruro de hierro y sulfato de aluminio o si se requiere mejores resultados se pueden combinar ambos. Así mismo es frecuente el uso de la cal viva o apagada. También son muy sensibles a la alcalinidad y pH, lo que afectaría la clarificación del lixiviado si el pH no se encuentra dentro de los intervalos óptimos para cada coagulante (Colotta, 2003; Gálvez Pérez, 2008).

2.2.5.1.1. Cal apagada

Con respecto a la variable de estudio, la cal se ha utilizado por muchos años como coagulante, pero requiere mayores dosis y la capacidad de remoción de DQO es baja por lo que se recomienda combinarlo con otro tipo de tratamiento. En un estudio se aplicó una dosis de cal de 1g/l y la remoción de la DQO fue del 45% a un pH 12 (Gálvez Pérez, 2008).

Es efectiva para remover metales pesados con un porcentaje de entre 46 a 97% (Çeçen & Gürsoy, 2000). Por consiguiente, aplicando una dosis de entre 1 y 15 g/l de cal se elimina un 90% de metales pesados, y para la eliminación de turbidez, materia en suspensión y color con un porcentaje de efectividad entre 70 a 90% (Amokrane et al., 1997).

2.2.5.2. Adsorción

Es el proceso de retención de iones o moléculas de las aguas de lixiviados sobre la superficie de un sólido. El sólido recibe la denominación de adsorbente y la sustancia adsorbida el nombre de adsorbato. La adsorción es uno de los procesos mayormente aplicados para la remoción de compuestos orgánicos recalcitrantes del lixiviado y material particulado (Fonfría et al., 1989; Kurniawan et al., 2006).

Uno de los adsorbentes de mayor uso es el carbón activado ya sea granular o en polvo, también se aplican otros materiales como la zeolita, ilitas, vermiculitas, caolinitas y cenizas incineradoras (Amokrane et al., 1997).

2.2.5.2.1. Zeolita

Las zeolitas son silicatos instituidos en una red tridimensional de tetraedros entrelazados por la compartición de oxígenos, independientemente una celda de zeolita tiene muchos más átomos de silicio que átomos de aluminio. Por lo general, el aluminio comparte a la red de zeolita una carga negativa, ordinariamente equilibrado por alcalinotérreos y cationes alcalinos (Ciullo, 1996).

Las zeolitas sintéticas están compuestas como grupos de intercambio de sodio para luego transformarse en un elemento de intercambio de hidrógeno y tierra alcalina. Este mineral tiene orificios característicos de diversas formas, en los cuales contienen agua que se puede sustraer, quedando un volumen vacío de hasta 50% como estructura microporosa. (Ciullo, 1996).

2.2.5.2.2. Tipos de zeolita

Las zeolitas pueden ser de origen natural o sintéticas, estas depende de las características específicas que cada una tengan y la idoneidad comercial para ser

aplicadas, por lo general, como materiales de intercambio iónico, tamizado molecular, catálisis y de adsorción (Ciullo, 1996).

2.2.5.2.2.1. *Zeolitas naturales*

Se han registrado muchas variedades de zeolitas naturales, pero dentro de las más empleadas en el ámbito comercial están la clinoptilolita, la mordenita y la chabazita. Estos minerales pueden estar de manera granulada o comúnmente también son trituradas y tamizadas dependiendo del tamaño de partícula que se requiera comercialmente, se encuentran disponibles en formas activadas e hidratadas pudiéndose potenciar de H^+ o Na^+ aplicándoles ácido o NaCl respectivamente (Ciullo, 1996).

2.2.5.2.2.2. *Zeolitas sintéticas*

Las zeolitas tienen la facilidad de modificarse o sintetizarse, actualmente se han sintetizado más de 100 tipos de este mineral, pero en el ámbito comercial las más utilizadas y principales son las de tipo A, X, Y, ZSM-5. Las de tipo A tienen una capacidad de intercambio iónico mayor debido a la relación 1:1 (Si:Al) y una estructura independiente cimentado en jaulas de sodalita, para utilización de intercambio iónico se venden en forma de sodio y de manera de calcio para adsorción. Las de tipo X e Y son isoestructurales con faujasita natural, pero logran ajustarse en relación Si:Al y se utilizan para procesos catalíticos mezclándose con cationes de tierras raras. Las ZSM-5 poseen una estructura pensatil con elevadas relaciones Si:Al, reduciendo la hidrofilia y el intercambio de iones pero su forma de hidrogeno genera una mayor eficacia catalítica que la diferencia de otros minerales sintéticos (Ciullo, 1996).

2.2.5.2.3. Uso para tratamiento de lixiviados

Las zeolitas ya sean de tipo natural o sintético se emplean en el tratamiento de aguas residuales y en los afluentes de los residuos industriales para eliminar metales pesados y amoníaco, el amoníaco que se logra adsorber se ventila para luego, recuperarlo para uso químico o transformarlo con ácido sulfúrico en fertilizante de sulfato de amonio. Generalmente, la más utilizada para la depuración de estas aguas es la zeolita natural clinoptilolita (Ciullo, 1996).

2.2.5.3. Oxidación

La oxidación es un procedimiento comúnmente utilizado en el tratamiento de desechos, el cual busca hacer insolubles los contaminantes modificándolos significativamente a sustancias inocuas (Ho et al., 1974).

2.2.5.3.1. Cloro granular

El cloro es uno de los oxidantes más empleados en el tratamiento de aguas residuales, en muchas situaciones es aplicado como un agente desinfectante. Desde un punto de vista económico el cloro tiene la ventaja de bajo precio por unidad de oxidación a diferencia con otros oxidantes, pero a usualmente es más temperamental en la utilización y a veces menos eficaz en la oxidación de varias sustancias orgánicas (Ho et al., 1974).

Cuando se utiliza cloro se debe ajustar el pH de 7 a 10 debido a que un pH bajo promueve la formación de derivados de cloro orgánicos, y en altos rangos de pH la reacción puede ser desactivada (Ho et al., 1974).

2.3 Marco legal

Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008. Última modificación: 01-ago.-2018

Título II Derechos, Capítulo segundo Derechos del buen vivir, Sección segunda Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Título VII Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales, Sección primera Naturaleza y ambiente.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

Código Orgánico Del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017

Libro Tercero de la Calidad Ambiental

Título II Sistema Único de Manejo Ambiental

Capítulo I del Régimen Institucional

Art. 165.- Competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las competencias referentes al proceso de evaluación de impactos, control y seguimiento de la contaminación, así como de la reparación integral de los daños ambientales deberán ser ejercidas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Metropolitanos y Municipales, a través de la acreditación otorgada por la Autoridad Ambiental Nacional, conforme a lo establecido en este Código.

Título V Gestión Integral de Residuos y Desechos

Capítulo I Disposiciones Generales

Art. 224.- Objeto. La gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, a través de un conjunto de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de gestión, de conformidad con los principios y disposiciones del Sistema Único de Manejo Ambiental.

Art. 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;
2. La responsabilidad extendida del productor o importador;
3. La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosanitarios;
4. El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación al manejo de los residuos y desechos;
5. El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;
6. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;
7. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;
8. La aplicación del principio de responsabilidad compartida, que incluye la internalización de costos, derecho a la información e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique;
9. El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;
10. La sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y desechos entre todos los sectores;
11. La jerarquización en la gestión de residuos y desechos; y,
12. Otras que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 226.- Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

1. Prevención;
2. Minimización de la generación en la fuente;
3. Aprovechamiento o valorización;
4. Eliminación; y,
5. Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles.

La Autoridad Ambiental Nacional, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio.

Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COTAAD

Art. 54.- Funciones.- Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:

- k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales;

Art. 137 párrafo IV.- Las competencias de prestación de servicios públicos de alcantarillado. Depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, y actividades de saneamiento ambiental, en todas sus fases, las ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas. Cuando estos servicios se presten en las parroquias rurales se deberá coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales.

Ley de Gestión Ambiental, Codificación 19 Registro Oficial Suplemento 418 de 10-sep-2004.

Título III Instrumentos de Gestión Ambiental

Capítulo II De la Evaluación de Impacto Ambiental y del Control Ambiental

Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.

Acuerdo Ministerial 097-A, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

5.2.4.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Adicionalmente, los límites máximos permisibles para descarga de estos lixiviados a cuerpos de agua, se regirán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto (ver anexo Tabla 6).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación documental se basa en múltiples procedimientos que conllevan a fuentes documentales, adquiridos y legalizados por otros investigadores, ya sean estos documentos impresos, electrónicos o audiovisuales (Arias, 2012). Por lo tanto, se recopilaron datos e información a través de artículos científicos, tesis, libros, revistas, que tengan relación con la temática abordada para el sustento de la problemática y procedimientos que se llevaron a cabo en esta investigación.

También, se trata de una investigación de campo ya que las muestras recolectadas fueron tomadas directamente in situ. Por lo tanto, en tiempo y espacio acorde a la realidad del problema.

La investigación descriptiva es la encargada de describir mediante palabras los diferentes aspectos de un caso de estudio y sus posibles relaciones con la finalidad de clarificar un resultado (Rojas, 2011). A partir, de los datos que se obtuvieron de la caracterización inicial del lixiviado y de los experimentos se representaron los distintos resultados los cuales se los compararon para determinar el más eficiente.

3.1.2. Diseño de investigación

La investigación experimental es una secuencia de pasos que se basa en someter a un grupo de individuos o un objeto a diversos tratamientos y condiciones, con la finalidad de observar y analizar sus reacciones (Arias, 2012). De acuerdo a la problemática y objetivos planteados esta investigación es de índole experimental, ya que la metodología se justificó en tratamientos físicos-químicos para remover turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y

sólidos totales de lixiviados de un relleno sanitario. Y a partir, de estos resultados se realizó una propuesta técnica económica del tratamiento propuesto de acuerdo a los resultados obtenidos.

3.2 Metodología

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Cal Apagada (g/l); la cal se ha utilizado por muchos años como coagulante, pero requiere mayores dosis y la capacidad de remoción de DQO es baja por lo que se recomienda combinarlo con otro tipo de tratamiento.
- Zeolita (g/l); Las zeolitas son silicatos instituidos en una red tridimensional de tetraedros entrelazados por la compartición de oxígenos, independientemente una celda de zeolita tiene muchos más átomos de silicio que átomos de aluminio. Por lo general, el aluminio comparte a la red de zeolita una carga negativa, ordinariamente equilibrado por alcalinotérreos y cationes alcalinos (Ciullo, 1996).
- Hipoclorito de Calcio (g/l); El cloro es uno de los oxidantes más empleados en el tratamiento de aguas residuales, en muchas situaciones es aplicado como un agente desinfectante. Desde un punto de vista económico el cloro tiene la ventaja de bajo precio por unidad de oxidación a diferencia con otros oxidantes (Ho et al., 1974).

3.2.1.2. Variable dependiente

- Porcentaje de remoción de los parámetros de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de los lixiviados del relleno sanitario naranjal.

3.2.2. Tratamientos

La Tabla 2, muestra los 10 tratamientos que se aplicaron en este estudio, primero se evaluaron de manera individual con diferentes dosis para obtener la mejor respuesta de dosificación. Luego, se realizó un tratamiento combinado con las mejores dosis de cada reactivo.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos a emplearse

# de tratamientos	Tratamientos	Muestra	Dosis	a	# de repeticiones
1			1 g		
2	Ca(OH) ₂	250ml	3 g		3
3			7 g		
4			1 g		
5	Ca(OCl) ₂	250ml	2 g		3
6			3 g		
7			15 g		
8	Zeolita	250ml	30 g		3
9	clinoptilolita		40 g		
			Ca(OH) ₂	a	
10	Compuesto propuesto	250ml	3g-Ca(OCl) ₂ a 1g		3

Quiroz, 2020

3.2.3. Diseño experimental

En este estudio se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) el cual involucra variables independientes presentando cada una de ellas niveles de tratamientos, los cuales son estudiados para saber cuáles son sus efectos (Sabadías, 1995). Mediante este diseño se fijaron los tratamientos que se aplicaron en las diferentes muestras.

3.2.4. Recolección de datos

Se tomó una muestra de 18 litros de lixiviado del reservorio del RESANAR y de la muestra principal se cogió 250ml para determinar pH, turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales inicial. Para el proceso de coagulación-floculación se tomaron tres muestras de 250ml, a las cuales se le añadió Cal en dosis de 1g, 7g, y 15g; la agitación fue magnética en un tiempo de 10 min, para luego dejar sedimentar por 30 min. En la adsorción, por medio de zeolitas en muestras de lixiviado de 250ml se aplicaron dosis de 15g, 30g y 40g mediante agitación magnética durante 10 min. También, se añadió 1g, 2g, 3g de Hipoclorito de calcio en tres muestras de 250ml y se agito; se caracterizaron los parámetros a estudiar.

3.2.4.1. Recursos

Recursos Bibliográficos

- Revistas científicas, libros, leyes, páginas web, libros electrónicos y tesis de grado.

Recursos Materiales

- Guantes, gorros, mascarillas, hielera, recipiente estéril (botellas de 1 litro), hielo, muestras de lixiviado, cal, zeolita y cloro.

Recursos Tecnológicos y equipos

- Laptop, cámara, turbidímetro, balanza analítica, matraz, vasos de precipitación.

3.2.4.2. Métodos y técnicas

Para la caracterización de los lixiviados del RESANAR se utilizó el método de muestreo aleatorio simple. Este método determina en que todas las muestras del mismo tamaño tienen la misma posibilidad de ser seleccionadas (Humberto,

2018). Las muestras se tomaron del reservorio de lixiviados del RESANAR. Por lo tanto, se tomó una muestra puntual superficial con un recipiente (botella) la cual se sumergió hasta lograr el llenado completo sin dejar oxígeno dentro, se almacenaron en una hielera para no modificar las propiedades de la muestra hasta llegar al laboratorio (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a, 2013b). Se efectuó la caracterización antes y después de los tratamientos donde se midieron los parámetros de pH, turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales.

- Turbidez: este se efectuó con un turbidímetro mediante el método nefelómetro.
- Coliformes totales: se realizó una dilución con agua destilada, posterior a esto se tomó una muestra de 1ml con una jeringa y se la depositó en la placa Preti Fiml 3M para luego encubarlas a temperatura de 35° durante un tiempo de 48 horas. Por último, se contó el número de colonias que hay en la muestra.
- pH: se midió mediante el uso de un pH metro antes calibrado para tener precisión en los resultados.
- Sólidos: se ejecutaron mediante el método gravimétrico a temperaturas de 103°-105°. Para sólidos totales la muestra de 100ml fue colocada en una capsula de porcelana previamente pesada y depositada en la estufa, luego se procedió a pesar nuevamente la capsula con la muestra seca para sacar la diferencia y obtener un resultado. Mientras que, para sólidos suspendidos totales se empleó la muestra haciéndola pasar por un filtro de papel previamente pesado y se puso a secar por una hora

dentro de la estufa para luego volver a pesar el papel filtro con la muestra seca.

Cabe mencionar, que todas estas metodologías están establecidas por la APHA Method 2130: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (ver anexo Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32).

Finalmente, dentro del objetivo específico 1 se realizó una comparativa de los análisis de pH, turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales con el Acuerdo Ministerial 097-A para verificar cuales son los niveles de contaminación en los lixiviados del relleno sanitario.

Luego, se determinó el porcentaje de remoción de los parámetros a estudiar mediante tratamientos físicos-químicos. Partiendo de 10 tratamientos con los reactivos: $\text{Ca}(\text{OH})_2$; $\text{Ca}(\text{OCl})_2$; zeolita, con diferentes dosis en muestras de lixiviados las cuales se agitaron para posteriormente medir los parámetros de estudio. De este modo, se obtuvo la mejor dosis individual de la cal, zeolita y cloro para la remoción de los parámetros. Posteriormente, se realizó un tratamiento en conjunto: con la mejor dosis de cada reactivo. De igual manera, se midió los parámetros a estudiar para verificar la eficiencia del sistema de tratamiento. A su vez, se realizó la comparativa con la normativa ambiental vigente.

Por último, según el anexo Figura 13 se realizó una propuesta técnica económica del tratamiento propuesto de acuerdo a los resultados obtenidos, donde se detalló las dosis a escala real de cada reactivo, los procesos a seguir para la depuración de estas aguas y el presupuesto que implicó realizar la metodología.

3.2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico que se aplicó fue “ANOVA” y test de Duncan para evaluar la significancia de uno o más factores al diferenciar las medias de las variables dependientes en los diversos niveles de los factores, mediante el software InfoStat.

Ho: Los tratamientos con cal, zeolita, cloro y asociados serán similares en porcentaje de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales.

Ha: Uno de los tratamientos será más eficiente en porcentaje de remoción de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales.

4. Resultados

4.1 Comparación de los resultados de los análisis físicos y químicos iniciales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal con la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097 A.

En la Tabla 3, se representan los resultados que se obtuvieron de la caracterización los cuales fueron comparados con la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-A del año 2015, con la finalidad de verificar los valores de los parámetros que se encuentran dentro o sobre los límites permisibles.

De tal manera, según la normativa la concentración de sólidos suspendidos totales no debe exceder los 130 mg/l, mientras que, la turbidez debe de ser máximo 100 UNT, para sólidos totales y coliformes totales la concentración máxima es de 1600 mg/l y 2000 NMP/100ml respectivamente. Por lo tanto, los valores logrados están por encima de los límites permisibles. Por último, en cuanto al pH este se encuentra dentro del Acuerdo Ministerial 097-A.

Tabla 3. Caracterización inicial de los parámetros a estudiar

Parámetros	Unidad	Valor	Acuerdo Ministerial 097-A
Sólidos suspendidos totales	mg/l	940	130
Potencial de hidrógeno)	unidades de pH	8,67	6-9
Turbidez	UNT	310,5	100
Sólidos totales	mg/l	5800	1600
Coliformes Totales	NMP/100ml	24700	2000

Quiroz 2020

4.2 Determinación del porcentaje de remoción de turbidez, coliformes totales, sólidos suspendidos totales y sólidos totales de las muestras de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal mediante pruebas de tratabilidad.

Se ejecutaron 10 tratamientos, donde se evaluaron 3 reactivos: la cal (Ca(OH)_2), el hipoclorito de calcio (Ca(OCl)_2) y la zeolita (clinoptilolita) en diferentes dosis (T) cada una con 3 repeticiones. Dentro del marco experimental, se emplearon técnicas de tratabilidad para cada uno de los parámetros estudiados, con la cal (testigo 1) se evaluaron 3 dosis: 1gr, 3gr, y 7gr; con el hipoclorito de calcio (testigo 2) se analizó en las dosis de: 1gr, 2gr y 3gr; mientras que con la zeolita se estudió en: 15gr, 30gr y 40gr. Con la finalidad de apreciar en que dosis cada uno de los reactivos es más eficiente para reducir los contaminantes y posterior a esto se aplicó un tratamiento en conjunto como propuesta para el relleno sanitario Naranjal. Cabe recalcar, que con la zeolita solo se estudió los parámetros de turbidez y pH.

4.2.1 Resultados de Sólidos Totales aplicando Cal e Hipoclorito de Calcio

En la Figura 1, se evidenció los resultados que se obtuvieron. Por lo tanto, se apreció que el T2 con un promedio de 1152 mg/l y el T3 con un valor de 999 mg/l respectivamente se encuentran por debajo de los límites permisibles permitidos en el Acuerdo Ministerial 097^a. Mientras que, el T1 1828,67 mg/l supera la normativa donde el valor permisible es de 1600 mg/l, pero dicho resultado es inferior al valor inicial que fue de 5800 mg/l. De igual manera, se representan los valores obtenidos a partir de la aplicación de Hipoclorito de calcio donde el mejor resultado fue el T4 con un valor de 1174,67 mg/l el cual está dentro del límite permisible. Por su parte, los T5 y T6 con promedios de 1664 mg/l y 1905,33 respectivamente se encuentran fuera de la normativa.

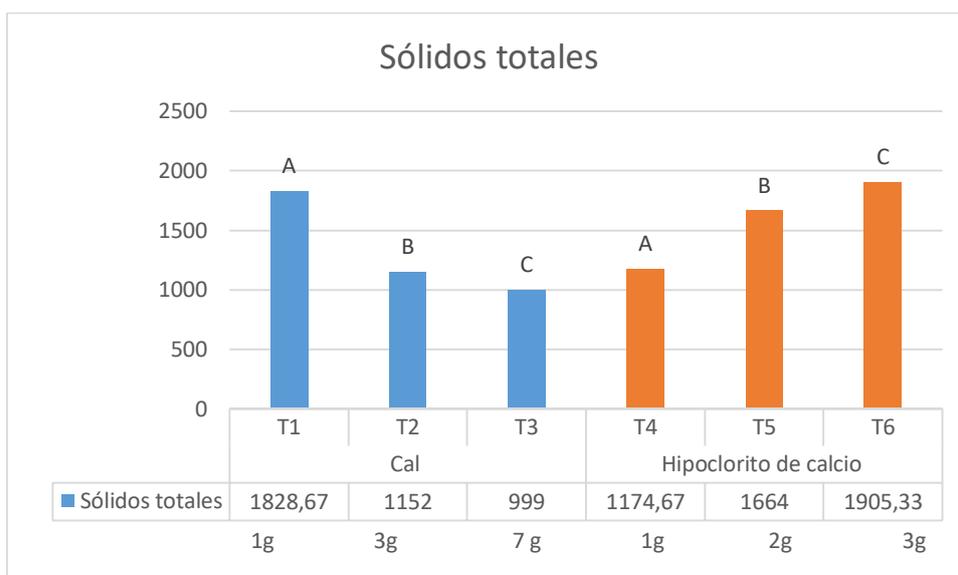


Figura 1. Aplicación de la Cal e Hipoclorito de Calcio en 3 dosis distintas para remover St
Quiroz, 2020

4.2.2 Resultados de Sólidos Suspendidos Totales aplicando Cal e Hipoclorito de Calcio

La Figura 2, denota los resultados que se tuvieron aplicando cal, dando un promedio más eficaz con la aplicación del T3 (7g) que fue de 117,67 mg/l dicho valor está por debajo de la norma y del valor inicial 940 mg/l. A su vez, los dos tratamientos restantes mostraron valores que exceden los límites permisibles: 192,3 para el T1 y 143,3 para el T2. También, se detallan los datos obtenidos luego de aplicar cada uno de los tratamientos de hipoclorito de calcio, de los cuales el que mejor resultado mostro fue el T4 con un promedio de 128,6 mg/l además de encontrarse dentro de la normativa y siendo menor al valor de inicio 130 mg/l.

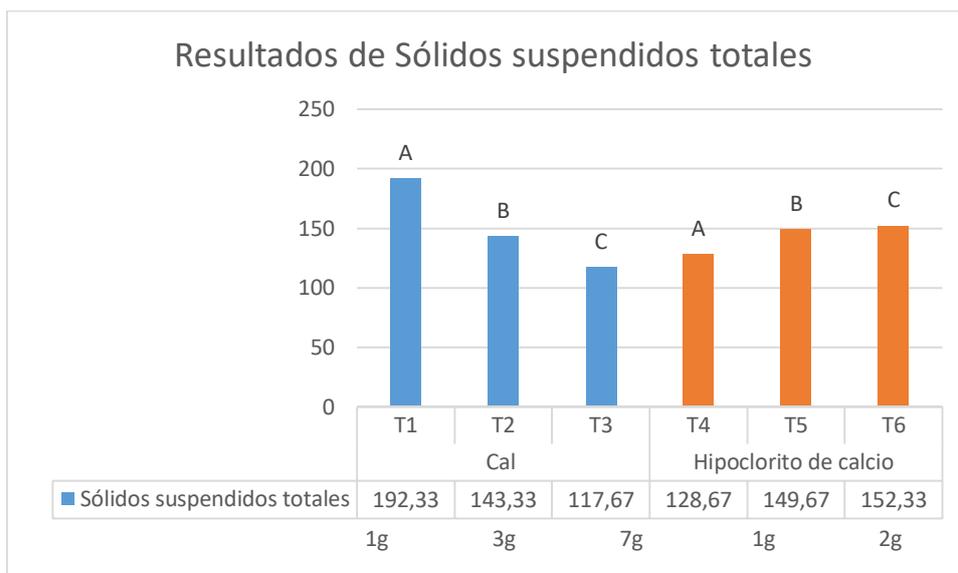


Figura 2, Aplicación de la Cal e Hipoclorito de Calcio en 3 dosis distintas para remover Sst
Quiroz, 2020

4.2.3 Resultados de Turbidez aplicando Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita

En la Figura 3, se expresa los resultados obtenidos con la cal donde el mejor tratamiento fue el de 7g con un promedio de 18,6 UNT el cual se halla dentro de los límites permisibles, mientras que, los otros tratamientos restantes están por debajo del valor de inicio 310,5 UNT. También, se puede apreciar que dentro de los tratamientos efectuados con hipoclorito de calcio hay una mejor respuesta con el T4 de 60,6 UNT situándose por debajo del valor inicial y también de los límites permisibles, en cambio los tratamientos faltantes están por encima de los límites permisibles del AM 097^a. Por último, los resultados obtenidos aplicando zeolita comprenden promedios de 567 UNT; 312,3 UNT y 308,3 UNT respectivamente los cuales se encuentran por encima de la norma ambiental y también sobre el valor inicial que fue de 310,5 UNT.

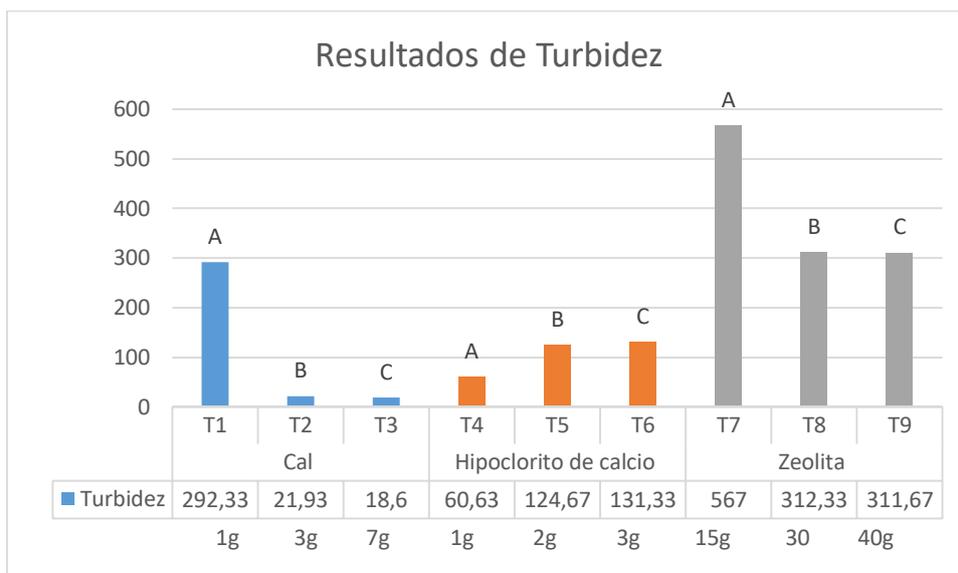


Figura 3. Aplicación de la Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita en 3 dosis distintas para remover Turbidez

Quiroz, 2020

4.2.4 Resultados de pH aplicando Cal, Hipoclorito de Calcio y Zeolita

En la Figura 4, se puede visualizar que a partir de los tratamientos empleados el pH es un parámetro que no ha variado mucho, con la cal el T1 con un promedio de 8,9 refleja que este está dentro de los límites permisibles pero los T2 (3g) y T3 (7g) muestran un aumento con valores respectivos de 11,8 y 11,5. Así mismo, los resultados alcanzados aplicando hipoclorito de calcio, donde se puede asimilar que en todos los tratamientos el pH se mantiene dentro de la norma (6-9). De igual manera, los respectivos resultados empleando zeolita los cuales no difieren mucho y están dentro de los límites permisibles del AM 097^a.

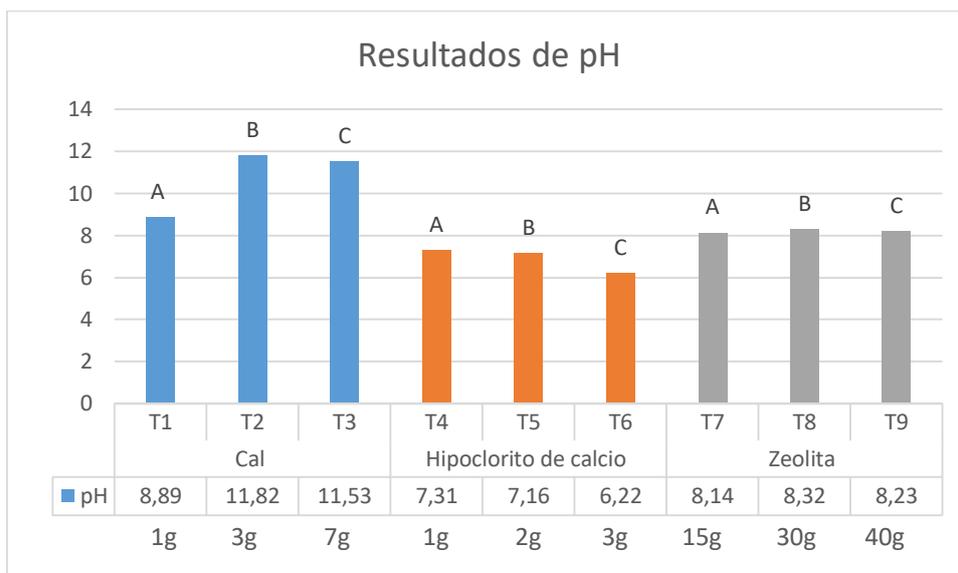


Figura 4. Aplicación de la Cal, Hipoclorito de Calcio y Turbidez en 3 dosis distintas para determinar pH
Quiroz, 2020

4.2.5 Resultados de Coliformes Fecales aplicando Cal

La Figura 5, detalla los resultados obtenidos aplicando cal, el mejor tratamiento fue el T3 con un promedio de 333,3 NMP/100ml estando por debajo de la normativa y también del valor inicial que fue de 24,700 NMP/100ml. Mientras que, el T1 (1033,3 NMP/100ml) y T2 (1000 NMP/100ml) respectivamente se encuentran dentro de la normativa que es de 2000 NMP/100ml.

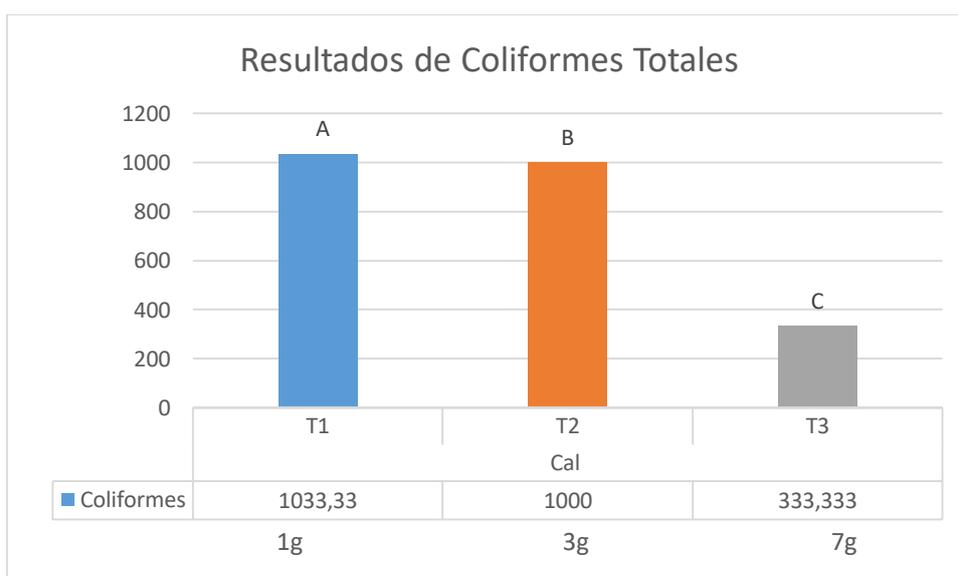


Figura 5. Aplicación de la Cal en 3 dosis distintas para remover Coliformes
Quiroz, 2020

Cabe mencionar, que con el hipoclorito de calcio se logró remover todas las colonias de coliformes totales.

4.2.6 Comparación de los resultados del tratamiento compuesto (T10) con el AM 097^a

En la Figura 6, se representan los resultados obtenidos del tratamiento 10. Los cuales se consiguieron a partir de la experimentación realizada con los demás tratamientos, donde se evaluaron en diferentes dosis cada uno de los reactivos por separados para establecer en que dosis estas eran más eficientes para remover los lixiviados y tener una buena apreciación económica. De esta manera, se ajustaron las dosis de cada reactivo para realizar un tratamiento completo de lixiviados; para la cal la dosis fue de 3 gramos (T2) (aunque los mejores resultados los mostro la dosis de 7g, estos no tuvieron mucha diferencia con la dosis de 3g), para el hipoclorito de calcio fue de 1 gramo (T4), mientras que, la zeolita no se la aplico por mostrar resultados no eficientes. Por lo tanto, los valores que se denotan están dentro de la normativa ambiental vigente a excepción del pH que fue de 12,34.

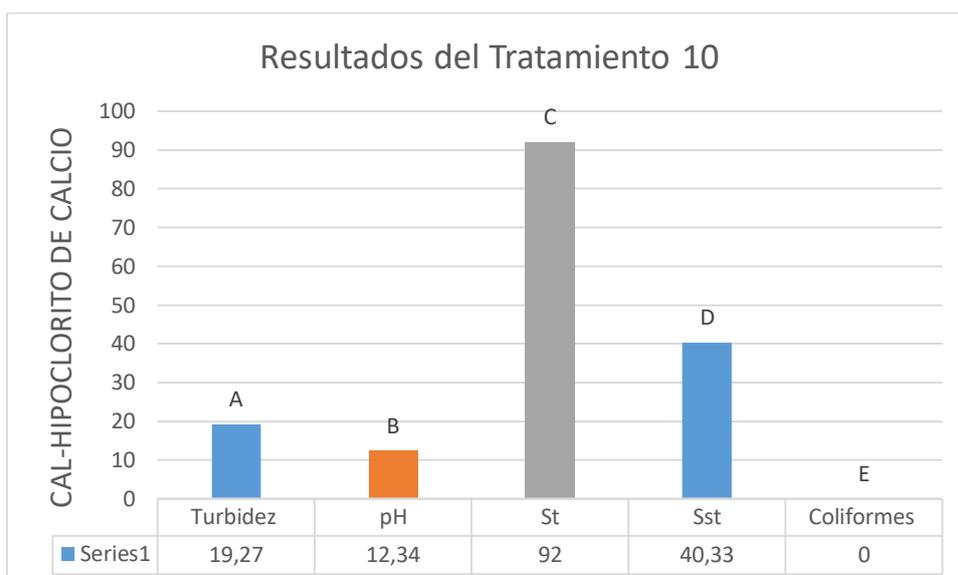


Figura 6. Aplicación del Tratamiento 10 con las mejores dosis de cada reactivo Quiroz, 2020

En la Tabla 4, se expresa la comparación de los valores iniciales de la caracterización del lixiviado con los valores obtenidos a partir del tratamiento 10 y el AM 097^a. Además, se visualiza el porcentaje de remoción que se obtuvo de cada parámetro dando buenos resultados a excepción del pH el cual se incrementó.

Tabla 4. Comparación del Tratamiento 10 con el Acuerdo Ministerial 097A

Parámetros	Unidad	Resultado	Tratamiento	Norma	Porcentaje de
		Inicial	Completo		Remoción
Turbidez	UNT	310,5	19,27	100	93,8 %
pH	Unidades de pH	8,67	12,34	6-9	-----
Sólidos totales	mg/l	5800	92	1600	98,41 %
Sólidos suspendidos	mg/l	940	40,33	130	95,71 %
Coliformes fecales	NMP/100ml	24,700	0	2000	100 %

Quiroz, 2020

4.2.7 Comparación entre los tratamientos con sus mejores dosis y el tratamiento 10 con el Acuerdo Ministerial 097^a y el valor inicial

En la Figura 7, se observa que el mejor resultado para remover sólidos totales es el T10 con un valor de 92 mg/l que equivale a un 98,41% estando muy por debajo del valor inicial y dentro de la normativa ambiental vigente. Así mismo, los T3 y T4 mostraron buenos resultados siendo la Cal apenas más efectiva.

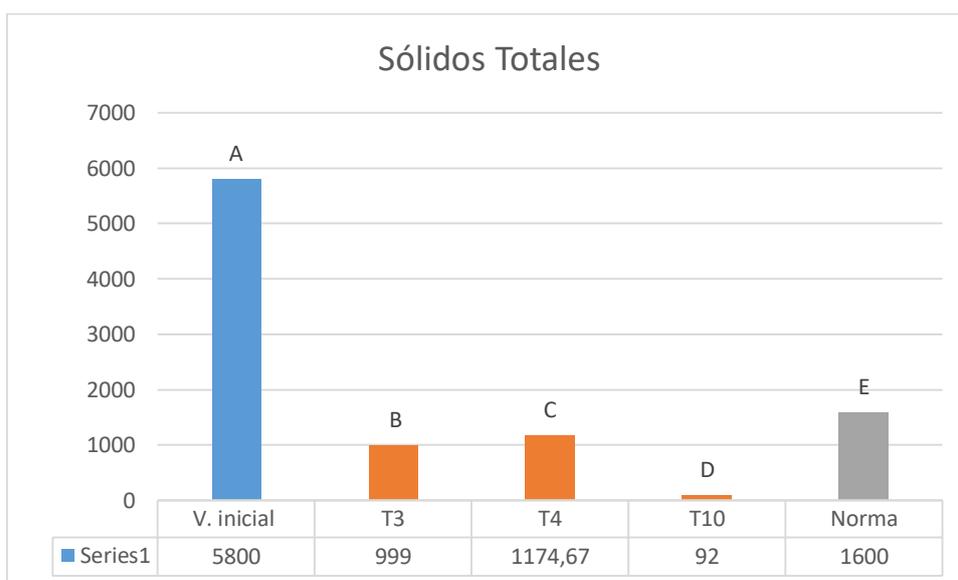


Figura 7. Comparación de los tratamientos para Sólidos Totales Quiroz, 2020

Sólidos Totales.- Mediante la Tabla 7 y Tabla 8, según el análisis ANOVA se denota un $p\text{-valor}=0,0001$ dicho valor se encuentra dentro del nivel de significancia, además existe diferencia entre sus medias. Por lo cual, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula.

En la Figura 8, se representan los resultados obtenidos en todos los tratamientos donde el tratamiento 10 (40,33 mg/l) fue el mejor para este parámetro de estudio llegando a remover hasta un 95,71%. De igual manera se obtuvo resultados significativos con los dos tratamientos restantes con valores de 117,67 mg/l y 128,67 mg/l.

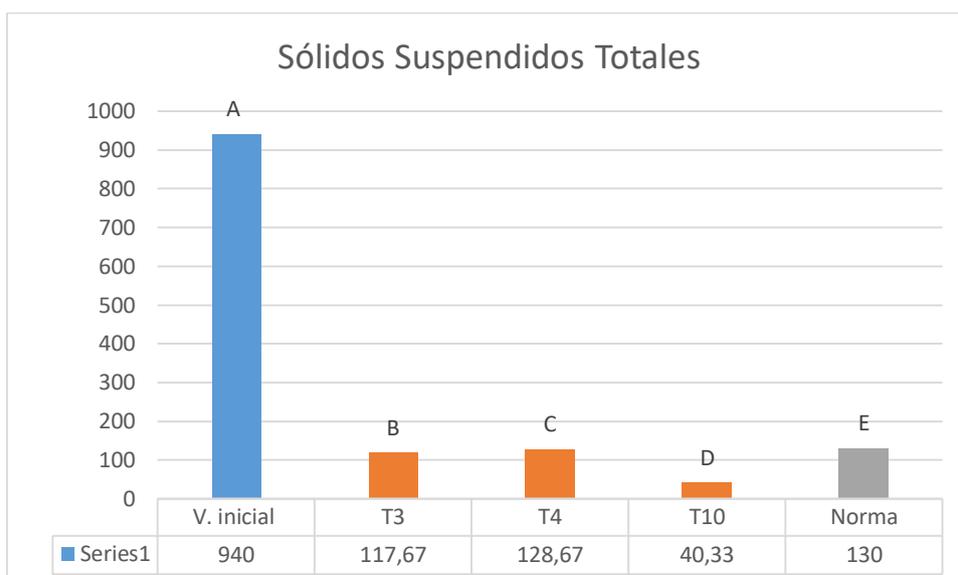


Figura 8. Comparación de los tratamientos para Sólidos Suspendidos Totales Quiroz, 2020

Sólidos Suspendidos Totales.- En la Tabla 9 y Tabla 10, se expresa que el valor de significancia si está dentro del nivel propuesto y que existe diferencia entre sus medias, por lo cual se rechaza la hipótesis nula.

En la Figura 9, se denotan los resultados entre los tratamientos para el parámetro del potencial de hidrógeno, obteniendo valores que sobrepasan los límites permisibles del AM 097^a en el T10 con un promedio de 12,34 UNT haciendo que el pH se vuelva alcalino, además, siendo un valor mayor al inicial.

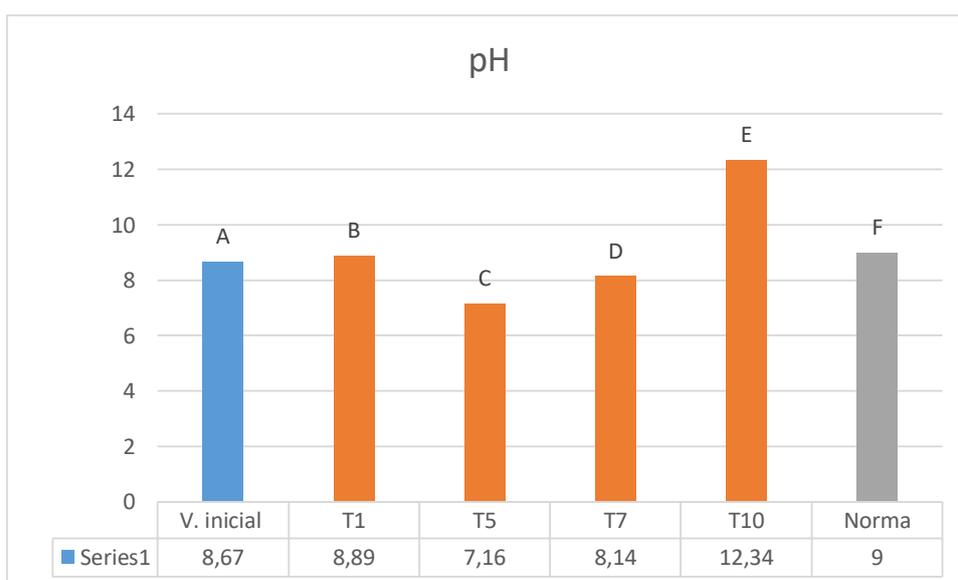


Figura 9. Comparación de los tratamientos para pH Quiroz, 2020

pH.- De acuerdo a la Tabla 11 y Tabla 12, se denota que en el análisis estadístico ANOVA este se encuentra dentro del nivel de significancia y mediante el test de Ducan se observa que si hay diferencia entre sus medias, rechazándose la hipótesis nula.

En la Figura 10, se visualizan los datos obtenidos con respecto a la turbidez donde el T3 (cal 7g) logró ser más efectivo que los demás con un promedio de 18,6 (94%) estando muy por debajo del valor de la normativa que es de 100 UNT, mientras, el T9 alcanzo un valor de 311,6 UNT estando por encima del valor inicial que fue de 310,5 UNT.

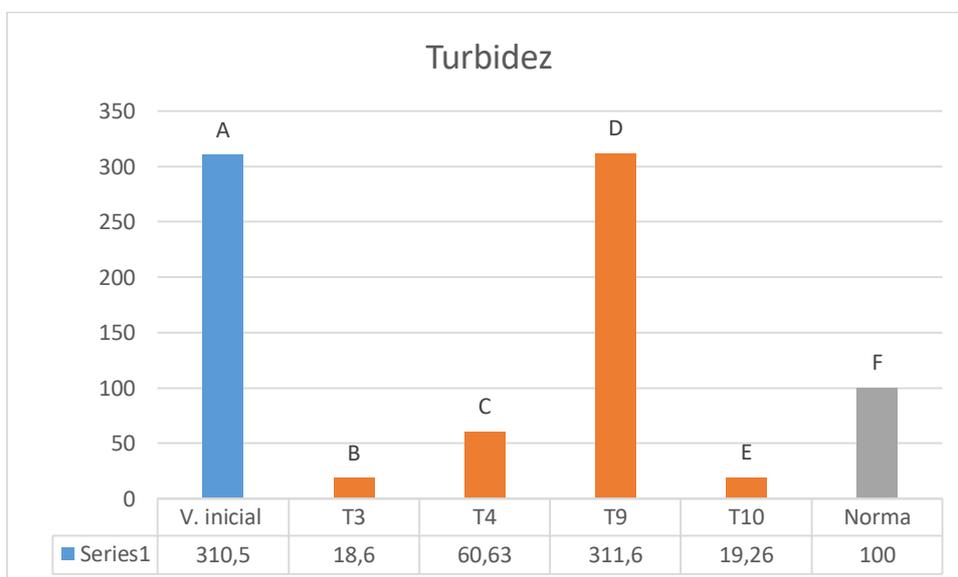


Figura 10. Comparación de los tratamientos para la Turbidez Quiroz, 2020

Turbidez.- Según la Tabla 13 y Tabla 14, donde muestran los resultados del análisis estadístico por medio de ANOVA se expresa que el valor de significancia si está dentro del nivel (0,05), y que hay diferencia entre sus medias mediante la comparativa de Ducan, para lo cual se rechaza la hipótesis nula.

La Figura 11, muestra los resultados alcanzados con los tratamientos para eliminar las colonias de coliformes donde se puede apreciar que el T4 y T10 resultaron ser los mejores ya que se logró remover un 100% de este parámetro,

mientras que, el T3 también fue eficaz alcanzado un promedio de 333,33 NMP/100ml estando por debajo del valor inicial que fue de 24700 NMP/100ml.

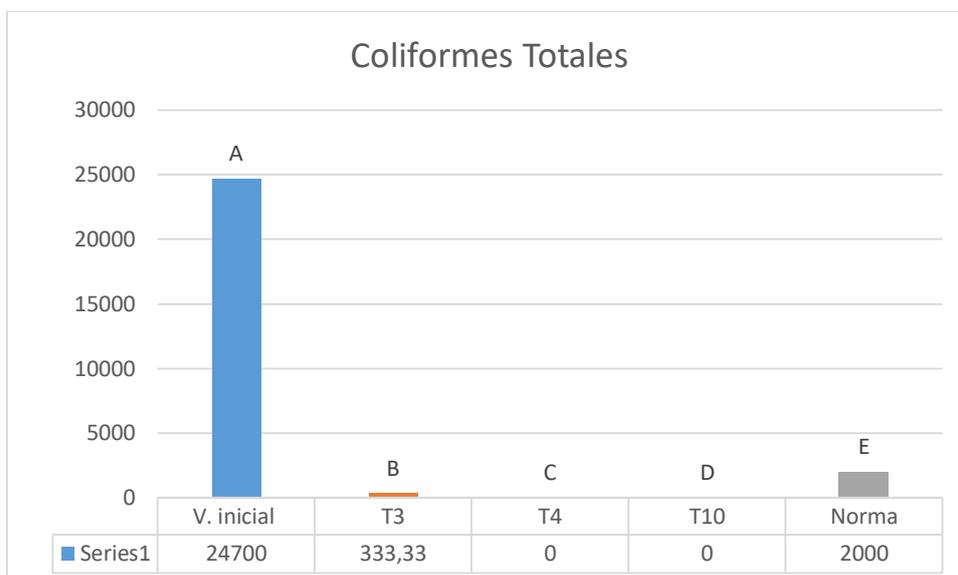


Figura 11. Comparación de los tratamientos para Coliformes Totales Quiroz, 2020

Coliformes Totales.- En la Tabla 15 y Tabla 16, se puede observar el análisis estadístico en el cual el p-valor de significancia es de 0,0052 siendo menor al nivel propuesto, además, si hay diferencia entre sus medias. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

4.3 Realización de una propuesta técnica económica del tratamiento propuesto de acuerdo a los resultados obtenidos.

Para la ejecución de la propuesta técnica económica se utilizó el tratamiento compuesto (T10) para la remoción de lixiviados del Relleno Sanitario Naranjal del Cantón Naranjal provincia del Guayas, se implementarán las dosis empleadas en dicho tratamiento para la cal (coagulante) 3 gramos y para el hipoclorito de calcio (oxidante) 1 gramo como alternativas viables. Debido a que, con estas dosis se logró una remoción de coliformes fecales, turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos totales de: 100%, 93,8%, 98,41%, 95,71% respectivamente.

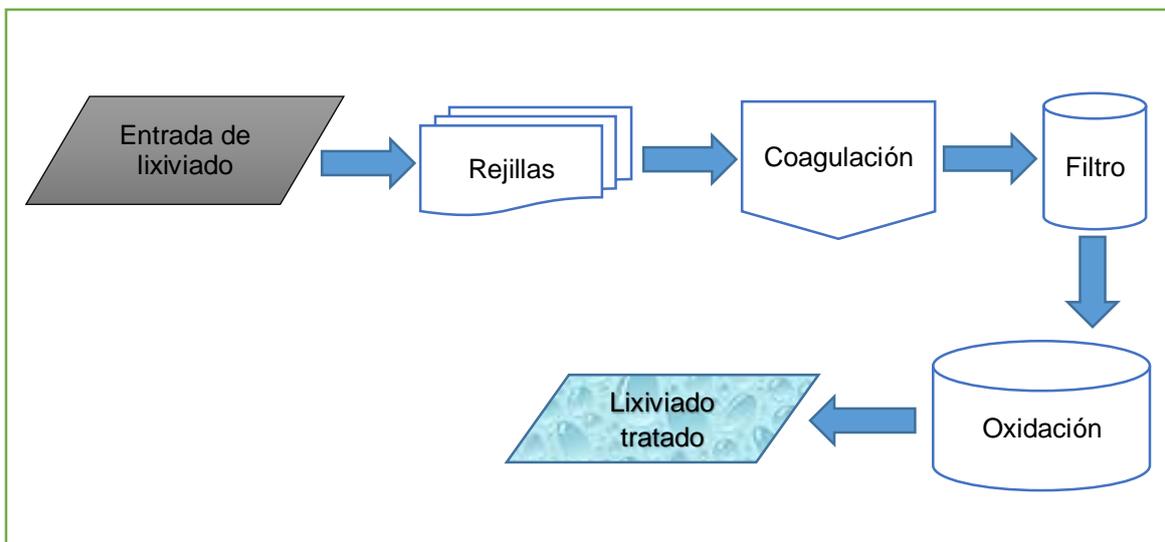


Figura 12. Diseño del Tratamiento Propuesto
Quiroz, 2020

En la Figura 12, se representa un diagrama del tratamiento propuesto el cual consta de cuatro etapas:

- Pre-tratamiento: es el encargado de eliminar sólidos gruesos de los lixiviados antes de que estos lleguen a las piscinas de tratamientos por medio de rejillas, desarenadores o desengrasadores. Para esta propuesta solo se emplearán rejillas.
- Tratamiento primario: se ocupa de eliminar los sólidos en suspensión, el lixiviado será depositado en un repositorio al cual se le añadirá Cal como proceso de coagulación-floculación, se agitará y se dejará sedimentar; el líquido será separado del sedimento por medio de una filtración para continuar el proceso.
- Tratamiento secundario: elimina los contaminantes que están perennes aun después del tratamiento primario, es decir, materia disuelta por medio de procesos biológicos o filtros.
- Tratamiento terciario: es el proceso que se encarga de depurar el agua tratada previamente eliminando la carga orgánica residual, para esta

propuesta se empleará el hipoclorito de calcio como oxidante. Logrando una óptima depuración del lixiviado.

En la Tabla 5, se expresa la cantidad necesaria de cal que se empleará en la piscina de lixiviados del relleno sanitario Naranjal la cual tiene un área de 372,4 m³ partiendo de los resultados obtenidos con el tratamiento diez donde la dosis de cal óptima fue de 3g, de igual manera, se representa la cantidad de hipoclorito de calcio necesaria partiendo de la dosis óptima del tratamiento diez que fue de 1g. También, se visualiza el gasto económico que se obtendrá con el empleo de los reactivos tomando como referencia el valor en el mercado de un saco de cal de 25kg (tres dólares) y un saco de hipoclorito de calcio de 25kg (un dólar).

Tabla 5. Cantidad y precio de los reactivos empleados en la propuesta

Reactivo	Cantidad	Precio (total del área de la piscina de lixiviados)
Cal Ca(OH) ₂	1117,2 kg	\$ 134,10
Hipoclorito de Calcio Ca(OCl) ₂	372,4 kg	\$ 14,90

Quiroz, 2020

5. Discusión

Al lixiviado del relleno sanitario Naranjal actualmente se le realiza un tratamiento de recirculación, el cual es un proceso muy común en los rellenos sanitarios pero trae consigo una mayor acumulación de contaminantes. Por lo general, estos lixiviados contienen una alta carga de materia orgánica, presencia de patógenos y sustancias tóxicas como constituyentes orgánicos y metales pesados, además de una gran cantidad de fósforo y nitrógeno (Giraldo, 2001). Por lo cual, se visualizó a través de la caracterización del lixiviado que los parámetros de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales estaban por encima del AM 097^a con valores de 5800 mg/l, 940 mg/l y 24,700 NMP/100ml respectivamente.

Con respecto a la turbidez está se encuentra sobre los límites permisibles 100 UNT con un valor de 310,5 UNT. De tal manera, estos valores elevados pueden intervenir en la desinfección de los microorganismos, incitar el aumento de bacterias e incrementar la demanda de cloro (Marcó et al., 2004). Mientras que, con respecto al pH este se encuentra dentro de la normativa ambiental vigente.

Luego de las diferentes experimentaciones que se ejecutaron para obtener una dosis eficiente de cada reactivo las cuales fueron para la cal 3 gramos e hipoclorito de calcio 1 gramo y de esta forma aplicarlas en un sistema de tratamiento completo de lixiviado (coagulación-floculación y oxidación) se obtuvieron resultados con la cal (coagulante) de remoción de turbidez de 93,8 %, resultados similares a los obtenidos por (Amokrane et al., 1997) donde asemeja que para una buena reducción de turbidez la dosis óptima está entre 1-15 g/l obteniendo valores de hasta 90% de remoción. De igual manera, en el estudio realizado por (Hasna et al., 2016) sobre tratamientos de lixiviados de un relleno sanitario el cual aplicó una dosis de 10 g/l obteniendo una remoción de 90,30%.

También, se obtuvieron buenos resultados con el hipoclorito de calcio (oxidante). El cual mostro una remoción del 100% de coliformes fecales, dicho resultado se asemeja al de (Calderón & Cecilia, 2016) donde de una muestra de agua residual se alcanzó una reducción del 99,99% de coliformes con una dosis de 6ppm. Así mismo, en un estudio realizado por (Jabo & Nicole, 2018) los valores que se lograron fueron muy bajos con un promedio del 6,66% aplicando una dosis de 15ppm.

Por consiguiente, los sólidos suspendidos totales también mostraron niveles aceptables de remoción con la aplicación de los dos reactivos con una remoción de 95,71 %, dicho valor se parece al adquirido por (Tejada Mayta, 2017) en su estudio sobre aguas residuales donde la dosis que implemento de cal fue de 0,3 g/l alcanzando un resultado de 99,97 %. También, tiene similitud al resultado logrado por (Calderón & Cecilia, 2016) los cuales aplicaron hipoclorito de calcio en una dosis de 6ppm logrando una remoción de 90,92 %.

Por último, se desarrolló la propuesta que consistía en un sistema de tratamiento para el relleno sanitario Naranjal, dentro del cual se detalla cada uno de los procesos a realizarse desde el pretratamiento que consiste en rejillas para eliminar los sólidos más grandes, para luego como tratamiento primario depositar el lixiviado en un reservorio estabilizado, mientras que, como tratamiento secundario se añadirá cal como coagulante, se dejará sedimentar y se separarán los sólidos del agua por medio de un filtro, además como tratamiento terciario se realizará una oxidación para una completa desinfección del agua, dicho proceso se asemeja al descrito por (Lapeña, 1989) donde revela que un sistema de tratamiento completo es eficiente para la remediación de aguas residuales.

6. Conclusiones

De acuerdo con la caracterización de los lixiviados del relleno sanitario Naranjal, todos los parámetros están sobre la normativa ambiental a excepción del pH el cual se encontraba dentro. Debido, a la variabilidad de contaminantes que presentan estas aguas a consecuencia de sus procesos de operación.

Dentro de la experimentación, se obtuvieron buenos resultados con la cal a 3 gramos e hipoclorito de calcio a 1 gramo, y se descartó a la zeolita por no mostrar eficiencia. Por lo cual, se implementaron estas dosis en un tratamiento en conjunto mostrando porcentajes muy eficientes en la remediación de lixiviados del relleno sanitario Naranjal con valores de 95,71 %; 93,8 %; 100 %; 98,41 % para los sólidos suspendidos totales, turbidez, coliformes totales y sólidos totales.

En la propuesta, se aplicó el tratamiento en conjunto de la cal y el hipoclorito de calcio y se describió cada uno de los procesos a tomar en cuenta con la finalidad de que se obtengan buenos resultados basados en la investigación.

7. Recomendaciones

El GAD de Naranjal tiene que priorizar la construcción de una nueva piscina de lixiviados, debido a que el reservorio presente se encuentra saturado. Además de, orientarse a optar por otra alternativa de tratamiento ya que el tratamiento que se aplica produce una alta variación de contaminantes y por ende puede traer afectaciones al ambiente. También, enfatizar con la población para en conjunto trabajar en capacitaciones sobre el buen manejo de los desechos sólidos, fomentando el reciclaje y la reutilización para cuidar los recursos naturales.

También, se debe enfatizar en realizar como tratamiento terciario una oxidación avanzada ya que el uso de hipoclorito de calcio el cual da buenos resultados como oxidantes trae consecuencias significativas al ambiente si no se aplican las dosis correctas. Además, la aplicación de cal trae consigo un aumento de pH alrededor de 12, para estabilizar este valor dentro del rango normativo se puede usar ácido cítrico.

Por último, se surge dentro de la propuesta realizar un pretratamiento al lixiviado debido a que este puede contener sólidos gruesos los cuales se deben eliminar antes de seguir los tratamientos debidos para una óptima sistematización y eficiencia de los procesos.

8. Bibliografía

- Acebo-González, D., & Hernández-García, A. T. (2013). Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(1).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181226886003>
- Adarve Alcázar, M. J., & Rebollo Ferreiro, L. F. (1992). Incidencia ambiental de un vertedero sellado de residuos sólidos localizado en Móstoles (Madrid, España) sobre la composición natural de las aguas subterráneas. *Geogaceta*, 13, 3-7.
- Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación* (Universidad de Murcia, España). Editum.
- Amokrane, A., Comel, C., & Veron, J. (1997). Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research*, 31(11), 2775-2782.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00147-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00147-4)
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. 6ta. Edición*. Fidas G. Arias Odón.
- Banco Mundial. (2016). *Basura Cero—Los residuos sólidos en el epicentro del Desarrollo Sostenible* [Text/HTML]. World Bank.
<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2016/03/03/waste-not-want-not---solid-waste-at-the-heart-of-sustainable-development>
- Budi, S., Suliasih, B. A., Othman, M. S., Heng, L. Y., & Surif, S. (2016). Toxicity identification evaluation of landfill leachate using fish, prawn and seed plant. *Waste Management*, 55, 231-237.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.022>
- Calderón, V., & Cecilia, E. (2016). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia de Santa Fé, cantón Guaranda, provincia de

- Bolívar. (Tesis pregrado). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6502>
- Çeçen, F., & Gürsoy, G. (2000). Characterization of landfill leachates and studies on heavy metal removal. *Journal of Environmental Monitoring*, 2(5), 436-442. <https://doi.org/10.1039/B004729P>
- Censos, I. N. de E. y. (2017). *Gestión de Residuos Sólidos 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Residuos_solidos_2017/PRESENTACION_RESIDUOS_2017.pdf
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary*. William Andrew.
- Colotta, G. S. (2003). Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 6(2), 64-71.
- El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., & Alayli, B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 22(3), 269-282. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(01\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(01)00040-X)
- EMGIRS EP. (2018). *Informe de Gestión* (p. 79). EMGIRS - EP.
<http://emgirs.gob.ec/phocadownload/informe-rendicion-cuentas/2018/rendicion-de-cuentas-2018.pdf>
- Espinosa Lloréns, M. del C., López, M., Pellón, A., Robert, M., Díaz, S., González, A., Rodríguez, N., & Fernández, A. (2010). Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales

de la ciudad de la Habana. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(4), 313-325.

Fonfría, R. S., Sans, R., & Ribas, J. de P. (1989). *Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos* (Vol. 28). Marcombo.

Gálvez Pérez, A. (2008). Aplicabilidad de procesos de coagulación-floculación y de sistema de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos (tesis postgrado). *Universidad de Granada. Departamento de Ingeniería Civil. España.*
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/1886>

Gámez, S., Lucía, L., & Maria, I. (2009). *Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas.* 15.
<https://www.semanticscholar.org/paper/TRATAMIENTO-DE-LIXIVIADOS%2C-CASOS-PR%C3%81CTICOS-EN-G%C3%A1mez-Luc%C3%ADa/6e4a8ff076d4ba9ee7cfa01709ceb5da28401a5b>

Giraldo, E. (2001). Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes. *Revista de Ingeniería*, 0(14), 44-55-55.
<https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>

Hasna, M., Hafida, H., Brahim, L., Laila, M., & Mohammed, M. (2016). Physico-chemical treatment of landfill leachates Case of the Landfill of Fkih Ben Salah, Morocco. *Journal of Environmental Science*, 10, 41-50.

Hidalgo, M., Murcia, M., Gómez, M., & López, A. (2016). Alternativas en el tratamiento de lixiviados de vertedero. *CONAMA*, 1-28.

Ho, S., Boyle, W. C., & Ham, R. K. (1974). Chemical Treatment of Leachates from Sanitary Landfills. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 46(7), 1776-1791.

- Humberto, L. S. (2018). *Estadística Inferencial* (1.^a ed.). Universidad del Norte-Colombia.
- INEC. (2010). *Población y Demografía* |.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013a). *Nte inen 2169 agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.pdf*.
<http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013b). *Nte inen 2176 agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.pdf*. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-TECNICAS-DE-MUESTREO.pdf>
- Jabo, M., & Nicole, S. (2018). Tratamiento de aguas residuales en el tanque IMHOFF para disminuir la contaminación en la quebrada Sicacate del distrito de Montero (tesis pregrado). *Universidad Nacional de Piura / UNP*.
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1154>
- Kargi, F., & Pamukoglu, M. Y. (2003). Aerobic biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. *Enzyme and Microbial Technology*, 33(5), 588-595. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00187-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00187-X)
- Kargi, F., & Pamukoglu, M. Y. (2004). Adsorbent supplemented biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. *Bioresource Technology*, 94(3), 285-291.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.003>

- Kurniawan, T. A., Lo, W., & Chan, G. Y. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1), 80-100. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>
- Lapeña, M. R. (1989). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales*. Marcombo.
- León-Gómez, H. de, Cruz-Vega, C. R., Dávila-Pórcel, R. A., Velasco-Tapia, F., Chapa-Guerrero, J. R., León-Gómez, H. de, Cruz-Vega, C. R., Dávila-Pórcel, R. A., Velasco-Tapia, F., & Chapa-Guerrero, J. R. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(3), 514-526.
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A., & Claudio Di Pinto, A. (2004). Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere*, 54(7), 1005-1010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.09.015>
- López-Vega, M. E., & Santos-Herrero, R. (2017). La recirculación de lixiviados de rellenos sanitarios en biodigestores a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, 37(3), 433-444.
- Mabrouki, J., Moufti, A., Bencheikh, I., Azoulay, K., El Hamdouni, Y., & El Hajjaji, S. (2020). Optimization of the Coagulant Flocculation Process for Treatment of Leachate of the Controlled Discharge of the City Mohammedia (Morocco). En M. Ezziyyani (Ed.), *Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2019)* (pp. 200-212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36475-5_19

- Mansilla Canela, G. (2014). *Potencial de Hidrogeniones pH*. 40(40).
http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682014000100001&script=sci_arttext&tlng=es
- Marcó, L., Azario, R., & Metzler, C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 11.
- Martinez-Lopez, A. G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, M. A., Hernández-Lara, J. M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A., Tinoco-Magaña, J. C., & Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en Química*, 9(1), 37-47.
- Méndez Novelo, R. I., Castillo Borges, E. R., Sauri Riancho, M. R., Quintal Franco, C. A., Giacomán Vallejos, G., & Jiménez Cisneros, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 133-145.
- Méndez Novelo, R. I., May Marrufo, A. A., San Pedro Cedillo, L., Rojas Valencia, M. N., & Giacomán Vallejos, G. (2019). Leachate Treatment with a combined Fenton/filtration/adsorption processes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(2), 1-9.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.013>
- Méndez Novelo, R. I., Pietrogiovanna Bronca, J. A., Santos Ocampo, B., Sauri Riancho, M. R., Giacomán Vallejos, G., & Castillo Borges, E. R. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de

lixiviados por Fenton-adsorción. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(3), 211-220.

Ministerio del Ambiente. (2016, octubre 19). *Ecuador trabaja por una adecuada gestión de desechos*. Ministerio del Ambiente. <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-trabaja-por-una-adecuada-gestion-de-desechos/>

Ojeda, S., Lozano, G., Quintero, M., Whitty, K., & Smith, C. (2008). *Generación de residuos sólidos domiciliarios por periodo estacional: El caso de una ciudad mexicana*. Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Castellón-España. <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A26.pdf>

ONU. (2018, octubre 12). *Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

Otall, E., Pereiral, C. F., Vilchesl, L. F., & Quero, X. (2003). *Application of synthetic zeolites to the deputation of a waste landfill leachate*. 10. https://pdfs.semanticscholar.org/5a4f/4d1dcbc744ee940767828d43ad8633b889e9.pdf?_ga=2.188390639.657191371.1577063755-1763615672.1573714332

Pablos, M. V., Martini, F., Fernández, C., Babín, M. M., Herraiez, I., Miranda, J., Martínez, J., Carbonell, G., San-Segundo, L., García-Hortigüela, P., & Tarazona, J. V. (2011). Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. *Waste Management*, 31(8), 1841-1847. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.022>

- Pellón Arrechea, A., López Torres, M., Espinosa Lloréns, M. del C., & González Díaz, O. (2015). Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 3-16.
- PNUD. (2018). *Aportando soluciones para la gestión integral de residuos sólidos para el desarrollo sostenible inclusivo*. El PNUD en América Latina y el Caribe.
<https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/poverty/aportando-soluciones-para-la-gestion-integral-de-residuos-solido.html>
- Quintero Ramírez, A., Valencia González, Y., & Lara Valencia, L. A. (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *DYNA*, 84(203), 283-290. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.63875>
- Ramos, F. (2009). Los lixiviados pueden aumentar la mortalidad. *El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/lixiviados-aumentar-mortalidad.html>
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Rojas, V. M. N. (2011). *Metodología de la investigación diseño y ejecución*. Ediciones de la U.
- Sabadías, A. V. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial* (2.^a ed., Vol. 8). Universidad de Castilla La Mancha, España.
- Salazar, G., & Maribel, P. (2019). Evaluación del potencial del carbón activado y de la zeolita como catalizadores de un proceso de oxidación avanzada (POA) (tesis pregrado). *Universidad de las Américas*.
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11541>

- Sánchez, S., & Marlene, L. (2016). Remoción de fósforo en aguas residuales por el método de floculación y sedimentación utilizando cal artesanal y alumbre—Kollpa (tesis pregrado). *Universidad Privada San Carlos*.
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4336>
- Sánchez y Gándara, A. (2011). Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. *Agua.org.mx*.
<https://agua.org.mx/biblioteca/conceptos-basicos-de-gestion-ambiental-y-desarrollo-sustentable/>
- Solíz, M. F. (2015). Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador. *Letras Verdes*, 17, 4-28.
- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management*, 28(11), 2146-2160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.032>
- Tejada Mayta, R. (2017). Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago—B (tesis pregrado). *Universidad Nacional del Altiplano*.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L. E., Ojeda, C., Martínez, J., & Astaño, Y. (2014). Influence of Leachates age on its physico-chemical composition and toxicity potential. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 245-255.
- W. Heinke, G., & J. Glynn, H. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2.^a ed.). Prentice Hall.
https://www.ucursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/ingenieria-ambiental_glynn.pdf

9. Anexos

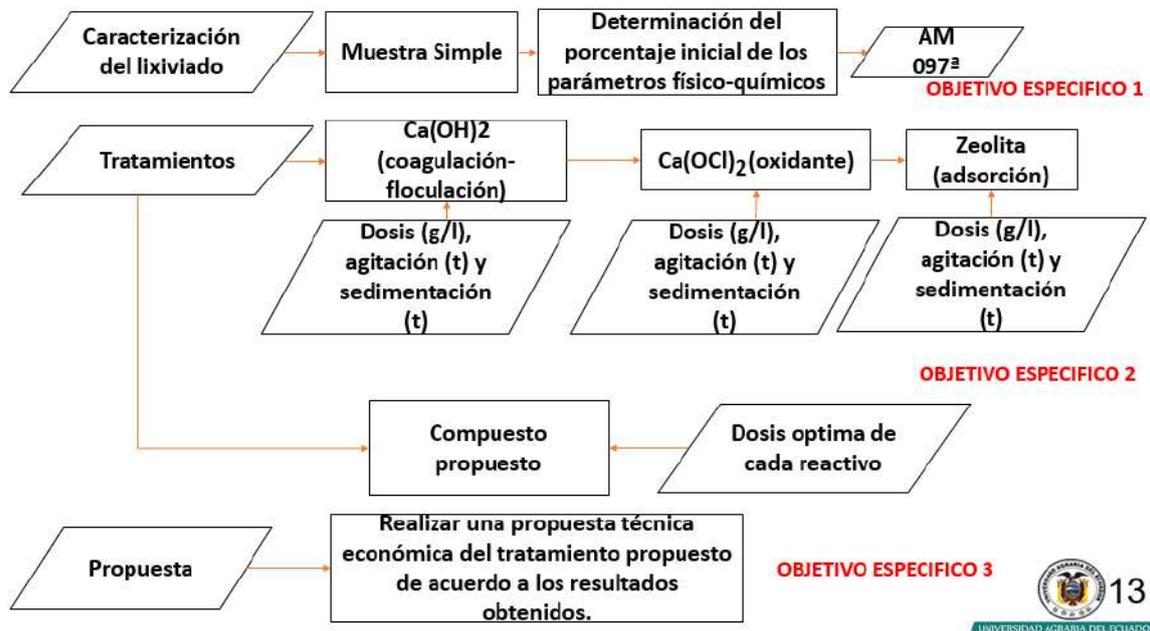


Figura 13. Diagrama de Flujo de la Metodología Quiroz, 2019



Figura 14. Disposición final de desechos sólidos Quiroz, 2020



Figura 15. Piscina de lixiviados del Relleno Sanitario Quiroz, 2020



Figura 16. Experimentación en el Laboratorio de Agua y Suelo de la Universidad Agraria del Ecuador Quiroz, 2020



Figura 17. Caracterización inicial de sólidos totales
Quiroz, 2020



Figura 18. Medición del pH inicial
Quiroz, 2020



Figura 19. Determinación de Turbidez
Quiroz, 2020



Figura 20. Agitador magnético
Quiroz, 2020



Figura 21. Determinación de sólidos suspendidos totales
Quiroz, 2020

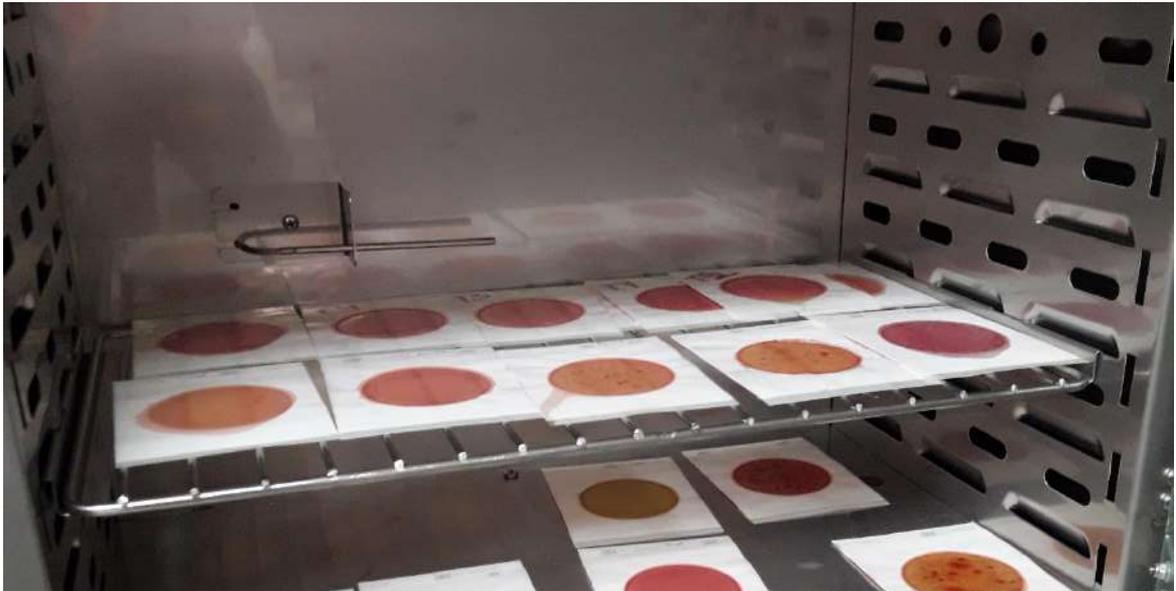


Figura 22. Colocación de las placas Petri film con las muestras de coliformes en la estufa
Quiroz, 2020



Figura 23. Secado de las muestras de sólidos totales en la estufa Quiroz, 2020

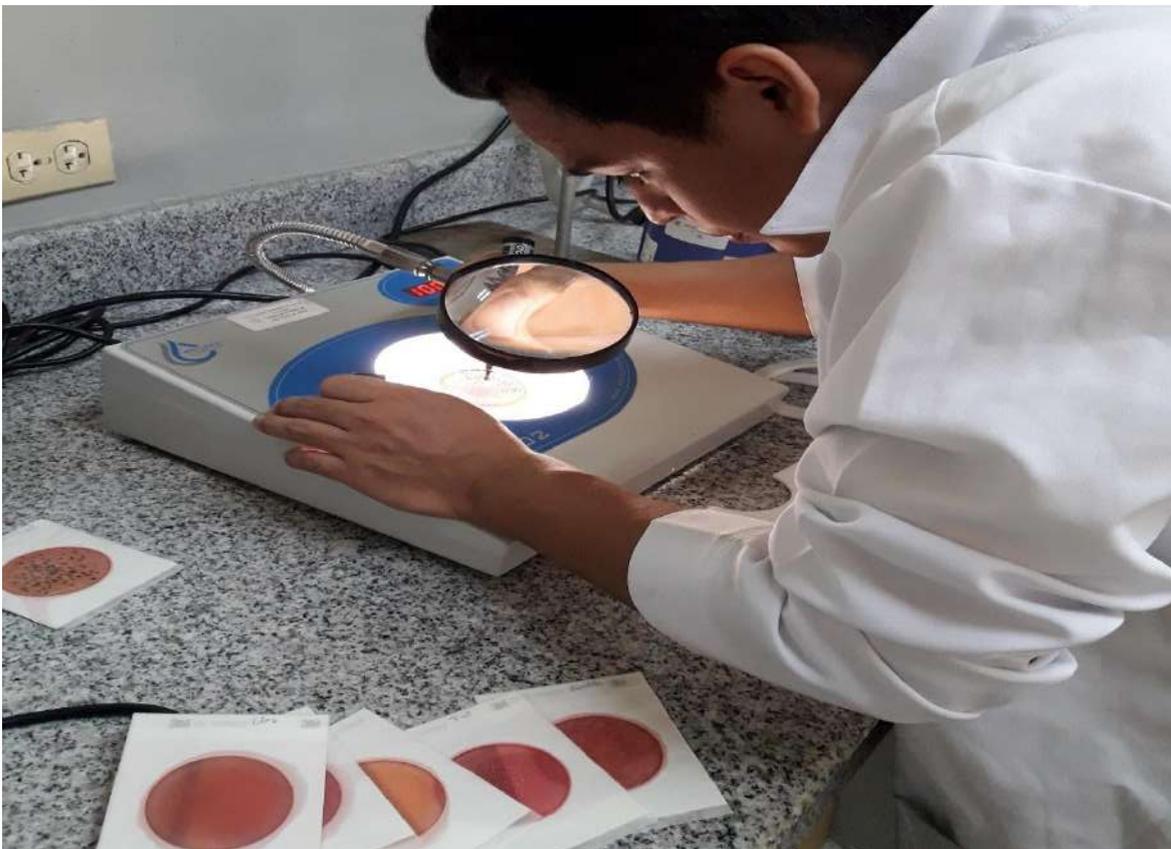


Figura 24. Conteo de colonias de coliformes Quiroz, 2020



Figura 25. Muestra del lixiviado inicial y muestra tratada con cal
Quiroz, 2020



Figura 26. Tratamientos con los reactivos por separados
Quiroz, 2020

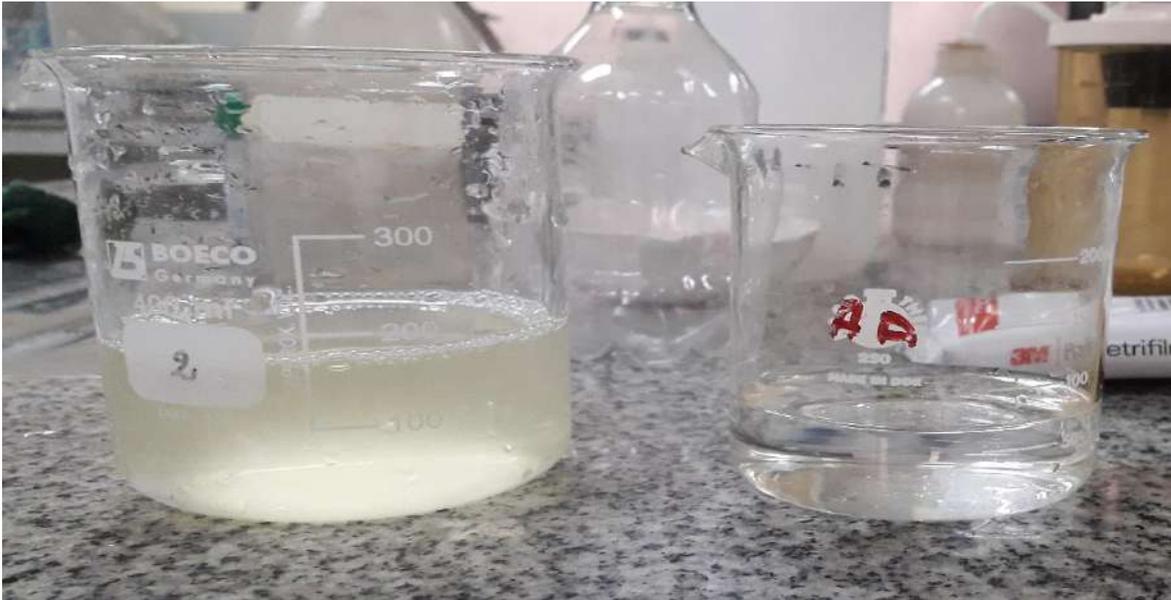


Figura 27. Tratamiento completo propuesto
Quiroz, 2020

Tabla 6. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ^{<}	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ^{<}	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ^{< 2}	mg/l	1000
Sulfuros	S ^{<}	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Acuerdo Ministerial 097^a, 2015

Tabla 7. Análisis de la Varianza para Sólidos totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2025674,89	2	1012837,44	8673,2	<0,0001
Tratamientos	2025674,89	2	1012837,44	8673,2	<0,0001
Error	700,67	6	116,78		
Total	2026375,56	8			

Quiroz, 2020

Tabla 8. Test: Duncan Alfa = 0,05

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T10	92	3	6,24	A	
T3	999	3	6,24		B
T4	1174,67	3	6,24		C

Quiroz, 2020

Tabla 9. Análisis de la Varianza para Sólidos suspendidos totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13904,22	2	6952,11	802,17	<0,0001
Tratamientos	13904,22	2	6952,11	802,17	<0,0001
Error	52	6	8,67		
Total	13956,22	8			

Quiroz, 2020

Tabla 10. Test: Duncan Alfa = 0,05

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T10	40,33	3	1,7	A	
T3	117,67	3	1,7		B
T4	128,67	3	1,7		C

Quiroz, 2020

Tabla 11. Análisis de la Varianza para pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,62	3	15,21	324,55	<0,0001
Tratamientos	45,62	3	15,21	324,55	<0,0001
Error	0,37	8	0,05		
Total	46	11			

Quiroz, 2020

Tabla 12. Test: Duncan Alfa = 0,05

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T5	7,17	3	0,12	A	
T7	8,14	3	0,12		B
T1	8,9	3	0,12		C
T10	12,34	3	0,12		D

Quiroz, 2020

Tabla 13. Analisis de la Varianza para Turbidez

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	178411,51	3	59470,5	140,98	<0,0001
Tratamientos	178411,51	3	59470,5	140,98	<0,0001
Error	3374,58	8	421,82		
Total	181786,09	11			

Quiroz, 2020

Tabla 14. Test: Duncan Alfa = 0,05

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T3	18,6	3	11,86	A	
T10	19,27	3	11,86	A	
T4	60,63	3	11,86		B
T9	311,67	3	11,86		C

Quiroz, 2020

Tabla 15. Análisis de Varianza para Coliformes totales

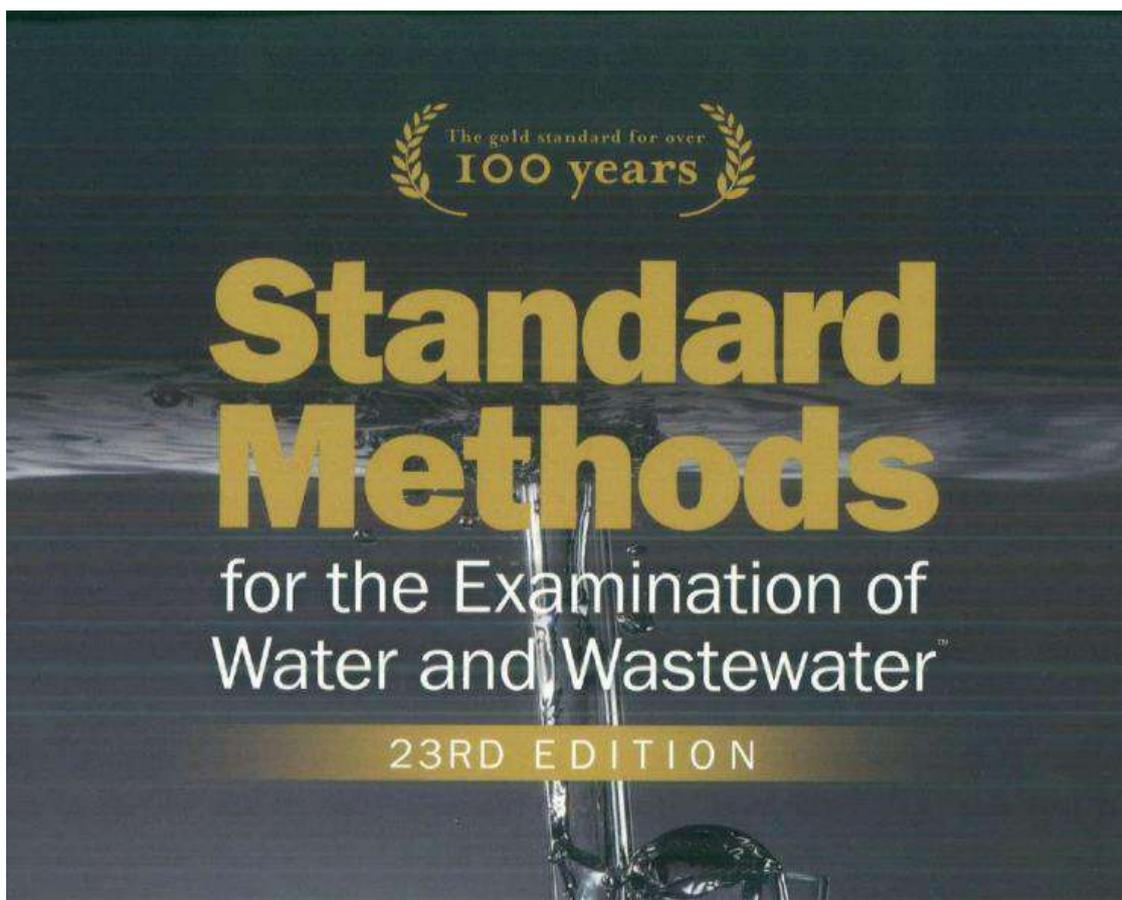
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	222222,22	2	111111,11	14,29	0,0052
Tratamientos	222222,22	2	111111,11	14,29	0,0052
Error	46666,67	6	7777,78		
Total	268888,89	8			

Quiroz, 2020

Tabla 16. Test: Duncan Alfa = 0,05

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T4	0	3	50,92	A
T10	0	3	50,92	A
T3	333,33	3	50,92	B

Quiroz, 2020



daily. The turbidity of this suspension is defined as 40 NTU.

d. Alternate standards: As an alternative to preparing and diluting formazin, use commercially available standards such as styrene divinylbenzene beads[†] if they are demonstrated to be equivalent to freshly prepared formazin.

e. Dilute turbidity standards: Dilute portions of standard turbidity suspension with turbidity-free water as required. Prepare daily.

4. Procedure

a. Turbidimeter calibration: Follow the manufacturer's operating instructions. In the absence of a precalibrated scale, prepare calibration curves for each range of the instrument. Check accuracy of any supplied calibration scales on a precalibrated instrument by using appropriate standards. Run at least one standard in each instrument range to be used. Make certain that turbidimeter gives stable readings in all sensitivity ranges used. High turbidities determined by direct measurement are likely to differ appreciably from those determined by the dilution technique. † 4c.

b. Measurement of turbidities less than 40 NTU: Thoroughly shake sample. Wait until air bubbles disappear and pour sample into turbidimeter tube. When possible, pour shaken sample into turbidimeter tube and immerse it in an ultrasonic bath for 1 to 2 s, causing complete bubble release. Read turbidity directly from instrument scale or from appropriate calibration curve.

c. Measurement of turbidities above 40 NTU: Dilute sample with one or more volumes of turbidity-free water until turbidity falls between 30 and 40 NTU. Compute turbidity of original sample from turbidity of diluted sample and the dilution factor. For example, if five volumes of turbidity-free water were added to one volume of sample and the diluted sample showed a turbidity of 30 NTU, then the turbidity of the original sample was 180 NTU.

d. Calibrate continuous turbidity monitors for low turbidities by determining turbidity of the water entering or leaving them, using a laboratory-model turbidimeter. When this is not possible, use an appropriate dilute turbidity standard. † 3e. For turbidities above 40 NTU use undiluted stock solution.

a. Report turbidity readings as follows:

Turbidity Range NTU	Report to the Nearest NTU
0-1.0	0.05
1-10	0.1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1000	50
>1000	100

b. For comparison of water treatment efficiencies estimate turbidity more closely than is specified above. Uncertainties and discrepancies in turbidity measurements make it unlikely that two or more laboratories will duplicate results on the same sample more closely than specified.

7. Bibliography

- WHIPPLE, G.C. & D.D. JACKSON. 1900. A comparative study of the methods used for the measurement of turbidity of water. *Mass. Inst. Technol. Quart.* 13:274.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1901. Report of Committee on Standard Methods of Water Analysis. *Pub. Health Papers & Rep.* 27:377.
- WELLS, P.V. 1922. Turbidimetry of water. *J. Amer. Water Works Assoc.* 9:488.
- BAYLIS, J.R. 1926. Turbidimeter for accurate measurement of low turbidities. *Ind. Eng. Chem.* 18:311.
- WELLS, P.V. 1927. The present status of turbidity measurements. *Chem. Rev.* 3:331.
- BAYLIS, J.R. 1933. Turbidity determinations. *Water Works Sewage* 80:125.
- ROSE, H.E. & H.B. LLOYD. 1946. On the measurement of the size characteristics of powders by photo-extinction methods. *J. Soc. Chem. Ind.* (London) 65:52 (Feb.); 65:55 (Mar.).
- ROSE, H.E. & C.C.J. FRENCH. 1948. On the extinction coefficient: Particle size relationship for fine mineral powders. *J. Soc. Chem. Ind.* (London) 67:283.
- GILLET, T.R., P.F. MEADS & A.L. HOLVEN. 1949. Measuring color and turbidity of white sugar solutions. *Anal. Chem.* 21:1728.

Figura 28. Metodología de Turbidez
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

SOLIDS (2540)/Total Dissolved Solids Dried at 180°C

Because excessive residue in the dish may form a water-trapping crust, limit sample to ≤ 200 mg residue.

2. Apparatus

a. Sample dishes: Dishes of approximately 90-mm dia and 100-mL capacity made of one of the following materials:

- 1) Porcelain,
- 2) Platinum,
- 3) High-silica glass (may react with highly alkaline samples),* or
- 4) Other material shown to be resistant to the sample matrix and weight stable at the required evaporation and drying temperatures. Aluminum is NOT appropriate for this purpose.†

*b. Wide-bore pipets,** Class B in glass, mechanical or electronic.

c. Graduated cylinders, Class A.

d. Steam bath (optional) for sample evaporation.

e. Hot plate or block (optional) for sample evaporation. Must be capable of maintaining a temperature $< 100^\circ\text{C}$ without boiling samples.

f. Pre-drying oven (optional) for sample evaporation that operates at temperatures approximately 2°C below boiling to prevent splattering.

g. Drying oven that operates at $103\text{--}105^\circ\text{C}$.

h. Muffle furnace that operates at $550 \pm 50^\circ\text{C}$.

i. Desiccator, which includes either a desiccant whose color changes in response to moisture concentration or an instrument for measuring moisture (e.g., a hygrometer).

j. Analytical balance, capable of weighing to 0.1 mg.

k. Magnetic stirrer with TFE stirring bar (optional).

l. Blender or homogenizer (optional).

m. Low-form beaker, Class B or better.

3. Procedure

a. Preparation of evaporating dish: If measuring volatile solids, then ignite clean evaporating dish at $550 \pm 50^\circ\text{C}$ for

≥ 15 min in a muffle furnace. If only measuring total solids, then heat clean dish at $103\text{--}105^\circ\text{C}$ for ≥ 1 h. Cool dishes to ambient temperature and weigh. Store weighed dishes in desiccator or oven until needed.

b. Selection of sample size: Choose sample volume to yield between 2.5 and 200 mg dried residue. If necessary, successive sample portions may be added to the same dish after evaporation. Identify any sample that yields residue < 2.5 mg or > 200 mg, and report the value as described in Sections 1020 and 2020.

c. Sample analysis: Stir or mix sample and quantitatively transfer with a pipet or graduated cylinder to a pre-weighed dish. Evaporate samples to dryness on a steam bath, hot plate, or block, or in a drying oven. Make sure evaporation temperature is $\geq 2^\circ\text{C}$ below boiling to prevent splattering. Dry evaporated sample for ≥ 1 h in a $103\text{--}105^\circ\text{C}$ oven. Cool dish in desiccator to ambient temperature, and weigh. Repeat cycle (drying for ≥ 1 h, cooling, desiccating, and weighing) until weight change is < 0.5 mg.

4. Calculation

$$\text{mg total solids/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

where:

A = final weight of dried residue + dish, mg, and
B = weight of dish, mg.

5. Precision

Single-laboratory duplicate analyses of 41 samples of water and wastewater were made with a standard deviation of differences of 6.0 mg/L.

6. Bibliography

SYMONS, G.E. & B. MOREY. 1941. The effect of drying time on the determination of solids in sewage and sewage sludges. *Sewage Works J.* 13:936.

* Vycor, product of Corning Glass Works, Corning, NY, or equivalent.

† StableWeigh, Environmental Express, Charleston, SC, or equivalent.

Figura 29. Metodología de Sólidos Totales
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

filters, not the support pans or dishes, unless a Gooch crucible is used.

2. Apparatus

Apparatus listed in 2540B.2 and C.2, except for evaporating dishes, steam bath, hot plate or block, and $180 \pm 2^\circ\text{C}$ drying oven. In addition:

a. *Weighing dishes or pans*, constructed of aluminum or other inert material, to hold filters.

b. *Forceps*.

3. Procedure

a. *Preparation of glass-fiber filter disk*: Insert filter with wrinkled side up in filtration apparatus. Apply vacuum and wash disk with three successive portions of ≈ 20 mL reagent-grade water. Continue suction to remove all traces of water. Remove filter from filtration apparatus and transfer to an inert weighing dish. If a Gooch crucible is used, remove crucible and filter combination. Dry in a $103\text{--}105^\circ\text{C}$ oven for ≥ 1 h. Cool in desiccator to ambient temperature and weigh. Store filters (on inert dishes or pans) in desiccator or $103\text{--}105^\circ\text{C}$ oven until needed. Adequate filter preparation is demonstrated by negligible weight loss or gain for method blanks.

If measuring volatile solids, ignite at $550 \pm 50^\circ\text{C}$ for ≥ 15 min in a muffle furnace. Cool to room temperature before proceeding. (Alternatively, the ignition step may be performed after washing and drying at $103\text{--}105^\circ\text{C}$ for ≥ 1 h, but before weighing.)

If using commercially prepared glass-fiber filters, the ignition, washing, and weighing steps may be eliminated if the manufacturer certifies that the prepared filters meet this method's requirements. Verify filters using method blanks. Filters are verified if the measured weight differs from the manufacturer's weight by less than ± 0.5 mg.

b. *Selection of filter and sample sizes*: Choose sample volumes to yield between 2.5 and 200 mg dried residue. If filtration takes > 10 min to complete, increase filter size or decrease sample volume. Identify any sample that yields residue < 2.5 mg or > 200 mg, and report the value as described in Sections 1020 and 2020.

c. *Sample analysis*: Stir or mix sample and use a pipet or graduated cylinder to transfer a measured volume onto a glass-

4. Calculation

$$\text{mg total suspended solids/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{sample volume, mL}}$$

where:

A = final weight of filter + dried residue, mg, and

B = weight of filter, mg.

5. Precision

The standard deviation was 5.2 mg/L (coefficient of variation 33%) at 15 mg/L, 24 mg/L (10%) at 242 mg/L, and 13 mg/L (0.76%) at 1707 mg/L, in studies by two analysts of four sets of 10 determinations each.

Single-laboratory duplicate analyses of 50 samples of water and wastewater were made with a standard deviation of differences of 2.8 mg/L.

6. Bibliography

- DEGEN, J. & F.E. NUSSBERGER. 1956. Notes on the determination of suspended solids. *Sewage Ind. Wastes* 28:237.
- CHANIN, G., E.H. CHOW, R.B. ALEXANDER & J. POWERS. 1958. Use of glass fiber filter medium in the suspended solids determination. *Sewage Ind. Wastes* 30:1062.
- NUSBAUM, I. 1958. New method for determination of suspended solids. *Sewage Ind. Wastes* 30:1066.
- SMITH, A.L. & A.E. GREENBERG. 1963. Evaluation of methods for determining suspended solids in wastewater. *J. Water Pollut. Control Fed.* 35:940.
- WYCKOFF, B.M. 1964. Rapid solids determination using glass fiber filters. *Water Sewage Works* 111:277.
- NATIONAL COUNCIL OF THE PAPER INDUSTRY FOR AIR AND STREAM IMPROVEMENT. 1975. A Preliminary Review of Analytical Methods for the Determination of Suspended Solids in Paper Industry Effluents for Compliance with EPA-NPDES Permit Terms; Spec. Rep. No. 75-01. New York, N.Y.
- NATIONAL COUNCIL OF THE PAPER INDUSTRY FOR AIR AND STREAM IMPROVEMENT. 1977. A Study of the Effect of Alternate Procedures on Effluent Suspended Solids Measurement; Stream Improvement Tech. Bull. No. 291. New York, N.Y.
- TREES, C.C. 1978. Analytical analysis of the effect of dissolved solids on suspended solids determination. *J. Water Pollut. Control Fed.* 50:2370.

Figura 30. Metodología de Sólidos Suspendidos Totales
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

60	3.560	4.085	1.723
70	3.580	4.12	1.743
80	3.609	4.16	1.766
90	3.650	4.19	1.792
95	3.674	4.21	1.806

Although ACS-grade chemicals generally are satisfactory for preparing buffer solutions, use certified materials available from the National Institute of Standards and Technology when the greatest accuracy is required. For routine analysis, use commercially available buffer tablets, powders, or solutions of tested quality. In preparing buffer solutions from solid salts, ensure complete solution.

As a rule, select and prepare buffer solutions classed as primary standards in Table 4500-H⁺:I; reserve secondary standards for extreme situations encountered in wastewater measurements. Consult Table 4500-H⁺:II for accepted pH of standard buffer solutions at temperatures other than 25°C. In routine use, store buffer solutions and samples in polyethylene bottles. Replace buffer solutions every 6 months.

b. Saturated potassium hydrogen tartrate solution: Shake vigorously an excess (5 to 10 g) of finely crystalline KHC₄H₄O₆ with 100 to 300 mL distilled water at 25°C in a glass-stoppered bottle. Separate clear solution from undissolved material by decantation or filtration. Preserve for 2 months or more by adding one thymol crystal (8 mm diam) per 200 mL solution.

c. Saturated calcium hydroxide solution: Calcine a well-washed, low-alkali grade CaCO₃ in a platinum dish by igniting for 1 h at 1000°C. Cool, hydrate by slowly adding distilled water with stirring, and heat to boiling. Cool, filter, and collect solid Ca(OH)₂ on a fritted glass filter of medium porosity. Dry at 110°C, cool, and pulverize to uniformly fine granules. Vigorously shake an excess of fine granules with distilled water in a stoppered polyethylene bottle. Let temperature come to 25°C after mixing. Filter supernatant under suction through a sintered glass filter of medium porosity and use filtrate as the buffer solution. Discard buffer solution when atmospheric CO₂ causes turbidity to appear.

d. Auxiliary solutions: 0.1N NaOH, 0.1N HCl, 5N HCl (dilute five volumes 6N HCl with one volume distilled water), and acid potassium fluoride solution (dissolve 2 g KF in 2 mL conc H₂SO₄ and dilute to 100 mL with distilled water).

4. Procedure

a. Instrument calibration: In each case, follow manufacturer's instructions for pH meter and for storage and preparation of electrodes for use. Recommended solutions for short-term storage of electrodes vary with type of electrode and manufacturer, but generally have a conductivity greater than 4000 μmhos/cm. A pH 4 buffer is best for the single glass electrode and saturated KCl is preferred for a calomel and Ag/AgCl reference electrode. Saturated KCl is the preferred solution for a combination electrode. Keep electrodes wet by returning them to storage solution whenever pH meter is not in use.

Before use, remove electrodes from storage solution, rinse, blot dry with a soft tissue, place in initial buffer solution, and set the isopotential point (4500-H⁺.B.2a). Select a second buffer within 2 pH units of sample pH and bring sample and buffer to same temperature, which may be the room temperature; a fixed temperature, such as 25°C; or the temperature of a fresh sample. Remove electrodes from first buffer, rinse thoroughly with distilled water, blot dry, and immerse in second buffer. Record temperature of measurement and adjust temperature dial on meter so meter indicates pH value of buffer at test temperature (this is a slope adjustment).

Use the pH value listed in the tables for the buffer used at the test temperature. Remove electrodes from second buffer, rinse thoroughly with distilled water and dry electrodes as indicated above. Immerse in a third buffer below pH 10, approximately

Figura 31. Metodología de pH
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Caution: This medium is a suspected carcinogen and mutagen. Avoid skin contact, ingestion, or exposure to mucous membranes. Follow manufacturer's and SDS instructions.

1) Agar preparation—Rehydrate product in 1 L water containing 20 mL 95% ethanol. Do not use denatured ethanol, which reduces background growth and coliform colony size. Do not sterilize by autoclaving. Heat to near boiling to dissolve agar, promptly remove from heat, and cool to between 45 and 50°C. Dispense 5- to 7-mL quantities into 60-mm sterile glass or 4- to 6-mL quantities into 50-mm plastic Petri dishes. If dishes of any other size are used, adjust quantity to give an equivalent depth. Final pH should be 7.2 ± 0.2 . A precipitate is normal in Endo-type media.

Refrigerate finished medium in the dark, and discard unused agar after 2 weeks [or sooner if there is evidence of moisture loss, medium contamination, medium deterioration (darkening of medium), or surface sheen formation].

2) Broth preparation—Prepare as above, omitting agar. Dispense liquid medium (at least 2.0 mL per plate) onto sterile absorbent pads (see 9222B.1h) and carefully remove excess medium by decanting plate. The broth may have a precipitate but this does not interfere with medium performance if pads are certified free of sulfite or other toxic agents at concentrations that could inhibit bacterial growth. Refrigerated broth in screw-capped bottles or flasks may be stored for up to 96 h.

c. Buffered dilution rinse water: See Section 9050C.1.

3. Samples

Collect samples as directed in Section 9060A.

4. Procedures

a. Selection of sample size: Sample size will be governed by expected bacterial density, degree of turbidity and, if applicable, regulatory requirements. (See Table 9222:1 for suggested sample volumes.)

An ideal sample volume will yield 20 to 80 total coliform colonies and ≤ 200 colonies of all types (typical, atypical, and noncoliform background colonies) on a membrane-filter surface (Table 9222:II). Analyze drinking waters by filtering 100 mL or

* Dehydrated Difco m-Endo Broth MF (No. 274920), or equivalent.

TABLE 9222:II. NUMBERS OF COLONIES IN THE IDEAL RANGE FOR QUANTITATIVE DETERMINATIONS

Test	Colony Counting Range	
	Minimum	Maximum
Total coliform	20	80
Fecal coliform	20	60
Fecal streptococci	20	100
Enterococci	20	60
<i>E. coli</i>	20	80

replicates of smaller sample volumes (e.g., duplicate 50-mL portions or four replicates of 25-mL portions). Analyze other waters by filtering three different volumes (diluted or undiluted), depending on the expected bacterial density. (See Section 9215B.2 for preparation of dilutions.) When filtering <10 mL of sample (diluted or undiluted), add approximately 10 mL sterile buffered dilution water to the funnel and then add sample followed by another 25 to 50 mL dilution water before filtration or pipet the sample volume into sterile dilution water and then filter the entire contents of dilution bottle. This increase in water volume helps disperse the bacterial suspension uniformly over the entire effective filtering surface.

b. Sterile filtration units and quality control: Use sterile filtration units at the beginning of each filtration series as a minimum precaution to avoid accidental contamination. A filtration series is interrupted when an interval of 30 min or longer elapses between sample filtrations. After such interruption, treat any further sample filtration as a new filtration series and sterilize all membrane filter holders in use. (See 9222B.1f for sterilization procedures and Sections 9020B.4l and m for UV cleaning and safety guidelines.)

c. Filtration of sample: Using sterile forceps, place a sterile membrane filter (grid side up) over porous plate of the base. Carefully place matched funnel unit over base (lock it in place, if applicable). Thoroughly mix sample or dilution(s) of sample by vigorously shaking (e.g., 25 times up and down in a 1 ft arc in 7 s) to break up clumps of bacteria, which is crucial for a microbial quantitative method. If sample bottle lacks enough headspace for adequate mixing, pour sample into a larger sterile vessel to mix appropriately. Filter sample under partial vacuum (commonly used pressure: 81 kPa, 24 in. Hg, or 79% vacuum).

Figura 32. Metodología de Coliformes
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater