



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

TESIS

**ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN LAS ORQUÍDEAS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE NEEM (*Azadirachta
indica*) COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE
COLIFORMES FECALES**

TRABAJO NO EXPERIMENTAL

SERVICIOS AMBIENTALES

AUTOR
MACÍAS RENDÓN FABIO PAÚL

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



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

**ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN LAS ORQUÍDEAS
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE NEEM (*Azadirachta
indica*) COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE
COLIFORMES FECALES
TRABAJO NO EXPERIMENTAL**

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

**AUTOR
MACÍAS RENDÓN FABIO PAÚL**

**TUTOR
MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN. ING. QUIM, M.Sc.**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN LAS ORQUÍDEAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE NEEM (*Azadirachta indica*) COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE COLIFORMES FECALES”, realizado por la estudiante MACÍAS RENDÓN FABIO PAÚL; con cédula de identidad N°0959104274 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. Diego Iván Muñoz Naranjo, M.Sc

Guayaquil, 13 de noviembre del 2020.



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

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN LAS ORQUÍDEAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE NEEM (*Azadirachta indica*) COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE COLIFORMES FECALES”, realizado por el estudiante, MACÍAS RENDÓN FABIO PAÚL , el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Dr. Freddy Arcos Ramos .
PRESIDENTE

Ing. Jorge Coronel Quevedo .
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Luis Morocho Rosero.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Muñoz Naranjo
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 09 de noviembre del 2020

Dedicatoria

Dedico mi tesis especialmente a Jehová Dios, por haberme brindado la bendición de la vida y la perspicacia para tomar decisiones acertadas en el transcurso de mi vida.

A mis padres Fabio Paúl Macías Cedeño y Francisca Aracely Rendón Montalvan y a mi hermana Maria Fabiana Macías Rendón que con su dedicación y amor han sido una guía y un soporte privilegiado por la cual estaré toda mi vida agradecido, los amo.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Agraria del Ecuador y a los maravillosos profesores que impartieron con su cátedra y ética a mi formación académica en especial a los Ingenieros: Diego Ivan Muñoz Naranjo Carlos Luis Banchón Bajaña, Diego Arcos Jacome y Jorge Alberto Coronel Quevedo, a mis amigos; Diana Alvarez, George Nieto, Pavloba Cabrera y Roger Cañas.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, MACÍAS RENDÓN FABIO PAÚL, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN LAS ORQUÍDEAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE NEEM (*Azadirachta indica*) COMO ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DE COLIFORMES FECALES” para optar por el título de INGENIERO 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 contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) 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, 13 de noviembre del 2020

MACÍAS RENDON FABIO PAÚL
C.I. 0959104274

Índice general

Aprobación del tutor.....	2
Aprobacion del Tribunal.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Autorización de autoría intelectual.....	6
Indice general.....	7
Indice de tablas.....	12
Indice de figuras.....	14
Resumen.....	16
Abstract.....	17
1. Introducción.....	18
1.1 Antecedentes del problema.....	19
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	21
1.2.1 Planteamiento del problema.....	21
1.2.2 Formulación del problema.....	23
1.3 Justificación de la investigación.....	23
1.4 Delimitación de la investigación.....	25
1.5 Objetivo general.....	25
1.6 Objetivos específicos.....	25
1.7 Hipótesis.....	26
2. Marco teórico.....	27
2.1 Estado del arte.....	27
2.2 Bases teóricas.....	30

	8
2.2.1 Árbol de Neem.....	30
2.2.1.1 Neem.....	30
2.2.1.2 Taxonomía.....	30
2.2.1.3 Condiciones agroclimáticas del cultivo.....	30
2.2.1.4 Valor nutricional.....	30
2.2.1.5 Composición química del neem.....	31
2.2.1.6 Compuestos bioactivos del Neem.....	32
2.2.2 Recurso hídrico.....	33
2.2.2.1 Cuerpos hídricos en movimiento.....	33
2.2.2.2 Afluentes.....	33
2.2.2.3 Efluentes.....	33
2.2.2.4 Contaminación hídrica.....	33
2.2.2.5 Agua residual.....	34
2.2.2.6 Clasificación del agua residual.....	34
2.2.2.7 Aguas residuales domesticas o grises.....	34
2.2.3 Composición de las aguas residuales.....	34
2.2.3.1 Composición de las aguas residuales domésticas.....	34
2.2.3.2 Características físicas.....	35
2.2.3.3 Olor.....	35
2.2.3.4 Temperatura.....	35
2.2.3.5 Color.....	35
2.2.3.6 Turbiedad.....	36
2.2.3.7 Características químicas.....	36
2.2.3.8 Materia Orgánica.....	36

	9
2.2.3.9 Sedimento.....	36
2.2.3.10 Cloruro y Sulfitos.....	37
2.2.3.11 Materia Inorgánica.....	37
2.2.3.12 El pH.....	37
2.2.3.13 Demanda biológica de oxígeno (DBO).....	37
2.2.3.14 Demanda química de oxígeno (DQO).....	37
2.2.3.15 Nitrógeno y fósforo.....	38
2.2.3.16 Metales tóxicos y compuestos.....	38
2.2.3.17 Gases.....	38
2.2.3.18 Características biológicas.....	39
2.2.3.19 Microorganismos.....	39
2.2.3.20 Coliformes.....	40
2.2.3.21 Coliformes totales.....	40
2.2.3.22 Coliformes fecales.....	40
2.2.3.23 Escherichia coli.....	41
2.2.4 Tratamiento del agua residual.....	41
2.2.4.1 Tratamiento del agua residual doméstica.....	41
2.2.4.2 Tratamiento anaerobio de aguas residuales.....	41
2.2.4.3 Tratamiento aerobio de las aguas residuales.....	42
2.2.4.4 Tratamiento primario.....	42
2.2.4.5 Tratamiento secundario.....	43
2.2.4.6 Tratamiento terciario.....	43
2.2.4.7 Desinfección de las aguas residuales.....	43
2.2.4.8 Cloración.....	43

	10
2.2.4.9 Cloro.....	44
2.2.4.10 Método del Número más probable.....	44
2.2.4.11 Biocoagulante.....	44
2.2.4.12 Coagulación.....	44
2.2.4.13 Floculación.....	45
2.2.4.14 Procesos de Coagulación-floculación.....	45
2.2.4.15 Petrifilm.....	45
2.2.4.16 Agua tratada.....	45
2.3 Marco legal.....	46
2.3.3 Ley de la constitución de la república del Ecuador (2008).....	46
2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del agua (2014).....	48
2.3.4 Ley orgánica de salud (2006).....	51
2.3.5 Acuerdo ministerial 061 (2015).....	53
2.3.6 Acuerdo ministerial 097-A (2015).....	56
3 Materiales y métodos.....	58
3.1 Enfoque de la investigación.....	58
3.1.1 Tipo de investigación.....	58
3.1.2 Diseño de investigación.....	58
3.2.1 Variables.....	59
3.2.1.1 Variable independiente.....	59
3.2.1.2 Variable dependiente.....	59
3.2.2 Diseño experimental.....	59
3.2.3 Recolección de datos.....	59

	11
3.2.3.1 Recursos.....	59
3.2.3.2 Métodos y técnicas.....	60
3.2.4 Análisis estadístico.....	60
4. Resultados.....	61
4.1 Análisis de potencial antimicrobiano del neem.....	61
4.1.1 Azadirachtin (azadiractina).....	62
4.1.2 Nimbin (nimbina).....	62
4.1.3 Nimbolide.....	63
4.1.4 Gedunin.....	63
4.1.5 Catechin (catequina).....	64
4.1.6 Epicatechin (epicatequina).....	65
4.1.7 Mahmoodin.....	65
4.1.8 Gallic Acid (ácido gálico).....	66
4.1.9 Salannin.....	66
4.1.10 Meliantriol.....	67
4.2 Determinación de contaminación fecal en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que descarga sus aguas al río Daule.....	68
4.3 Análisis de estudios en los que se emplea Neem para reducción de coliformes fecales.....	72
4.4 Propuesta de dosificación del neem como método alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de oxidación Las Orquídeas	76
5. Discusión.....	80
6. Conclusiones.....	82
7. Recomendaciones.....	83
8. Bibliografía.....	84
9. Anexos.....	100

Índice de tablas

Tabla 1. Concentración de Coliformes Fecales en el punto de entrada a la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	68
Tabla 2. Concentración de coliformes fecales en el punto de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	69
Tabla 3. Tendencia de concentración de Coliformes Fecales en el punto de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	70
Tabla 4. Criterio de evaluación para determinar la contaminación de descarga de aguas residuales domesticas hacia el río Daule.....	71
Tabla 5. Matrices descriptivas para el análisis de tratamientos t1 y t2.....	73
Tabla 6. Matrices descriptivas para el análisis de tratamientos t3 y t4.....	74
Tabla 7. Dosificación de t1.....	76
Tabla 8. Dosificación del polvo de neem como tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	76
Tabla 9. Estimación del uso del cloro para desinfectar el agua residual (3,5%)....	77
Tabla 10. Estimación de neem como tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	79
Tabla 11. Taxonomía (<i>A. indica</i>).....	100
Tabla 12. Información nutricional para 35 gr. de (<i>A. indica</i>).....	100
Tabla 13. Principales elemento químicos presentes en el neem (<i>A. indica</i>).....	101
Tabla 14. Principales compuestos bioactivos del neem.....	102
Tabla 15. Composición del agua residual doméstica.....	103
Tabla 16. Presupuesto.....	104
Tabla 17. Recursos empleados.....	104

	13
Tabla 18. Azadiractina.....	105
Tabla 19. Nimbin.....	105
Tabla 20. Nimbolide.....	106
Tabla 21. Gedunin.....	106
Tabla 22. Catequina.....	107
Tabla 23. Epicatequina.....	107
Tabla 24 Mahmoodin.....	108
Tabla 25. Ácido Gálico.....	108
Tabla 26. Salannin.....	109
Tabla 27. Meliantriol.....	109

Índice de figuras

Figura 1. Concentración de Coliformes Fecales en el canal de entrada hacia la Laguna de Oxidación Orquídeas.....	69
Figura 2. Concentración de Coliformes Fecales en el canal de salida de la Laguna de Oxidación Orquídeas.....	70
Figura 3. Tendencia de concentración de Coliformes Fecales en el canal de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	71
Figura 4. Concentración de coliformes fecales que se descargan hacia el rio Daule y límite máximo permisible estipulado en Acuerdo ministerial 097,2015 de la normativa ambiental vigente.....	72
Figura 5. Efectividad del empleo de Neem (<i>A. indica</i>).....	75
Figura 6. Fórmulas utilizadas en la propuesta de reducción de coliformes fecales.	110
Figura 7. Ubicación de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.....	110
Figura 8. Compuestos bioactivos del neem.....	111
Figura 9. Compuestos químicos del neem.....	111
Figura 10. Microorganismo patógenos presentes en el agua residual domestica	112
Figura 11. Mapa jerárquico de los coliformes.....	112
Figura 12. Etapas del tratamiento de las aguas residuales domésticas.....	113
Figura 13. Estructura química de la azadiractina.....	113
Figura 14. Estructura química del nimbin.....	114
Figura 15. Estructura química del nimbolide.....	114
Figura 16. Estructura química del gedunin.....	115
Figura 17. Estructura química de la catequina.....	115

	15
Figura 18. Estructura química de la epicatequina.....	116
Figura 19. Estructura química del mahmoodin.....	116
Figura 20. Estructura química del ácido gálico.....	117
Figura 21. Estructura química del salannin.....	117
Figura 22. Estructura química del meliantriol.....	118
Figura 23. Test de laboratorio inicial del agua residual tratada con Neem.....	119
Figura 24. Test de laboratorio final del agua residual tratada con Neem.....	120
Figura 25. Límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce reforma al tulsma.....	121

Resumen

Las descargas de agua residual doméstica con elevadas concentraciones de coliformes fecales degradan la calidad de los recursos hídricos y provocan un severo problema a nivel mundial. Por lo cual, Ecuador siendo miembro activo de la agenda de desarrollo sostenible y como parte del cumplimiento de sus objetivos garantizará el acceso, gestión y saneamiento del agua para 2030. A través de este proyecto de tesis se generó una línea base en donde se identificó que los principales compuestos bioactivos del neem: azadiractina, nimbin, nimbolide, gedunin, catequina, epicatequina, mahmoodin, ácido gálico, salannin, meliantriol tienen la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano, además se determinó que el promedio de concentración anual de coliformes fecales durante el año 2018-2019 en el canal de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que descarga hacia río Daule fue de 2 972 917 NMP/100mL lo que supera en 1 486 % la normativa ambiental vigente. Por lo tanto, mediante la aplicación del tratamiento t1 de polvo de hojas de neem correspondiente a una dosificación de 436,44t/21 822m³ se redujo >99% la concentración de coliformes fecales sin embargo aumentó la salinidad y la conductividad eléctrica y de la misma forma se disminuyó el pH, parámetro que pueden ser corregidos mediante la aplicación de sustancias alcalinas como cáscaras de huevo o cal.

Palabras clave: neem, bioactivos, aguas residuales domésticas, coliformes fecales, microbiano.

Abstract

Discharges of domestic wastewater with high concentrations of fecal coliforms degrade the quality of water resources and cause a severe global problem. For this reason, Ecuador being an active member of the sustainable development agenda and as part of meeting its objectives will ensure access, management and sanitation of water by 2030. Through this thesis project a baseline was generated in which the main bioactive compounds of neem were identified: azadiractin, nimbin, nimbolide, gedunin, catechin, epicatechin, mahmoodin, gálic acid, salannin, meliantriol have the ability to inhibit microbial growth, in addition it was determined that the average annual concentration of fecal coliforms during the year 2018-2019 in the exit channel of the Las Orchid Oxidation Lagoon that discharges into the Daule River was 2 972 917 NMP/100mL which exceeds by 1 486 % the current environmental regulations. So, by applying the t1 treatment of neem leaf powder corresponding to a dosage of 436.44t/21822m³ the concentration of faecal coliforms was reduced >99% however it increased salinity and electrical conductivity and in the same way the pH was decreased, a parameter that can be corrected by applying alkaline substances such as eggshells or lime.

Keywords: neem, bioactive, domestic wastewater, faecal coliforms, microbial.

1. Introducción

La supervivencia de la raza humana depende exclusivamente de la gestión integral de los recursos hídricos. Los objetivos del desarrollo sostenible para el 2030 garantizarán la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, tal es que el presente estudio de análisis acerca del empleo de alternativas ecológicas y de menor impacto ambiental, para la reducción de microorganismos patógenos en las aguas residuales resulta eficiente y sostenible en consideración a la baja toxicidad y biodegradabilidad de sus compuestos, de esta manera se contribuye a la aplicabilidad de servicios de saneamiento que mejoraran la calidad del agua, reduciendo su contaminación a nivel mundial (OMS y UNICEF, 2017).

Alrededor del 88% de los incidentes de diarrea a nivel mundial están relacionados con la falta de higiene y el consumo de agua no segura, además, se estima que el agua potable contaminada causa 502 000 muertes por diarrea cada año (Unesco, 2017).

Por ejemplo, los beneficios ambientales del tratamiento de las aguas residuales liberadas en aguas superficiales de Eslovaquia, país con un PIB similar al Ecuador, en 2016 se estimaron en 2,33 mil millones de dólares. (Antalová, Slučiaková, y Haluš, 2018).

Estudios recientes señalan que el neem (*Azadirachta indica*) se considera un potencial antimicrobiano, que inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos como virus, bacterias y en especial coliformes presentes en las aguas residuales.

Por consiguiente, este estudio bibliográfico estará enfocado en proponer un tratamiento alternativo de dosificación de neem para la reducción de las altas concentraciones de coliformes presentes en la Laguna de Oxidación Las

Orquídeas y de esta manera, estimar la reducción que se alcanzaría para mitigar la alta carga de contaminación fecal que contamina al río Daule.

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial 842 000 personas de países en vías de desarrollo mueren cada año como consecuencia de la insalubridad del agua y de un saneamiento deficiente (OMS, 2019).

Las aguas residuales domésticas contienen residuos virales, bacterianos y protozoarios que al no recibir un adecuado saneamiento se convierten en potenciales sumideros de contaminación por lo cual la OMS establece que un indicador para evaluar las cargas de patógenos con residuos fecalmente contaminados, así como, la eficiencia del tratamiento de las medidas de control, es la concentración de *Escherichia coli*, como un organismo de referencia (OMS, 2016).

Las descargas de aguas residuales son la principal causa de contaminación de los cuerpos hídricos en Ecuador y su contenido genera peligros potenciales para la salud humana (Alarcón, 2019).

En el año 2017, el 22,6% de las aguas residuales generadas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) a nivel nacional no recibieron ningún tipo de tratamiento previo a su descarga final y el 60,03% dispuso el agua residual no tratada a los ríos, siendo un indicador clave para comparar con los datos de la encuestadora ENEMUD que son la base de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), publicados por UNICEF y el INEC (2019) que señalan la existencia de cerca del 26,6% de presencia de *E. coli* en el agua para consumo humano en Ecuador, asociados principalmente a aguas contaminadas con residuales fecales

puesto que existe una relación significativa debido a que el agua para consumo humano es captada de los principales ríos del país, cabe recalcar que la ineficiencia en los tratamientos convencionales propicia la presencia de estas bacterias que puede desencadenar afecciones a la salud pública como el “Síndrome Urémico Hemolítico” y poner en riesgo la vida humana y el medio ambiente (Mayoclinic, 2019; Terán y Samaniego, 2018).

Tanto la ciudad de Quito como Guayaquil, albergan más del 32% de la población nacional, esto representa una mayor presión en la calidad de agua de sus ríos principales es así que en lo que respecta a las concentraciones de coliformes fecales en el río Machángara y en el río Daule son de 905,5 y 1 000 veces superiores al límite máximo permisible (Gualoto, Chiluisa-Utreras, y Campaña, 2017; INEC, 2017; Toranzos, 2019b).

Según Toranzos (2019), basado en el Dr. Ricardo Izurieta coordinador de la Red Interamericana de Academias de Ciencia menciona que el 67 % de los muestreos analizados en la cuenca del Guayas superaban los límites máximos permisibles de coliformes fecales, también Danilo Álvarez, consultor de soluciones ambientales, indica que el río Guayas no logra diluir todos los contaminantes y eso lo comprueban varios estudios de exceso de cadmio, coliformes y otros químicos que ya están confirmados.

Según Cabrera, Cumba, y Solis-Castro (2019), los principales factores que inciden en la contaminación del río Guayas y sus afluentes son las constantes descargas de aguas residuales domésticas e industriales, desechos tóxicos, polución del suelo y sólidos flotantes.

Por consiguiente, el estado del tratamiento de las aguas residuales del Puerto Principal continúa incumpliendo con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Ecuador y superando el índice de concentración de contaminantes permitidos.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La cuenca del río Guayas ocupa aproximadamente el 25% del territorio ecuatoriano y, entre todos sus afluentes, viven más de 6 000 000 millones de personas que dependen directamente de sus aguas para el desarrollo nacional en actividades como agricultura, ganadería, acuicultura, pesca y consumo doméstico, sin embargo, la calidad de este recurso está severamente afectada (Mella, 2020).

Según SENAGUA y ARCA (2017), el promedio interanual de los coliformes fecales presentes en la demarcación hidrográfica del Guayas durante el año 2015 fueron de 7 105,01 NMP/100mL, por lo tanto, exceden el límite máximo de 2000 NMP/100mL que establece la normativa ambiental, además Luis Domínguez, investigador de la Universidad Politécnica del Litoral, señala la existencia de cambios en la biodiversidad debido a una elevada tasa de organismos tolerantes a la contaminación que se encuentran presentes.

Según Interagua (2019), en Guayaquil el sistema de alcantarillado cubre el 77% de la población del área de servicio lo que representa 1 864 150 habitantes. También, el 92% de estas aguas son de origen doméstico y el 98% de las descargas se vierten al Estuario Daule-Guayas y al Estero Salado, además, solo se realiza el tratamiento secundario a menos del 20% de las aguas residuales.

Cabe destacar que un estudio al que tuvo acceso diario el Expreso publicado por La Agencia de Regulación y Control del Agua durante los años 2015-2017, menciona que el 53,3 % de las aguas utilizadas en el riego agrícola incumplen con los criterios de calidad a causa de que parámetros como los coliformes fecales superan los límites máximos establecidos por la normativa ambiental (Toranzos, 2019a).

En el sistema de canales de Las Orquídeas existe insalubridad y olores desagradables a causa de la acumulación de basura y descargas de aguas servidas que, además, propician a la aparición de vectores de contaminación como ratas y mosquito, debido a la alta carga orgánica también existen zonas con cobertura vegetal en una superficie que se extiende a lo largo de 4 km, dentro de un área de 142 hectáreas que consta con una estación de bombero de 4,3 m/s y el canal de entrada AASS que se conectan a la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que tiene una superficie de 3,12 hectáreas y cuentan con un volumen de almacenamiento de 21 822 m³ de agua residual doméstica que se descargan al canal AALL que vuelca al río Daule (Bazán, 2018; El Universo, 2020 y Expreso, 2018).

De hecho, datos provistos por el Informe anual de Interagua para el año 2018-2019, acerca de las aguas residuales de Laguna de Oxidación las Orquídeas señalan que a laguna entran un promedio de 18 988 888, 89 NMP/100 mL de coliformes fecales y salen 2 585 444,444 NMP/100 mL que se descarga al río Daule superando por más del 1 000% el límite máximo permisible dispuesto por la normativa ambiental vigente (Interagua, 2019).

Ante lo expuesto, se plantea analizar el potencial antimicrobiano del neem (*A. indica*) para la reducción de las altas concentraciones de coliformes fecales, de las aguas residuales domésticas en la Laguna de Oxidación de La Cdla. Las Orquídeas.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la efectividad del neem (*A. indica*) para remoción de los coliformes fecales mediante un estudio bibliográfico, en las aguas residuales domésticas tratadas en La Laguna de Oxidación de la Cdla “Las Orquídeas” que se vierten al río Daule?

1.3 Justificación de la investigación

Los niveles de coliformes fecales incumplen los Límites Máximos Permisibles (LMP), en lo que respecta a las descargas a los cuerpos de agua dulce estipulados en el Acuerdo Ministerial 097, publicado 4 de noviembre de 2015, (actualmente vigente), por lo tanto, se genera un severo impacto ambiental que ponen en alto riesgo la salud ecosistémica del río Daule, afluente principal del Estuario del Río Guayas y a millones de pobladores cuencas abajo que utilizan este recurso para el desarrollo de sus actividades socioeconómicas.

Cabe destacar que en la revista científica Nature con base en Gertjan Medema, microbiólogo del Instituto de Investigación del Agua KWR en Nieuwegein, Países Bajos menciona que se ha podido detectar la presencia de SARS, ARN viral a través de las heces y orina que se drenan hacia varias plantas de tratamiento de aguas residuales (Mallapaty, 2020).

Al parecer la presión de cargas residuales que ocurre en las lagunas de oxidación y el cloro que según la EPA (2015) se emplea en rangos desde los 5

a 20 mg/L, no logra ser del todo eficiente para reducir las altas concentraciones de coliformes fecales (CF) y cabe destacar que su combinación con materia orgánica da lugar a una serie de compuestos organoclorados como: trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas que resultan tóxicos, cancerígenos, mutagénicos y nocivos para el ser humano (Microlab, 2020 y Reyes, 2016).

Estudios como los de Koonu y Budida (2011) y Sarkar, Rahman, Bhoumik, (2018), destacan la efectividad de las hojas de *A. indica*, ya que contienen compuestos con una buena actividad, antiviral y antimicrobiana comprobada contra microorganismos como: *Staphylococcus spp*, *Streptococcus spp*, *Pseudomonas spp* y *E. coli* y algunas cepas de hongos, lo que confirma el gran potencial de los compuestos bioactivos como la azadiractina.

Debido a las concentraciones de clorofila, calcio, fósforo, hierro, tiamina, riboflavin, nicotina, azadirachtin, vitamina C, caroteno y ácido oxálico, taninos, compuestos fenólicos, antioxidantes naturales, isomeldenin, nimbin, nimbinene, nimbinone, los extractos de neem (*A. indica*) resultan efectivos para reducir e inhibir la carga de organismos patógenos bacterianos y virales (Hossain, Al-Toubi, Weli, Al-Riyami, y Al-Sabahi, 2013; Lisan, 2020 y Sigma-Aldrich, 2020a).

Esta alternativa puede emplearse como ente para la conservación de los recursos hídricos, y reducir el impacto que la especie humana está dejando en el planeta, por ejemplo, mejorar la calidad del agua de las instalaciones de saneamiento podría prevenir cada año la muerte de unos 361 000 niños menores de 5 años (OMS, 2019).

En conclusión, el empleo de neem surge como una alternativa ecológicamente sostenible y sustentable para la reducción de las elevadas cargas de microorganismos patógenos como los coliformes fecales de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que junto a Sauces-Alborada, Guayacanes-Samanes, Mucho Lote, y Mi Lote descargan hacia el río Daule sus aguas que son las responsables de una contaminación sin precedentes en la cuenca del río Guayas que puede catalogarse como una de las más graves del Ecuador.

1.4 Delimitación de la investigación

Este estudio bibliográfico se realizó con la finalidad de analizar el neem (*A. indica*) como tratamiento alternativo para la reducción de los coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que descarga al río Daule.

Espacio: Laguna de Oxidación Las Orquídeas 2°5'2.67"S; 79°54'13.72"O (ver anexo figura 7).

Tiempo: 4 meses.

Población: Moradores de la Ciudadela Las Orquídeas.

1.5 Objetivo general

Analizar las aguas residuales domésticas de la Laguna de Oxidación las Orquídeas mediante la aplicación de neem (*A. indica*) como alternativa de reducción de coliformes fecales.

1.6 Objetivos específicos

- Generar una línea base relacionada con las propiedades antimicrobianas del neem (*A. indica*) para la reducción de los coliformes fecales en los cuerpos hídricos mediante el análisis bibliográfico.

- Determinar la concentración de contaminación fecal generada en la zona de estudio mediante la revisión del informe técnico de Interagua correspondiente, al año 2018-2019.
- Proponer como tratamiento alternativo la dosificación de neem (*A. indica*) para la reducción de coliformes fecales en las aguas residuales tratadas domesticas de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.

1.7 Hipótesis

El empleo de neem (*A. indica*) como antimicrobiano reduce los coliformes fecales en las aguas residuales domésticas de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas por encima del 99% volviéndose admisible para el río Daule cuerpo receptor de descarga cumpliendo con los (LMP), establecidos en la normativa ambiental vigente.

2.Marco teórico

2.1 Estado del arte

El empleo del neem (*A. indica*) ha dado resultados eficientes en la reducción de microorganismo patógenos presentes en las aguas residuales como se pudo demostrar en el estudio de eliminación de microbios de las aguas residuales de un Hospital en Nigeria, utilizando cáscara de neem activadas con $ZnCl_2$ (NHZ), H_3PO_4 (NHH) y las semillas activadas con $ZnCl_2$ (NCZ) y H_3PO_4 (NCH), los resultados muestran que los adsorbentes preparados a partir de esta biomasa (NCH, NCZ, NHZ y NHH) tienen la capacidad de disminuir microbios de las aguas residuales hospitalarias y en conclusión la carga bacteriana en un 99,94% mientras que la carga fúngica en un 90,42% de esta manera se demostró que el preparado es eficaz y podría utilizarse para reducir microbios de una gran variedad de sistemas de aguas residuales (Kenneth et al., 2015).

Un estudio realizado en el estado de Ibri de la gobernación de Al-Dhahirah, en dos áreas: Almazra y la aldea de Al-Selief del país de Oman, acerca del efecto del uso de polvo de hojas de Neem en el tratamiento de aguas residuales grises y agua de pozo mediante la aplicación de 2g/100 ml de hojas pulverizadas por cada muestra de agua; se midió tres veces el pH, la salinidad, conductividad y temperatura, para confirmar la precisión de los números y tomar el promedio. Los análisis del laboratorio del Municipio de Ibri señalaron que a pesar que el pH paso de 8 a 5.8, la conductividad eléctrica aumento de 2.4 a 6.41 y la salinidad paso de 1.15 a 3.1, los 241,906 MPN/100 ml de coliformes y el *E. coli* se lograron reducir a 0 (MPN) por tal razón se determinó que este polvo puede utilizarse como una alternativa a los productos químicos que tienen efectos secundarios en el

ambiente además de que estas aguas residuales tratadas pueden reutilizarse de manera segura (Salim, Abdullah, y Hassan, 2017).

El potencial antimicrobiano del neem ha demostrado ser muy efectivo para la reducción de bacterias presentes en el agua por ejemplo un estudio en el río Magdalena, en Colombia mediante el empleo 0.8g/L^{-1} del extracto crudo salino del aceite de las semillas de neem mediante la técnica de tubos de fermentación múltiple donde las bacterias fermentadoras de lactosa producen gas y ácido en 48 horas a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ para coliformes totales (CT) y a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para coliformes fecales (CF) empleando caldo Brila se logró reducir de 7275.0 NMP/100ml de CT y 2495 NMP/100ml de CF a 45.0 y 20.0, por lo tanto se determinó que la carga microbiana se redujo en un 99.4% y 99.2% respectivamente debido a su bajo impacto en el ambiente, baja toxicidad y alta eficiencia este compuesto puede ser usado como parte del tratamiento que recibe el agua para su desinfección (Aguirre, Piraneque, y Cruz, 2018).

La reducción de los organismos patógenos en las aguas residuales que se descargan en los cuerpos receptores es importante debido a que el uso de alternativas conservacionistas salvaguardan la calidad y biodiversidad presente en los recursos hídrico, un estudio experimental desarrollado por Joshi y Sahu (2014) científicos del Departamento de Ingeniería Química, de India y Etiopía, mediante el empleo de 50 g de hojas pulverizadas en 400 ml de agua de muestra a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una destilación de 1 hora luego de 5 minutos se forma el vapor que se enfría con la ayuda de un condensador, se obtuvo una mezcla de aceite y agua que después se purificó y se añadió etanol, para lo luego realizar la experimentación durante 12 horas a pH 7. Los resultados demostraron

que el agua subterránea muestra 99% de reducción microbiana a 5ml/l de dosificación; el agua de pozo muestra un 98% de reducción microbiana a 4,5 ml/l de dosificación, el agua de lago 96% de reducción microbiana a 5ml/l de dosificación y el agua de río 95% de reducción a 4.5ml/l de dosificación.

Por consiguiente, se concluye que el aceite extraído de (*A. indica*) con etanol muestra una reducción microbiana de entre el 99% y 95% con una dosificación mínima de 5 ml/l a 12 horas de tiempo de tratamiento, siendo una alternativa de bajo costo, excelente eficiencia y de bajo impacto ambiental (Joshi y Sahu, 2014).

Se ha demostrado que debido a las componentes bioactivos del neem se puede reducir la carga microbiana, como señala un estudio en donde se recolecto agua superficial de un estanque con contaminación fecal y orgánica de una gran población residente de aves acuáticas en Inglaterra, y aguas superficiales de un río cerca de Katmandú en Nepal con altos niveles de contaminación fecal por la descarga de aguas residuales sin tratar con heces humanas río arriba, y un cultivo de *E. coli* aislado en agua pura de laboratorio, se utilizó aceite de neem de una fuente comercial y mediante una dosificación 2,13 g/L⁻¹ con 5 min de tiempo de mezcla se lograron altos niveles de inactivación del cultivo aislado de *E. coli* en agua pura de laboratorio > 99% de inactivación. Por el contrario, la desinfección de coliformes totales y fecales en aguas superficiales en las muestras de agua superficial se redujeron típicamente 100 y 300 unidades formadoras de colonias UFC/100ml a entre 20 y 100 UFC/100 ml en el tratamiento final, por lo cual el estudio señala que se debería hacer investigaciones que mejoren el rendimiento de la desinfección con un paso de pretratamiento o la aplicación de una mezcla con otros aceites esenciales (Matthews, Templeton, Tripathi, y Bhattarai, 2009).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Árbol de Neem

2.2.1.1 *Neem*

Es una especie de árbol, nativo del subcontinente asiático, de adaptación a climas cálidos y secos se planta principalmente como árbol de sombra, restauración cortavientos y farmacopea, además los productos derivados del neem se han utilizado para el control de plagas por sus componentes antimicrobianos (FAO, 2007).

2.2.1.2 *Taxonomía*

El neem es una especie de nombre científico *A. indica* de la familia Meliaceae a la cual pertenecen la caoba (*Swietenia macrophylla*) y el cedro (*Cedrela odorata*), es un árbol de hoja perenne crecimiento rápido, robusto y frondoso (ver anexo tabla 11).

2.2.1.3 *Condiciones agroclimáticas del cultivo*

Las condiciones óptimas para que se produzca el desarrollo adecuado del cultivo es: suelos franco arenosos hasta franco arcilloso con buen drenaje, pH de entre 6.2 y 7.0 también se adapta a suelos salinos con baja fertilidad, pedregosos y ácidos con pH de 5. 0 a 5.5, precipitación anual de 350 mm a 2000 mm, temperaturas promedio es de 5° C hasta 50° C, altura hasta 1000 metros sobre el nivel del mar. (Cruz del Ángel, 2004 y Gruber, 2008).

2.2.1.4 *Valor nutricional*

La corteza, las semillas, las hojas, los frutos y el aceite del árbol de neem contienen sustancias: antivirales, antimicrobianas, antifúngica, antibacteriales, depuradoras, hidratantes. (Herbal Products S. de R.L, 2011), (ver anexo tabla 12).

2.2.1.5 Composición química del neem

El neem está conformado por compuestos químicamente similares y biogenéticamente derivados de los tetraciclicterpenos que se denominan principios amargos de limonoides (Eid, Jaradat, y Elmarzug, 2017).

ENVIS RP (2011) señalan, que las hojas producen quercetina (flavonoide polifenólico) y nimbosterol (β -sitosterol), liminoides (nimbin y sus derivados), proteínas, carbohidratos, minerales, calcio, fósforo, vitamina C, caroteno, así como ácido glutámico, tirosina, ácido aspártico, alanina, pralina, glutamina, cistina como aminoácidos y varios ácidos grasos (dodecanoico, tetradecanoico, elcosanico).

El aceite esencial contiene derivados de sesquiterpeno, las flores nimbosterol y flavonoides como; el kaempferol, la melicitrina, y producen ácidos grasos como; behénico, araquídico, esteárico, palmítico, oleico y linoleico por otra parte el polen contiene ácido glutámico, tirosina, arginina, metionión, la fenilalanina, histidina, ácido arminocaprílico e isoleucina (ver anexo figura 8).

La madera de neem contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, mientras que el aceite de madera contiene β -sitosterol, cicloeucalenol y 24-metilen cianoartenol.

La corteza del tronco contiene nimbn, nimbinin, nimbidin, nimbosterol, aceite esencial, taninos, margosina, 6-desacetil nimbinene también se han aislado varios diterpenoides, a saber, nimbinona, nimbolicina, margocina, nimbidiol, nimbione. La semilla tiene un alto contenido en lípidos debido a la presencia de una gran cantidad de principios amargos (azadiractina, fraxinelona, nimbina, salanina, salannol, vepinina, vilasinina, etc.) en cantidades considerables (Pineda, 2019), (ver anexo tabla 13).

2.2.1.6 Compuestos bioactivos del Neem

Según la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), los compuestos activos del neem (*A. indica*) han demostrado su eficacia para la reducción y eliminación de agentes patógenos, además de no ser tóxico para los seres humanos y el ambiente (Vinculando, 2008).

Entre los principales compuestos bioactivos destacan la azadiractina ($C_{33}H_{44}O_{16}$) con concentraciones en toda la planta, además en menores concentraciones la salanina, meliantriol, nimbina y el nimbidion (Council, 1992), (ver anexo tabla 14).

Un estudio publicado por Eid et al., (2017) señalan que el grupo de los tetraciclicterpenos, tiene muchas propiedades antifecciosas, antiviricas y antimicrobianas, además, contienen, alcaloides, compuestos fenólicos, flavonoides y cetonas.

Biswas, Chattopadhyay, Bandyopadhyay, y Banerjee (2002) también indican, que los compuestos de nimbidin y nimbolide inhibieron el crecimiento de la *Tinea rubrum*. *Plasmodium falciparum*, *S. aureus*; *S. coagulasns*. El gedunin, la azadiractina es inhibidor del desarrollo de parásitos de la malaria y antifúngico, El mahmoodin posee una acción antibacterianas. El ácido gálico, epicatequina y catequina son los principales responsables de inhibir la generación de quimioluminiscencia por neutrófilos en humanos. La margolona, aislado de la corteza del tallo y son activos contra especies de *Klebsiella sp.* *Staphylococcus sp.* y *Serratia sp.* El trisulfuro cíclico y el tetrasulfuro de hojas de neem frescas y maduras, tienen actividad antifúngica contra *Trichophyton mentagrophytes* y el polisacárido Gia y Gib aislados de GIIa y GIIIa aislados de la corteza de también mostraron un efecto antifúngico, (Pijoan, 2004), (ver anexo figura 9).

2.2.2 Recurso hídrico

2.2.2.1 Cuerpos hídricos en movimiento

Se denomina a el agua que fluye sobre la superficie de la tierra y forma ríos o las versiones más pequeñas llamadas corrientes o arroyos que desembocan en un cuerpo receptor de mayor amplitud y además provee de servicios ambientales para las poblaciones que se asientan en sus área de cobertura (Alo, 2018).

2.2.2.2 Afluentes

Son cursos de agua cuyo flujo contribuye al aumento de otro cuerpo de agua, así como ríos y pequeños cursos de agua que desembocan en los ríos principales tal es que estos flujos se ensanchan y la velocidad del agua disminuye con altas concentraciones de impureza (Maestramihaela, 2017 y Teraambiental, 2020).

2.2.2.3 Efluentes

Se denomina a las salidas de agua desde un cuerpo natural o desde una estructura antropogénica hacia una fuente de agua receptora, sin embargo los efluentes de cualquier fuente contaminante pueden causar graves daños al medio ambiente y de esta manera poner en riesgo las poblaciones humanas (Costa. M, 2015 y Grundfo, 2020).

2.2.2.4 Contaminación hídrica

Se define como la presencia de productos químicos, tóxicos y/o agentes biológicos en los cuerpos de agua que generan un cambio en las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua y ocasionan un impacto negativo en un hacia la salud humana y el medio ambiente (Clarín, 2020).

2.2.2.5 Agua residual

Según Arriols (2018), es todo tipo de agua que haya sido afectada de forma negativa por la acción antropogénica y que han sido usada en entornos domésticos, urbanos, industriales y agropecuarios así como las aguas naturales que por accidente o mala praxis, se hayan mezclado con las anteriores.

2.2.2.6 Clasificación del agua residual

Las aguas residuales debido a su composición a partir de sus componentes químicos tóxicos, material coloidal, y agentes patógenos se clasifican según su origen en: Aguas residuales domésticas o urbanas, industriales, agropecuarias y derivadas de las lluvias ácidas (C. Rodríguez, 2018).

2.2.2.7 Aguas residuales domésticas o grises

Las aguas residuales domésticas son producidas por las actividades generadas en los hogares como: la ducha, la cocina, el inodoro, la lavandería dando como resultado que su composición natural se altera a partir de su uso, debido su alto contenido microbiológico provocan un grave impacto ambiental (TUHH, 2018).

2.2.3 Composición de las aguas residuales

2.2.3.1 Composición de las aguas residuales domésticas

Se trata del agua que presenta una elevada cantidad de contaminantes putrescibles, sólidos sedimentables, así como excretas que son el principal componente de dichas aguas. Además las bacterias y otros microorganismos descomponen los compuestos orgánicos de forma natural y el contenido de oxígeno disuelto del agua se eleva y por ende las concentraciones de nitratos y fosfatos que promueven la eutrofización (Nathanson, 2020) (ver anexo tabla 15).

2.2.3.2 Características físicas

Las características físicas más importantes en el agua residual son el contenido de sólidos término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta, olor, la temperatura, la densidad, el color, la turbiedad (Romero, 1999).

2.2.3.3 Olor

Normalmente, los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica en el agua residual doméstica, es característica la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios que provocan los malos olores (MID, 2017).

2.2.3.4 Temperatura

La temperatura del agua residual siempre suele ser más elevada que la del agua de suministro, un estudio de MID (2017), menciona que el agua es caliente ya que procede de los usos industriales, en función a la situación geográfica la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C pudiéndose tomar de 15,6 °C como valor representativo la temperatura es importante tanto para el desarrollo de la vida acuática como para las reacciones químicas.

2.2.3.5 Color

En base a lo que menciona Karki (2019), esta característica determinada por la fuerza y la edad del agua generalmente las frescas son de color gris, pero las aguas sépticas con mayor antigüedad van adquiriendo un color gris oscuro hasta tornarse negro.

2.2.3.6 Turbiedad

Las aguas residuales domesticas presentan alta turbiedad debido a las sustancias disueltas, materiales coloidales, sólidos en suspensión y actividad microbiana (Karki, 2019).

2.2.3.7 Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales se caracterizan por la presencia de materia orgánica, la materia inorgánica y los gases presentes en el agua residual (MID, 2017).

2.2.3.8 Materia Orgánica

El 75% de los sólidos suspendidos contienen materia orgánica y los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en el agua residual son:

- Proteínas (40-60%),
- Hidratos de carbono (25-50%)
- Grasas y aceites (10%)
- Otros elementos como S, P o Fe

Además, contiene pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas como: tensoactivos, pesticidas, Compuestos orgánicos volátiles (CIDTA, 2015).

2.2.3.9 Sedimento

Se denomina al sedimento resultante de la erosión del suelo que puede ser transportado a los cuerpos de agua por la escorrentía superficial. Por tal razón, interfiere en la penetración de luz solar llega a interrumpir los ciclos reproductivos de los organismo que se desarrollan en el fondo lacustre y alteran el equilibrio ecológico de un cuerpo de agua (MID, 2017).

2.2.3.10 Cloruro y Sulfitos

Los seres humanos descargan 8-15 gm/día de cloruro en forma de NaCl especialmente a través de la orina y el sudor, por otra parte el sulfito de hidrógeno es generado por la descomposición de las bacterias anaerobias que son responsables de generar los olores pútridos (Karki, 2019).

2.2.3.11 Materia Inorgánica

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan (MID, 2017).

2.2.3.12 El pH

Es un aspecto de gran importancia para determinar la calidad de un agua residual. Esto es debido fundamentalmente a que el rango, en el cual se desarrollan los procesos biológicos corresponden a un intervalo estrecho y crítico (6,5-8,5) (CIDTA, 2015).

2.2.3.13 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Golconda (2016) sostiene que la DBO de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno requerida para la descomposición bioquímica de la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. El oxígeno consumido en el proceso está relacionado con la cantidad de materia orgánica descomponible. El rango general de DBO observado para las aguas residuales crudas es de 100 a 400 mg/L.

2.2.3.14 Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO proporciona la medida del oxígeno requerido para la oxidación química que no diferencia entre material biológico oxidable y no oxidable. En general, se

informa que la DQO de las aguas residuales sin tratar en varios lugares está en el rango de 200 a 700 mg/L (Golconda, 2016).

2.2.3.15 Nitrógeno y fósforo

Según Eriksson, Auffarth, Henze, y Ledin (2002) la presencia del nitrógeno en las aguas residuales domésticas no tratadas son de, 0,6–74 y 20–80 mg/L⁻¹, además son proteínas, aminas, aminoácidos y urea. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal se genera a partir de la descomposición bacteriana. Por otra parte, el fósforo se encuentra en un rango de 5 a 10 mg/L, se genera principalmente a partir de los residuos alimenticios y el empleo de detergentes sintéticos también es importante ya que ambos compuestos en una concentración adecuada contribuyen al tratamiento biológico aeróbico de las aguas.

2.2.3.16 Metales tóxicos y compuestos

Algunos metales pesados como el plomo, plata y compuestos como el cromo, el cobre, el cianuro, que son tóxicos, pueden llegar a las aguas residuales municipales a través de descargas industriales. La concentración de estos compuestos es importante si las aguas residuales se tratan por métodos de tratamiento biológico o químico (Eriksson et al., 2002).

2.2.3.17 Gases

Con base a MID (2017) los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N₂) el oxígeno (O₂) el dióxido de carbono (CO₂), que por naturaleza se encuentra en contacto con los cuerpos hídricos, debido a su presencia en la atmósfera; el sulfuro de hidrógeno (H₂S) el amoníaco (NH₃), y el metano (CH₄) son producidos por la descomposición de la materia orgánica.

2.2.3.18 Características biológicas

Las características biológicas nos permiten identificar a través de los principales grupos de microorganismo los principales impactos sobre los cuerpos receptores además que determinan la mejor aplicabilidad de tratamientos biológicos sustentables (MID, 2017).

2.2.3.19 Microorganismos

La presencia de virus patógenos, hongos, bacterias, protozoos y helmintos que escapan de los cuerpos de las personas infectadas en sus excretas pueden pasar a otros a través de la exposición hacia las aguas residuales (Eriksson et al., 2002).

Microorganismos como *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi*, parásitos, enterovirus, hongos *Fusarium sp.* y *Sporotricum sp.* inclusive las algas como *Chlorella phormidum*, *Ulothrix sp.* pueden introducirse en las aguas residuales grises y propagarse en aguas contaminadas con heces. De hecho, la *Escherichia coli* se usa comúnmente como un indicador de contaminación fecal (Karki, 2019).

De acuerdo a Tamar Kohn, virólogo ambiental del Instituto Federal Suizo de Tecnología de Lausana también han confirmado que virus como el SARS puede aparecer en las excretas dentro de los tres días posteriores a la infección, y que es mucho el tiempo que tardan las personas en desarrollar síntomas lo suficientemente graves, el seguimiento de las partículas virales en las aguas residuales podría dar una ventaja para introducir medidas de prevención y bloqueos (Mallapaty, 2020). Los organismos como protozoos son relativamente resistentes a la desinfección prevalecerán más tiempo dentro del sistema, por ejemplo, el *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Clostridium perfringens* que se propagan por esporas y pueden usarse como indicadores de contaminación

fecal. La orina es generalmente estéril e inofensiva, pero algunas infecciones pueden hacer que los patógenos pasen a la orina. Las tres infecciones principales son la *Esquistosomiasis urinaria*, *Schistosoma sp. Schistosomo haematobium*, la fiebre tifoidea, *Salmonella typhi* y la leptospirosis (*Leptospira sp.*) (Feachem, Bradley, Garelick, y Mara, 1983), (ver anexo figura 10).

2.2.3.20 Coliformes

Se definen como bacterias gram-negativas con forma de bastón, no formadoras de esporas que se encuentran en ambientes acuáticos y su presencia sirve para indicar la posible presencia de otros organismos patógenos de origen fecal que pueden ser bacterias, virus o protozoos y una larga serie de parásitos pluricelulares (BIOMÉRIEUX, 2020), (ver anexo figura 11)

2.2.3.21 Coliformes totales

Las bacterias coliformes totales se encuentran comúnmente en el medio ambiente y generalmente son inofensivas sin embargo, si la contaminación ambiental puede ingresar al sistema, también, puede haber una forma de que los patógenos ingresen al sistema (WSDOH, 2020).

2.2.3.22 Coliformes fecales

Los coliformes fecales o termorresistentes se definen como el grupo de organismos coliformes que incluyen bacterias del género *Escherichia* y, también especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* que causan un severo impacto en el ambiente y en la salud humana debido a las altas concentraciones que se vierten a los cuerpos hídricos (Microlab, 2020).

2.2.3.23 *Escherichia coli*

Es una bacteria del subgrupo del grupo de coliformes fecales, se encuentran en grandes cantidades en los intestinos de personas y animales de sangre caliente, generalmente son inofensivas sin embargo las cepas 0157: H7, es muy peligrosas puesto que si se ingiere en agua o alimentos contaminados pueden producir enfermedades graves o inclusive la muerte además puede sobrevivir fuera del cuerpo de su huésped durante un período prolongado, lo que lo convierte en un organismo indicador de la presencia de desechos animales en el medio ambiente y un mayor riesgo de patógenos presentes (Aquatell, 2020; WSDOH, 2020), (ver anexo figura 11).

2.2.4 Tratamiento del agua residual

2.2.4.1 *Tratamiento del agua residual doméstica*

Incluyen los procesos físicos, químicos o biológicos para tratamiento adecuado y la eliminación segura de las aguas residuales y los desechos sólidos o biosólidos a través del cumplimiento de las normativas ambientales en lo que respecta a niveles seguros para su descarga final y así facilitar la protección de los recursos acuíferos (Nathanson y Ambulkar, 2019), (ver anexo figura 12).

2.2.4.2 *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*

Las aguas residuales se descomponen en parte por las bacterias anaeróbicas en un tanque sin la introducción de aire, esto conduce a una reducción de la materia orgánica en metano, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, etc.

Se usa ampliamente para tratar lodos de aguas residuales y desechos orgánicos, ya que proporciona una reducción de volumen y masa del material de entrada en gran medida.

Los tanques sépticos son un ejemplo de un proceso anaeróbico, pero la cantidad de metano producida por un tanque séptico que contiene es alrededor del 70% de los contaminantes originales y el proceso huele desagradable, debido al sulfuro de hidrógeno, si no se ventila correctamente. El efluente producido por este proceso es altamente contaminante y no puede descargarse a ningún curso de agua (VITO, 2020).

2.2.4.3 Tratamiento aerobio de las aguas residuales

En este proceso, las bacterias aeróbicas digieren los contaminantes. Para establecer una colonia bacteriana aeróbica, debe proporcionar aire para que las bacterias aceleren su crecimiento. En una planta de tratamiento de aguas residuales, el aire se suministra continuamente a la biomasa ya sea por aireación directa de la superficie utilizando impulsores propulsados por bombas que baten la superficie del líquido con aire, o por aireación difusa sumergida utilizando sopladores para el suministro de aire a través de difusores de burbujas en la parte inferior del tanque. Las condiciones aeróbicas conducen a la creación de una colonia bacteriana aeróbica estos logran una oxidación y digestión casi completa de la materia orgánica y contaminantes orgánicos a dióxido de carbono, agua y nitrógeno, eliminando así el problema de olor y contaminación anterior sin embargo el efluente producido presenta una menor carga contaminante y puede descargarse a un curso una vez realizado el tratamiento terciario (Crystaltank, 2020 y Silva, 2004).

2.2.4.4 Tratamiento primario

Esto suele ser anaeróbico, se lleva a cabo la eliminación de materiales gruesos, sólidos en suspensión sólidos sedimentables, parte de la materia orgánica y

también el ajuste del pH, además, se reduce continuamente el volumen de lodo, lo que resulta en una masa total muy reducida en comparación con el volumen original que ingresa al sistema (Crystaltank, 2020 y Teraambiental, 2020).

2.2.4.5 Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario, se lleva a cabo la degradación biológica de compuestos orgánicos, lo que también provoca la descomposición de carbohidratos, lípidos y proteínas en compuestos más simples como H₂O, CO₂, NH₃, CH₄, H₂S, etc., dependiendo del proceso predominante. Este proceso es impulsado por microorganismos. La mayoría de las plantas de tratamiento solo alcanzan el nivel secundario (Teraambiental, 2020).

2.2.4.6 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es el proceso de limpieza final que mejora la calidad de las aguas residuales antes de reutilizarlas, reciclarlas o descargarlas al medio ambiente, durante este proceso se eliminan los compuestos inorgánicos restantes y sustancias, como el nitrógeno y el fósforo las bacterias, virus y parásitos, que son perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente (Sydney, 2010).

2.2.4.7 Desinfección de las aguas residuales

La desinfección es considerada como el principal mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios aguas abajo como al ambiente (DEP, 2016).

2.2.4.8 Cloración

Es el proceso diseñado para destruir o inactiva la mayoría de los microorganismos presentes en las aguas residuales, incluidos esencialmente

todos los organismos patógenos, saprofitas, las formas vegetativas y las esporas (DEP, 2016).

2.2.4.9 Cloro

El cloro puede ser usado como desinfectante en forma de gas comprimido bajo presión o en soluciones de agua, soluciones de hipoclorito de sodio, o de hipoclorito de calcio sólido (Hammeken y Romero, 2005).

2.2.4.10 Método del Número más probable.

El Método de número más probable (NMP) es una estrategia eficiente de estimación de densidades poblacionales de colonias de microorganismos, especialmente cuando una evaluación cuantitativa de células individuales no es factible (Ramírez, 2014).

2.2.4.11 Biocoagulante

Son sustancias de origen orgánico que tiene una elevada capacidad para la reducción de los sólidos suspendidos, contaminantes del agua turbia sin producir cambios en el pH y la conductividad del efluente en comparación con sustancias químicas usadas tradicionalmente (Wu Hong-Zhang et al., 2007).

2.2.4.12 Coagulación

Se considera a un proceso que consiste en las reacciones del coagulante generalmente químico; sales de aluminio y hierro con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva, y en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua, se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida además está en función y característica del agua como: pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de

tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión (Barrenechea, 2004).

2.2.4.13 Floculación

La floculación es un proceso en el que un gran número de partículas pequeñas forman una cantidad de grandes flóculos, este aglomeran entre sí a los sólidos en suspensión para formar cuerpos de mayor tamaño a fin de que los procesos de filtración física puedan eliminarlos con mayor facilidad (M. TOLEDO, 2019).

2.2.4.14 Procesos de Coagulación-floculación

Los procesos de coagulación y floculación son parte del tratamiento de agua potable, donde emplean como coagulantes primarios el sulfato de aluminio o sales de hierro que tienen la función de eliminar las partículas en suspensión causantes de la turbiedad del agua (Vilavila, 2018).

2.2.4.15 Petrifilm

Son un medio de cultivo listo para ser empleado, que contiene, nutrientes, y agentes gelificante soluble en agua fría, son placas diseñadas para analizar muestras ambientales de agua sirven y para incrementar la eficiencia del monitoreo, y determinar las colonias de *Escherichia coli* y Coliformes de forma más eficiente (3M, 2015).

2.2.4.16 Agua tratada

Agua superficial cuya composición inicial ha sido modificada a través de procesos de tratamiento como la coagulación, floculación, sedimentación y filtración complementándose con la desinfección en el cumplimiento de las normas vigentes de calidad del agua para consumo humano (Romero, 2009).

2.3 Marco legal

2.3.3 Ley de la constitución de la república del Ecuador (2008).

Título II. Derechos. Capítulo II: Del buen vivir. Sección I. Agua y Alimentación.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución de la República del Ecuador 2008)

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 (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Título II. Derechos. Capítulo VI: Derechos de libertad.

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas: El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Título V. Organización Territorial Del Estado. Capítulo VI. Régimen de competencias

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley: Prestar los servicios

públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Título VI. Régimen de desarrollo. Capítulo I. Principios Generales.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (Constitución de la República del Ecuador 2008).

Título VI. Régimen de desarrollo. Capítulo VI. Sección Octava. Sistema financiero.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se

requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley (Constitución de la República del Ecuador 2008).

Título VII. Régimen Del Buen Vivir. Capítulo segundo. Sección sexta Agua.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador 2008).

2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del agua (2014).

Capítulo II Institucionalidad y Gestión De Los Recursos Hídricos. Cuarta Sección, Servicios Públicos

Art. 38.- Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales. La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso. (Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, 2014)

Título III. Derechos, Garantías Y Obligaciones. Capítulo I. Derecho Humano al Agua.

Art. 57.- Definición. El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Forma parte de este derecho el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. Ninguna persona puede ser privada y excluida o despojada de este derecho. El ejercicio del derecho humano al agua será sustentable, de manera que pueda ser ejercido por las futuras generaciones. La Autoridad Única del Agua definirá reservas de agua de calidad para el consumo humano de las presentes y futuras generaciones y será responsable de la ejecución de las políticas relacionadas con la efectividad del derecho humano al agua.

Título III. Derechos. Garantías Y Obligaciones. Capítulo III Derechos de la Naturaleza.

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación.
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

Título III. Derechos. Garantías Y Obligaciones. Capítulo VI Garantías Preventivas. Sección Segunda Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua.- La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

- a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
- b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad;
- c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;
- d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;

- e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida;
- f) Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y,
- g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

Art. 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público. La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

2.3.4 Ley orgánica de salud (2006).

Libro II. Salud y seguridad ambiental disposición común.

Art. 95.- La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio de Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas, privadas y comunitarias. El Estado a través de los organismos competentes y el sector privado

está obligado a proporcionar a la población, información adecuada y veraz respecto del impacto ambiental y sus consecuencias para la salud individual y colectiva. (Ley orgánica de salud, 2015).

Título Único. Capítulo II. De los desechos comunes, infecciosos, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Art. 102.- Es responsabilidad del Estado, a través de los municipios del país y en coordinación con las respectivas instituciones públicas, dotar a la población de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y otros de disposición de excretas y aguas servidas que no afecten a la salud individual, colectiva y al ambiente; así como de sistemas de tratamiento de aguas servidas.

Art. 103.- Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias. Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país. Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto. Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones.

2.3.5 Acuerdo ministerial 061 (2015)

Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Capítulo VIII Calidad de los componentes bióticos y abióticos. Sección I. Disposiciones generales.

Art. 196.- De las autorizaciones de emisiones, descargas y vertidos.- Los Sujetos de Control deberán cumplir con el presente Libro y sus normas técnicas. Así mismo, deberán obtener las autorizaciones administrativas ambientales correspondientes por parte de la Autoridad Ambiental Competente. En ningún caso la Autoridad Ambiental Competente otorgará autorizaciones administrativas ambientales cuando las emisiones, descargas y vertidos sobrepasen los límites permisibles o los criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o en los anexos de aplicación. En caso de que la actividad supere los límites permisibles se someterá al procedimiento sancionatorio establecido en este Libro. No se autorizarán descargas ya sean aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual, no pueda soportar la descarga; es decir, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La determinación de la capacidad de carga del cuerpo hídrico será establecida por la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional (Acuerdo Ministerial No 061, 2015).

Sección III Calidad de componentes Abióticos. Parágrafo I. Del agua.

Art. 209.- De la calidad del agua.- Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y

control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas así como del cuerpo de agua receptor. Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

Art. 210.- Prohibición.- De conformidad con la normativa legal vigente:

- a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados;
- b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;
- c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y,
- d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico.

La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

Art. 211.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.- La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

Capítulo IX. Producción Limpia, Consumo Sustentable Y Buenas Prácticas Ambientales.

Art. 232.- Consumo Sustentable.- Es el uso de productos y servicios que responden a necesidades básicas y que conllevan a una mejor calidad de vida, además minimizan el uso de recursos naturales, materiales tóxicos, emisiones de desechos y contaminantes durante todo su ciclo de vida y que no comprometen las necesidades de las futuras generaciones.

Art. 233.- Producción limpia.- Significa la aplicación continua de estrategias y prácticas ambientales preventivas, reparadoras e integradas en los procesos, productos y servicios, con el fin de reducir los riesgos para las personas, precautelar los derechos de la naturaleza y el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

2.3.6 Acuerdo ministerial 097-A (2015)

Anexo 1. Del Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua.

Clasificación

Normas generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.
2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
3. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor
4. Permisos de descarga
 - a. Descarga a un cuerpo de agua dulce.
 - b. Descarga a un cuerpo de agua marina.

Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.

Principios básicos para descarga de efluentes.

De acuerdo con su caracterización toda descarga puntual al sistema de alcantarillado y toda descarga puntual o no puntual a un cuerpo receptor, deberá cumplir con las disposiciones de esta Norma. (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control,

como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga (ver anexo figura 25).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Investigación exploratoria.- Por medio de este tipo de estudio se obtuvo una línea base, acerca de estudios de mayor escala además se demuestró argumentos en secuencias metodológicas y se priorizó las diferentes perspectivas de los individuos para definir, recolectar, descubrir conceptualizaciones lógicas y técnicas del problema que se planteó resolver (Muñoz, 2011 y QuestionPro, 2018).

Investigación bibliográfica.- Esta investigación se utilizó estudios científicos de: libros virtuales y físicos, artículos científicos, revistas científicas, fichas bibliográficas, manuales de botánica, informes anuales, bases de datos, documentos e informes técnicos que se analizó paulatinamente para aportar a la investigación (Matos, 2018).

Investigación descriptiva.- Este estudio fue descriptivo ya que según Cazau (2006) se seleccionó una serie de cuestiones, conceptos, datos, componentes, reactivos y se analizó cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin precisamente, de describirlas, y por lo tanto se determinó la capacidad y las propiedades antimicrobianas de neem para la reducción de coliformes fecales.

3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación es no experimental ya que se generó una línea base de estudios en cuanto a la efectividad del neem, además se realizó un análisis comparativo los resultados a través de matrices para proponer la mejor dosificación para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente

Dosificación del neem para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación las Orquídeas

3.2.1.2 Variable dependiente

Porcentaje de remoción

Análisis comparativos de los resultados descritos en matrices.

3.2.2 Diseño experimental

La presente investigación es de carácter no experimental ya que generó una línea base también se analizó el potencial del neem como antimicrobiano y se propuso la dosificación más óptima de neem para reducir los coliformes fecales en la Laguna de Oxidación las Orquídeas.

3.2.3 Recolección de datos

Para la recolección de datos se tomó en cuenta los resultados obtenidos en estudios científicos obtenidos a través de plataformas de investigación, y artículos disponibles en la base de datos virtual de la UAE.

3.2.3.1 Recursos

Los recursos que se utilizaron en la investigación fueron: resmas de hojas de papel bond, bolígrafos, impresora, laptop, servicio de internet, y dispositivos de almacenamiento (USB) con un presupuesto de 1 155 dólares americanos (ver anexo tabla 16 y 17).

3.2.3.2 Métodos y técnicas

Para el desarrollo de la investigación se llevó a cabo el método primario de la investigación exploratoria que consistió en la revisión documental de datos bibliográficos publicados en artículos científicos y bibliotecas virtuales para luego ser analizados y mediante el método secundario se determinó criterios que fueron comparados con estudios publicados en libros relacionados con la aplicación de neem para la reducción de coliformes fecales, además se organizó la información que luego fue publicada con sus respectivos resultados a través de grafico de barras acumuladas, líneas apiladas, criterios de evaluación con su respectiva semaforización y gráficos de dispersión y tendencia (Muñoz, 2011, QuestionPro, 2018, Matos,2018 y Cazau, 2006)

3.2.4 Análisis estadístico

Se realizará un análisis descriptivo con el empleo de gráficos mediante el software Microsoft Excel para realizar comparaciones de la eficiencia del neem para la remoción de coliformes fecales obtenido en base a un estudio bibliográfico.

4. Resultados

4.1 Análisis de potencial antimicrobiano del neem

Con la finalidad de analizar la información acerca de los principales componentes que presenta el neem, se procedió a recopilar información de fuentes primarias y secundarias como: libros bibliotecas virtuales, artículos y revistas científicas.

Tal información fue organizada y clasificada para generar una línea base acerca de la bioactividad de los principales compuestos que son: *azadiractina*, *nimbin*, *nimbolide*, *gedunin*, *catechin*, *epicatechin*, *gallic acid*, *mahmoodin*, *salannin*, *meliantriol*, luego se procedió a tabular sus características principales con sus respectivas estructuras químicas.

Se determinó que los compuestos del neem presentan fotoquímicos como flavonoides, taninos y tetranortriterpenoides o limonoides que debido a sus propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antivirales, antibacterianas, antifúngicas destacan su efectividad para la reducción de una amplia gama de microorganismo patógenos como: *Escherichia coli*, *Vibrio vulnificus*, *Staphylococcus aureus*, ya que inhibe su crecimiento y altera la membrana natural de su ADN (Akhila y Rani, 1999; Sarah, Tabassum, Idrees, y Hussain, 2019).

Cabe resaltar que Sánchez, Hernández, y Rodríguez, (2014), afirman que la azadiractina principal compuesto del neem es incluida como un fitosanitario seguro dentro de la Guía de uso de la Normativa Europea de Producción Ecológica para agricultores porque una de sus principales características es de su 100% capacidad de biodegradabilidad en condiciones de campo a 200 horas de exposición a radiaciones ultravioletas.

Por lo tanto, se establece que tanto el árbol del Neem como sus compuestos bioactivos son alternativas ecológicas de bajo impacto, para la reducción de la

microorganismos patógenos que pueden ser empleados para el tratamiento de los cuerpos hídricos y de esta manera contribuir a la conservación del ambiente a nivel mundial.

4.1.1 Azadirachtin (azadiractina)

La azadiractina es un compuesto orgánico heterotetracíclico de la clase de los tetranortriterpenoides conformado por un éster de acetato, un epóxido, un éster enoato un hemiacetal cíclico, un alcohol terciario, un alcohol secundario y un éster metílico que pertenece a la familia de los limonoides un fotoquímico presente en las plantas de neem que actúa como un biopesticida de alto espectro (López, Angulo, Martínez, y Chaidez, 2007).

Según los autores, López, Angulo, Martínez, y Chaidez, (2007) señalan, que los extractos etanólicos del neem al 50% con concentraciones de azadiractina son capaces de inhibir completamente el crecimiento *E. coli* y *Staphylococcus aureus*, además la EPA y la EU respaldan el uso de este compuesto por sus propiedades antifúngicas, antivíricas y antibacterianas también es biodegradable y no es tóxico para los mamíferos por tales razones podrían ser empleado como una alternativa natural para el control de microorganismos patógenos (Primordiales, 2016 y PubChem, 2020a), (ver anexo tabla 18 y figura 13).

4.1.2 Nimbin (nimbina)

El nimbin es un compuesto orgánico limonoide clasificados como tetranortriterpenos son fotoquímicos presente en las plantas neem que pertenecen a la familia de las *Meliaceae*, considerado un éster de acetato, un limonoide, un miembro de los furanos, una cetona terpénica cíclica, una enona, un triterpenoide tetracíclico y un éster metílico, su importancia radica en que debido a su composición química son inhibidores en el desarrollo y reproducción de

bacterias y virus patógenos además contiene propiedades antifúngicas, y las concentraciones más altas se encuentran en la corteza, las hojas y las semillas es así que el estudio del biopotencial de este compuesto puede emplearse como fuente en el desarrollo de nuevas alternativas antimicrobianas (ChemSpider, 2020b; Eid et al., 2017), (ver anexo tabla 19 y figura 14).

4.1.3 Nimbolide

El nimbolide es un tetranortriterpenoide de la subclase limonoide y su fórmula molecular sistemática es: (4 α , 5 α , 6 α , 7 α , 15 β , 17 α) - 7,15,21, 23-diepoxy-6-hydroxy-4,8-dimethyl-1-oxo-18,24-dinor11,12-secocola-2,13,20,22-tetraeno-4,11-dicarboxílico, ácido gamma-lactona metil éster] un sistema cetónico α , β -insaturado y un anillo δ -lactona exhibe actividades antipalúdicas, antibacterianas y anticancerígenas asimismo se ha demostrado que induce apoptosis en células, inhibe la migración celular e induce la detención del ciclo celular, y el daño del ADN, las concentraciones abundantes se encuentran en sus hojas y semillas además es considerado un agente antioxidante y quimio preventivo potente, por lo que era un candidato prometedor para la prevención y el tratamiento del cáncer (Bose y Baral, 2019; Sigma-Aldrich, 2020b), (ver anexo tabla 20 y figura 15).

4.1.4 Gedunin

Es un compuesto triterpenoide pentacíclico que se encuentra particularmente en *Azadirachta indica* y *Cedrela odorata*. Tiene un papel como antipalúdico, agente antineoplásico, inhibidor de Hsp90 y metabolito vegetal. Es un limonoide, un éster de acetato, un epóxido, una enona, un miembro de furanos, un triterpenoide pentacíclico, un compuesto heteropentacíclico orgánico y una lactona entre sus principales funciones destacan una gama de actividades

biológicas, tales como antipalúdico antialimentario, insecticida, antifúngico, anti-HIV y además se considera un inhibidor de células de cáncer está presente principalmente en las semillas. Por ejemplo el Gedunin aislado del aceite de semilla de neem, mostró una acción tóxica del 100% contra las larvas de mosquitos *Aedes aegypti* y de *Culex quinquefasciatus* a 50 y 100 ppm por otra parte la gedunina no se considera tóxica para las células de la epidermis de los animales con una dosis media efectiva de 275,10 $\mu\text{g} / \text{ml}$, y en los humanos es capaz de inducir aproximadamente el 50% de la muerte celular en tres líneas celulares de cáncer de páncreas, lo que sugiere que la Gedunina mata selectivamente las células de cáncer de páncreas y no es tóxica para las normales (Braga et al., 2020; Gurulingappa et al., 2009), (ver anexo tabla 21 y figura 16).

4.1.5 Catechin (catequina)

Las catequinas es un tipo de compuesto fenólico que consiste en un flavan-3-ol, y consta de dos anillos de benceno como anillo (A) y anillo (B) además de un heterociclo dihidropirano anillo (C) con un grupo hidroxilo unido al carbono 3 por lo que forma parte de la familia química de los flavonoides Dicho fenol de origen natural actúa como antioxidante y como un metabolito secundario en determinadas plantas con el neem, bayas y el cacao y frutos rojos. Se ha demostrado que las catequinas ayudan a proteger a las células cerebrales del estrés oxidativo.

Por otro lado, determinados metales pesados (como el hierro o el cobre) pueden dañar las células cerebrales. En este sentido, las catequinas pueden disminuir la acción de estos metales (ChemSpider, 2020^a y Pérez, 2020), (ver anexo tabla 22 y figura 17).

4.1.6 Epicatechin (epicatequina)

La epicatequina, también conocida como cianidanol 3 o ácido, catechuico, pertenece a la clase de compuestos orgánicos conocidos como catequinas. La epicatequina es un flavonoide y se considera prácticamente insoluble. Se encuentra en el cacao (*Theobroma cacao*), el té verde (*Camellia sinensis*), las uvas y en el neem (*A. indica*). Los efectos fisiológicos son la formación de quelatos con iones metálicos y la capacidad para eliminar radicales es decir un antioxidante que además tiene efecto en el metabolismo glúcido sobre todo en la fluidez de la membrana considerándose antivírico, antibacteriano y antifúngico. La epicatequina también es un compuesto original para otros productos de transformación, que incluyen, la, arecatanina B1 , procianidina C1 y (-) -epicatequina-3-O-galato que aumentan los niveles de óxido nítrico en la sangre, lo cual ayuda a relajar los vasos sanguíneos y mejorar su flujo y prevenir afecciones cardiacas y cancerígenas (Valverde, 2007; AOR, 2019; PubChem, 2020), (ver anexo tabla 23 y figura 18).

4.1.7 Mahmoodin

El compuesto mahmoodin es un compuesto orgánico tetranortriterpeno oxidado derivado del gedunin, posee actividad biológica antibacteriana e insecticida y es conformado por treinta moléculas de carbono, treinta y ocho de hidrogeno y ocho de oxígeno, es considerado un antimicrobiano ecológico que se encuentra en el aceite de las semillas del neem e inhibe el crecimiento de bacterias como la *E. coli* también su combinación con aceite de coco, muestra una efectividad por encima del 90% para la protección contra los mosquitos durante 12 horas por tal razón se concluye que este compuesto al estar presente en el neem genera

mayor efectividad para la reducción de agentes patógenos (Koriem, 2013), (ver anexo tabla 24 y figura 19).

4.1.8 Gallic Acid (ácido gálico)

El ácido gálico es un compuesto orgánico polifenol o galato contienen un resto de ácido 3, 4,5-trihidroxibezoico pertenece al grupo de taninos hidrolizables, esto quiere decir que es de fácil obtención porque es una molécula simple de un anillo fenólico y debido a la funcionalidad que tienen los grupos hidroxilos en su estructura, le confiere algunas características especiales, se encuentra en *Gallnuts*, *zumaque*, *Hamamelis*, hojas de té, corteza de roble y neem. El ácido gálico contienen actividad antimicrobiana, antifúngicas, anticancerígena y antiviral todo esto es por su capacidad antioxidante, ya que atrapa radicales libres. Por ejemplo en el caso de los virus se disminuye su proteína a través de mecanismos de reducción del estrés oxidativo que afecta a las células, generando una reducción de la replicación de ARN (ácido ribonucleico) del virus (PubChem, 2020c; F. Sánchez, 2017), (ver anexo tabla 25 y figura 20).

4.1.9 Salannin

Es compuesto salannin es orgánico heteropentacíclico de la familia de los limonoides con actividad insecticida y aislado de (*A. indica*.) también se lo denomina un éster de acetato, un miembro de los furanos, y un éster metílico. Su concentración se produce normalmente en las semillas en el rango de 0.1 to 0.9 % sin embargo en el aceite contienen cerca del 12.0 % además es regulador del crecimiento de insectos, antialimentario y metabolito vegetal es así que la salannina afecta negativamente la alimentación de los insectos tratados insecticidas, sin embargo tiene un efecto antialimentario menor que la azadiractina por tal razón el extractor de azadiractina junto al salannin, podría

ofrecer generar un efecto sinérgico, en comparación con otros extractos comerciales que se centran solo en el azadiractina (Esparza-Díaz, Villanueva-Jiménez, López-Collado, y Osorio-Acosta, 2011), (ver anexo tabla 26 y figura 21).

4.1.10 Meliantriol

El meliantriol es un compuesto orgánico terpenos de la familia de los limonoides que se encuentra en el neem está conformado por treinta moléculas de carbono, cincuenta de hidrogeno y cinco de oxígeno, tiene actividades antimicrobianas y se considera un efectivo insecticida porque inhibe la alimentación en el mecanismo de glutación de las plagas, aun en cantidades mínimas además las concentraciones más elevadas se encuentran en las semillas y en su aceite (Integración Química S.R.L, 2013, Jadhav, 2012 y Reyes-Martínez, 2015), (ver anexo tabla 27 y figura 22).

4.2 Determinación de contaminación fecal en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que descarga sus aguas al río Daule.

Se recopiló los datos mensuales de coliformes fecales publicados por Interagua durante el mes de agosto del año 2018 hasta el mes de julio del año 2019 y mediante las funciones: Max (Valor Máximo Registrado en la Muestra); Min (Valor mínimo registrado en la Muestra); Promedio (Media Aritmética de la muestra); y Tendencia (Tendencia Lineal, métodos de mínimos cuadrados).

Se determinó que en lo correspondiente al punto de muestreo del canal de entrada AASS que ingresa a la Laguna de Oxidación las Orquídeas, la concentración mínima en el mes de julio de 2019 fue de 7 000 000 NMP/100 mL, en el mes de octubre del 2018 la concentración máxima de 54 000 000 NMP/100mL y el promedio anual fue de 18 487 500 NMP/100 mL.

Tabla 1. Concentración de Coliformes Fecales en el punto de entrada a la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.

Meses	Punto de Muestreo	C.F. (NMP/100mL)
Agosto	E	22 000 000
Septiembre	E	14 000 000
Octubre	E	54 000 000
Noviembre	E	14 000 000
Diciembre	E	12 500 000
Enero	E	11 000 000
Febrero	E	13 000 000
Marzo	E	20 500 000
Abril	E	28 000 000
Mayo	E	17 950 000
Junio	E	7 900 000
Julio	E	7 000 000
Promedio	E	18 487 500
Valor Máximo		54 000 000
Valor Mínimo		7 000 000

Las concentraciones de C.F. corresponden a los promedios registrados en el punto de entrada durante los meses de agosto de 2018 hasta julio del 2019
Macías, 2020

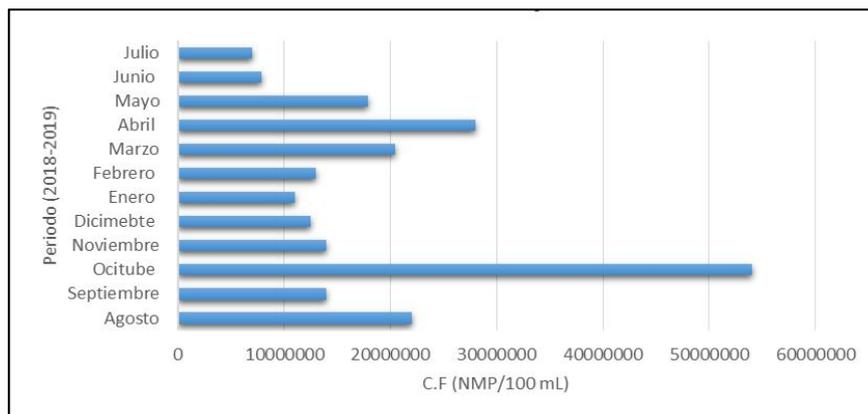


Figura 1. Concentración de Coliformes Fecales en el canal de entrada hacia la Laguna de Oxidación Orquídeas Macías, 2020

Las datos correspondientes a las muestras tomadas en el canal AALL de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que descarga hacia del río Daule presentaron en el mes de junio del 2019 una concentración mínima de 490 000 NMP/100 mL, una concentración máxima en el mes de febrero del 2019 de 9 200 000 NMP/100mL y el promedio anual fue de 2 972 917 NMP/100 mL.

Tabla 2. Concentración de coliformes fecales en el punto de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas

Meses	Punto de Muestreo	C.F. (NMP/100mL)
Agosto	S	790 000
Septiembre	S	1 300 000
Octubre	S	1 300 000
Noviembre	S	1 300 000
Diciembre	S	3 350 000
Enero	S	5 400 000
Febrero	S	9 200 000
Marzo	S	6 350 000
Abril	S	3 500 000
Mayo	S	1 995 000
Junio	S	490 000
Julio	S	700 000
Promedio		2 972 917
Valor Máximo		9 200 000
Valor Mínimo		490 000

Las concentraciones de C.F. corresponden a los promedios registrados en el punto de salida durante los meses de agosto de 2018 hasta julio del 2019. Macías, 2020

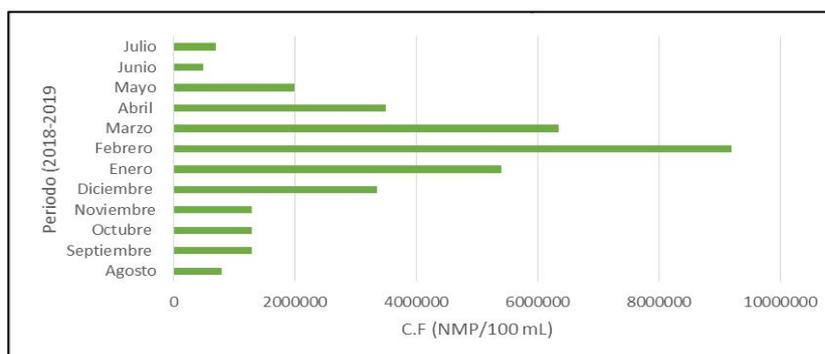


Figura 2. Concentración de Coliformes Fecales en el canal de salida de la Laguna de Oxidación Orquídeas Macías, 2020

Mediante la aplicación de la función tendencia en el programa Microsoft Excel se determinó que las concentraciones de coliformes fecales para los meses de septiembre hasta diciembre del 2019 fueron progresivos de 3 507 488 a 3 721 317 de NMP/ 100 mL con un promedio hasta el mes de diciembre de 3 151 107 que salen de la laguna de Oxidación las Orquídeas hacia el río Daule.

Tabla 3. Tendencia de concentración de Coliformes Fecales en el punto de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.

Meses	Punto de Muestreo	C.F. (NMP/100mL)
Agosto	S	790000
Septiembre	S	1300000
Octubre	S	1300000
Noviembre	S	1300000
Diciembre	S	3350000
Enero	S	5400000
Febrero	S	9200000
Marzo	S	6350000
Abril	S	3500000
Mayo	S	1995000
Junio	S	490000
Julio	S	700000
Agosto	S	3436212
Septiembre	S	3507488
Octubre	S	3578765
Noviembre	S	3650041
Diciembre	S	3721317
Promedio		3151107

Las concentraciones de C.F. del canal de salida corresponden a las tendencias de agosto de 2018 hasta diciembre de 2019 Macías,2020

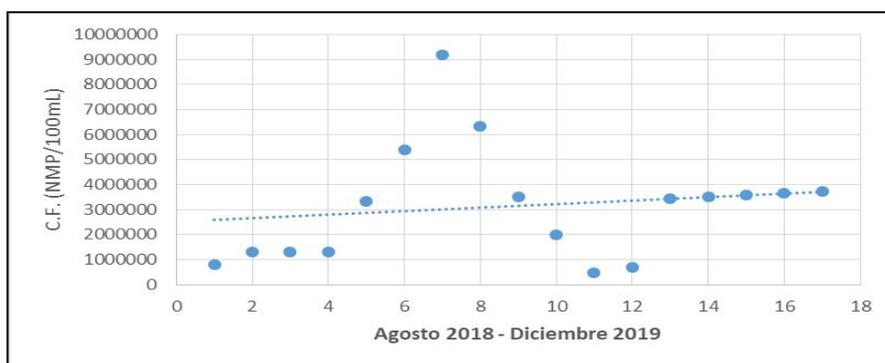


Figura 3. Tendencia de concentración de Coliformes Fecales en el canal de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.
Macías, 2020

Por esta razón, el promedio anual de 2 972 917 NMP/100 mL de las muestras tomadas desde agosto del 2018 hasta julio del 2019 que se descargaron hacia el río Daule sobrepasaron en 1 486 % el parámetro de descarga de 2 000 NMP/ 100 mL a cuerpos de agua dulce, estipulado en el Acuerdo ministerial 097 de la Reforma al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria publicado el 04 de noviembre del 2015 (actualmente vigente), lo que permitió establecer un criterio de evaluación para este estudio definido.

Tabla 4. Criterio de evaluación para determinar la contaminación de descarga de aguas residuales domesticas hacia el río Daule

Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Escala de colores	Criterio de Evaluación
>100		Aguas no contaminadas
100 a 1000		Aguas no contaminadas con tendencia a sobrepasar el LMP
2000	LMP	Límite máximo permisible Criterio de descarga a un cuerpo de agua dulce (Acuerdo ministerial 097,2015)
2000 a 49000		Aguas contaminadas
<490000		Aguas severamente contaminadas

Determinación de la contaminación de aguas residuales doméstica hacia el río Daule
Macías, 2020

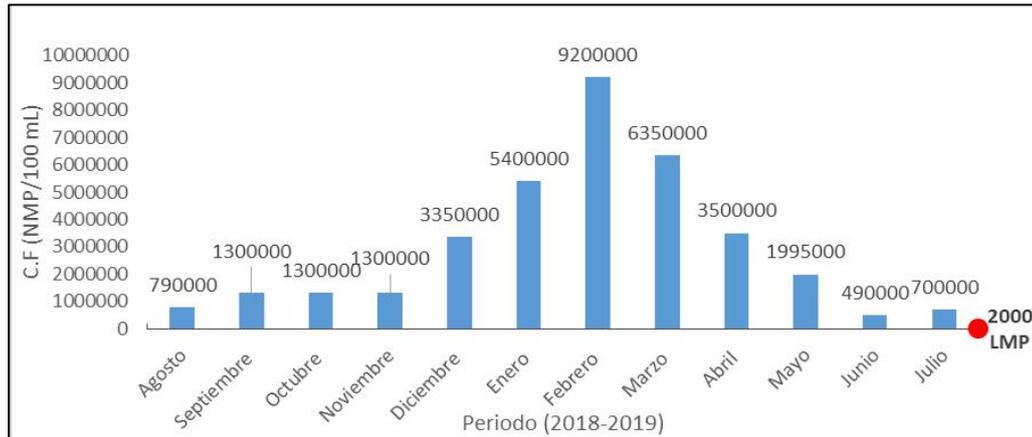


Figura 4. Concentración de coliformes fecales que se descargan hacia el río Daule y límite máximo permisible estipulado en Acuerdo ministerial 097,2015 de la normativa ambiental vigente. Macías, 2020

De los datos establecidos se determinó que las aguas residuales domésticas tratadas en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas generaron un severo impacto ambiental debido a que no reciben un tratamiento adecuado para la descarga segura hacia río Daule, y la tendencia de concentración de coliformes fecales superaron considerablemente el límite máximo permisible.

4.3 Análisis de estudios en los que se emplea Neem para reducción de coliformes fecales

Debido al severo impacto ambiental causado por las descargas de aguas residuales domésticas con elevadas concentraciones de coliformes fecales se propone la dosificación de neem (*A. indica*) como tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales.

Con el fin de determinar el tratamiento más eficiente, se agruparon en cuatro matrices que tuvieron una eficiencia por encima del 90% para la reducción de coliformes fecales.

Tabla 5. Matrices descriptivas para el análisis de tratamientos t1 y t2

	Tratamiento (t1)	Tratamiento (t2)
Estudio	El efecto del uso de polvo de hoja de Neem en el tratamiento de aguas residuales grises y agua de pozo.	Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia
Lugar	Oman	Colombia
Año	2017	2018
Tipos de agua	Agua residuales grises con elevadas concentraciones de Coliformes Fecales.	Aguas superficiales con considerables concentraciones de Coliformes Fecales.
Material	Hojas de Neem	Semillas de Neem
Método empleado	Hojas Pulverizadas	Aceite de semillas
Dosificación	2g/100 ml	0.8g/L ⁻¹
Interrelación con diversos parámetros	pH = 8 a 5,8 Salinidad ‰ = 1,15 a 3,01 Conductivi σ / = 2,40 a 6.51	pH = sin variación Salinidad = sin variación Conductivi σ / = sin variación
Tiempo estimado de reducción	Inmediata	30 minutos
Estimación de microorganismos patógenos	241906 NMP/100 ml	2495 NMP/100 ml
Estimación de reducción de bacterias coliformes	0 NMP/100 ml	19.96 NMP/ 100 ml
Porcentaje de reducción de coliformes fecales	100%	99.2%
Referencia	(Salim et al., 2017)	(Aguirre et al., 2018)

Descripción de los tratamientos t1 y t2
Macías, 2020

Tabla 6. Matrices descriptivas para el análisis de tratamientos t3 y t4

	Tratamiento (t3)	Tratamiento (t4)
Nombre	Hojas de <i>Azadirachta Indica</i> como tratamiento antibacteriano en el agua potable.	Eliminación de microbios de las aguas residuales hospitalarias utilizando cáscara de neem y carbón activado para torta
Lugar	India	Nigeria
Año	2014	2015
Tipos de agua	Agua superficial de río con considerables concentraciones de C.F.	Agua residual hospitalarias con elevadas concentraciones patógenas
Tipo de material empleado para el tratamiento	Hojas de Neem	Semillas, cáscaras, tortas de neem
Método empleado	Aceite de Neem	Torta de Neem activada con ZnCl ₂
Dosificación	4.5ml/l	12ml/50ml
Interrelación con diversos parámetros	pH = 7 Salinidad o/oo = sin variación Conductivi σ/ = sin variación	pH = sin inf. Salinidad ‰ = sin inf. Conductivi σ/ = sin inf.
Tiempo estimado de reducción	12 horas	10 minutos
Estimación de microorganismos patógenos	10000 NMP/100 ml.	2600 UFC/100 ml
Estimación de reducción de bacterias coliformes	550 NMP/ 100 ml.	15,6 UFC/100 ml
Porcentaje de reducción de coliformes fecales	95%	99,4%
Referencia	(Joshi y Sahu, 2014)	(Kenneth et al., 2015)

Descripción de los tratamientos t3 y t4
Macías, 2020

En los tratamientos t1, t2, t3 y t4 establecidos en las matrices descritas anteriormente se determinó que el primer tratamiento es el más práctico, rápido y efectivo para reducir la coliformes fecales, sin embargo los niveles de acidez y salinidad en el agua aumentaron en relación proporcional la conductividad, no obstante el segundo tratamiento presenta una reducción significativa de coliformes fecales y la obtención del aceite es compleja, además no existió una variación en el pH, se aplicó una dosificación mínima y en un tiempo relativamente rápido por estas razones su utilización en procesos de tratamiento resulta eficiente, a diferencia de tercer tratamiento que resulto ser más complejo en cuanto a la extracción del aceite de neem, con un tiempo estimado de reducción de 12 horas y con la tasa de reducción de coliformes más baja en comparación a los otros estudios, ahora bien el cuarto tratamiento tiene un elevado porcentaje de efectividad sin embargo el proceso de extracción de la torta de neem y el cloruro de zinc como activador resulta ser más complejo para su obtención y debido a la ausencia de información en lo que respecta de su interacción con otros parámetros resulta poco viable su aplicabilidad para procesos de tratamiento alternativos



Figura 5. Efectividad del empleo de Neem (*A. indica*)
Macías, 2020

4.4 Propuesta de dosificación del neem como método alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de oxidación Las Orquídeas

Se propone la aplicación de t1, ya que su proceso de obtención es de mayor factibilidad por que consiste en secar las hojas del árbol de neem para luego pulverizarlas y aplicar directamente con un dosificación de 0,02g/mL o su equivalencia a 0,02t/m³ sobre el agua residual a tratar, que en base al informe final de laboratorio del municipio de Al-Dhahirah logro una reducción del 100% de coliformes y concentración de bacterias *Eschericia coli* asociadas a la contaminación por coliformes fecales (ver anexo figura 23 y 24).

Tabla 7. Dosificación de t1

Dosificación	Concentración inicial de coliformes fecales (NMP/100ml)	Concentración final de coliformes fecales (NMP/100ml)	Porcentaje de reducción
2g/100ml	>2419,6	0	100%

Dosificación del tratamiento t1
Macías, 2020

Por tanto la dosificación que se aplicó de 436,44 toneladas de hojas pulverizadas de neem para el tratamiento de 21 822 m³ de capacidad total que tiene la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que se descargan hacia el río Daule alcanzó un porcentaje estimado de reducción del 100% de coliformes fecales.

Tabla 8. Dosificación del polvo de neem como tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas

Dosificación	Concentración promedio de coliformes fecales (NMP/100ml)	Concentración final del promedio de coliformes fecales (NMP/100ml)	Porcentaje de reducción
436,44T	2 972 917	0	100%

Dosificación del tratamiento t1 en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas
Macías, 2020

Cabe recalcar que para el tratamiento convencional a base de cloro en los 21 822 m³ de Laguna de Oxidación Las Orquídeas se requirió 65 466 L de cloro liquido con un costo estimado de 22 514,76 dólares que lograron en promedio una

reducción del 83,91% de concentración de coliformes fecales previo a su descarga final hacia el río Daule.

Tabla 9. Estimación del uso del cloro para desinfectar el agua residual (3,5%)

Dosificación de Cloro Líquido	Promedio de concentración inicial de coliformes fecales (NMP/100ml)	Promedio de concentración final de coliformes fecales (NMP/100ml)	Porcentaje de reducción	Costo
65 466l/21,822 m ³ *	18 487 500	2 972 917	83,91%	\$ 22 258,44*

Estimación del uso del cloro para desinfectar el agua residual en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas Macías, 2020

*Consulta del portal web Prodavinci, *¿Cómo se potabiliza el agua?* Publicado por Ricardo Barbar en 2019 menciona que 3 litros de cloro se requieren para tratar 1m³ de agua residual. El costo estimado del litro en el mercado local de Guayaquil es de \$ 0,34 ctvs.

Por otra parte Cabal (2001), señaló que un árbol de neem se compone aproximadamente de 10 a 100 toneladas de biomasa de las cuales el 50% pertenece a las hojas y el otro 50 % pertenece al resto del árbol por lo tanto se estimó que la media de un arbol de neem se compone de 55 toneladas de biomasa y 27,5 corresponden a toneladas de hojas lo que en base a Souto (2016), se estimó en un peso de 6,87 toneladas de hojas secas o polvo de neem. En comparación con lo que menciono Olaya y Montufar (2009), si en una hectárea en la que se sembró 850 árboles de neem a un costo de producción aproximado en cinco años de 30 162 dólares lo que equivaldría a 35,48 dólares por árbol, se generarían 23 375 toneladas de hojas de neem y 5 847,75 toneladas de hojas secas o polvo que podría tratar 13,38 Lagunas de Oxidación como Las Orquídeas con una capacidad total de 291 978,36 m³ que reducirían al 100% la contaminación por coliformes fecales.

Por lo tanto si un árbol de neem produce 6,87 toneladas de hojas secas o polvo de las hojas de neem se necesitaría aproximadamente 63,52 árboles de neem para tratar la Laguna de Oxidación las Orquídeas con un costo 2 253,68 dólares (ver anexo figura 6).

Tabla 10. Estimación de neem como tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de

Descripción de empleo de neem	Estimación de producción	Método de dosificación	% de reducción	m³	Costo	Referencia
1 árbol de neem	6,87 toneladas	Hojas pulverizadas de neem	100%	-	Bajo	(Cabal, 2001; Olaya y Montufar, 2009; Souto, 2016)
63,52 árboles de neem	436,38 toneladas	Hojas pulverizadas de neem	100%	21 822	Bajo	(Cabal, 2001; Olaya, Montufar, 2009 y Souto, 2016)
1 ha de árboles de neem (850)	5 847,75 Toneladas	Hojas pulverizadas de neem	100%	291 978,36	Bajo	(Cabal, 2001; Olaya, Montufar, 2009 y Souto, 2016)

Propuesta de tratamiento alternativo para la reducción de coliformes fecales en la Laguna de Oxidación Las Orquídeas.

Macías, 2020

Oxidación Las Orquídeas.

5. Discusión

La determinación de las concentraciones de coliformes fecales del canal de salida de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas que vuelca hacia el río Daule sobrepasan considerablemente la normativa ambiental vigente, por lo tanto este estudio no experimental fue realizado con el fin de analizar el neem como método alternativo para la reducción de coliformes fecales basado en un estudio experimental publicado por Aguirre, Piraneque, y Cruz (2018), señala que 0.8g/L^{-1} del extracto crudo salino del aceite de las semillas de neem se reducen el 99.4% de los coliformes fecales sin embargo el proceso de extracción del aceite resulta complejo y costoso además el porcentaje de reducción no alcanzaría los límites máximos permisibles que se requeriría para la descarga segura de las aguas residuales tratadas de la Laguna de Oxidación Las Orquídeas

De acuerdo a un estudio publicado por Salim, Abdullah y Hassan, (2017), donde se pudo demostrar la capacidad que tienen $2\text{g}/100\text{ mL}$ de neem (*Azadiractina indica*) como alternativa al uso del cloro para el tratamiento de las aguas residuales cumpliendo con los parámetros establecidos (Decreto ministerial N° 145/93, de estándares de aguas residuales del municipio de Al-Dhahirah) *A. indica* alcanzó una reducción del 100% de coliformes fecales y *E. coli*, sin embargo una desventaja de la aplicabilidad de este tipo de tratamiento es que el pH paso de 8 a 5.8, la conductividad eléctrica aumento de 2.4 a 6.41 y la salinidad paso de 1.15 a 3, por tanto se tomó como referencia este método para las aguas residuales domesticas de la Laguna de Oxidación las Orquídeas y se determinó que 436,4 toneladas de polvo de neem alcanzan un porcentaje de reducción del 100% los coliformes fecales, no obstante se prevé una disminución del pH y por ende el aumento de la conductiva electica y la salinidad desventaja que puede ser corregido mediante la aplicación de compuestos alcalinos como la cal (CaO) e

inclusive la pulverización de residuos de origen vegetal como semillas y cascaras (cáscaras de pepinos, restos espinacas, cascaras de huevos, estopa de coco) hasta alcanzar los valores máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente.

6. Conclusiones

En lo que respecta a la línea base se identificaron los principios bioactivos del Neem; azadiractina, nimbin, nimbolide, gedunin, catequina, epicatequina, mahmoodin, ácido gálico, salannin, meliantriol y se determinó que tienen la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano de los agentes patógenos debido a que destruyen la membrana de la célula que cubre el ADN.

En lo concerniente a la determinación de contaminación fecal en el agua que se descarga hacia el canal de salida AALL de la Laguna de Oxidación las Orquídeas el promedio anual fue de 2 972 917 NMP/100mL, lo que genera una severa contaminación en el cuerpo de agua dulce receptor río Daule, puesto que supera en 1 486 % el límite máximo permisible de 2 000 NMP/100mL estipulado en el Acuerdo ministerial 097 de la Reforma al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria publicado el 04 de noviembre del 2015 (actualmente vigente).

En relación a la dosificación de neem como alternativa para la reducción de coliformes fecales del agua residual doméstica se sugiere que mediante la aplicación de 436,44 toneladas de polvo de neem, en la Laguna de oxidación Las Orquídeas con una capacidad de 21 822 m³ se reduciría el 100% los coliformes fecales por lo tanto, se afirma a la hipótesis de que el empleo de neem (*A. indica*) como antimicrobiano si reduce los coliformes fecales por encima del 99% y cumple con los límite máximo permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en la normativa ambiental vigente, por lo tanto si se produjera una hectárea de Neem con 850 árboles y 5 847,75 toneladas de polvo de neem a un costo estimado de 30 162 USD se remediarían 291 978,36 m³ de agua residual lo que equivaldría a 13,38 Lagunas de Oxidación.

7. Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de neem (*Azadirachta indica*) para la reducción de las concentraciones de coliformes fecales debido a su efectividad en el recurso hídrico, su baja tasa de toxicidad, su alta biodegradabilidad y por ser considerada una planta que puede ser fácilmente cultivada en climas secos puesto que requieren de bajos costo en su mantenimiento.

Se sugiere a las empresas públicas de alcantarillado que realicen monitoreos periódicos relacionados con la calidad del agua tomando en cuenta los parámetros biológicos como los coliformes fecales para así mitigar el impacto ambiental que generan en los cuerpos hídricos.

Se recomienda que el empleo del neem se lo use con alternativas ecológicas un ejemplo de ello, son las cáscaras de huevos que por sus propiedades alcalinas pueden reducir la salinidad, la conductividad eléctrica y neutralizar el pH, además de estudios enfocados al manejo adecuado de su productividad.

8. Bibliografía

- 3M. (2015). *Guia-interpretacin-petrefilm-listeria-ambiental.pdf*. Recuperado de <https://multimedia.3m.com/mws/media/1409681O/guia-interpretacin-petrefilm-listeria-ambiental.pdf>
- Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). *Edición Especial N° 097-A Registro Oficial*. 21. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Acuerdo Ministerial No 061. *Edición Especial N° 316—Registro Oficial—Lunes 4 de mayo de 2015.* , (2015).
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., y Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 59-70. <https://doi.org/10.4067>
- Akhila, A., y Rani, K. (1999). Chemistry of the Neem Tree (*Azadirachta indica* A. Juss.). En *Fortschritte Der Chemie Organischer Naturstoffe / Progress in the Chemistry of Organic Natural Products. Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe / Progress in the Chemistry of Organic Natural Products* (pp. 47-149). Vienna: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6394-8_2
- Alarcón, I. (2019, agosto 18). Aguas servidas, un riesgo para los ríos del país. *El Comercio*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/tendencias/aguas-servidas-riesgo-rios-ecuador.html>
- Alo, B. (2018). Different Types of Water Bodies. Recuperado 2 de mayo de 2020, de Sciencing website: <https://sciencing.com/different-types-water-bodies-6525786.html>
- Antalová, V., Slučiaková, S., y Haluš, M. (2018, abril). *Estimating environmental benefits of wastewater treatment in Slovakia*. Ministry of Environment of the Slovak Republic. Recuperado de

- https://www.minzp.sk/files/iep/iep_working_paper_estimating-environmental-benefits-wastewater-treatment-slovakia_20180413.pdf
- AOR. (2019, junio 5). Epicatequina: Beneficios Potenciales Para la Salud Cardiovascular y Metabólica | AOR Inc. Recuperado 14 de septiembre de 2020, de Advanced Orthomolecular Research website: <https://aor.us/epicatequina-beneficios-potenciales-para-la-salud-cardiovascular-y-metabolica/?lang=es>
- Aquatell. (2020). E. Coli in Drinking Water—Aquatell. Recuperado 10 de junio de 2020, de Aquatell U.S. website: <https://www.aquatell.com/pages/e-coli-in-drinking-water>
- Arriols, E. (2018). Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican—Descúbrelo aquí. Recuperado 3 de mayo de 2020, de Ecologiaverde.com website: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Barrenechea, A. (2004). COAGULACIÓN. En *Tratamiento de agua para consumo humano* (p. 73). Lima. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>
- Bazán, C. (2018, septiembre 6). Un canal acumula males que afectan a tres sectores. *Diario Expreso*. Recuperado de <https://www.pressreader.com/ecuador/diario-expreso/20180906/281968903571041>
- BIOMÉRIEUX. (2020). Coliformes. Recuperado 6 de mayo de 2020, de BioMérieux España website: <https://www.biomerieux.es/coliformes>
- Biswas, K., Chattopadhyay, I., Bandyopadhyay, U., y Banerjee, R. K. (2002). *Biological activities and medicinal properties of neem (Azadirachta indica)*.

- 82(11). Recuperado de
https://pdfs.semanticscholar.org/7e68/cebce04e278a3cf5bcf63f84677c282f0d9a.pdf?_ga=2.150883198.998017125.1590533288-1940033687.1586479921
- Bose, A., y Baral, R. (2019). Chapter 15—Neem Leaf Glycoprotein in Cancer Immunomodulation and Immunotherapy. En M. S. Ahmad Khan, I. Ahmad, y D. Chattopadhyay (Eds.), *New Look to Phytomedicine* (pp. 391-408). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814619-4.00016-1>
- Braga, T. M., Rocha, L., Chung, T. Y., Oliveira, R. F., Pinho, C., Oliveira, A. I.,... Cruz, A. (2020). Biological Activities of Gedunin—A Limonoid from the Meliaceae Family. *Molecules*, 25(3), 493.
<https://doi.org/10.3390/molecules25030493>
- Cabal, E. (2001). *El libro del Neem: El árbol del siglo XXI*. Madrid: Mandala.
- Cabrera, M. B., Cumba, M. L. A., y Solis-Castro, M. E. (2019). *Contaminación de los ríos: Caso río Guayas y sus afluentes*. 8. <https://doi.org/10.17268>
- Cazau, P. (2006). *INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES*. 194. Recuperado de
<http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CC.SS...pdf>
- ChemSpider. (2020a). Catechin. Recuperado de
http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.8711.html?rid=761c9a79-8a3e-47c1-9cf4-3b411bd88797page_num=0
- ChemSpider. (2020b). Nimbin. Recuperado de
http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.97160.html?rid=9999e927-d85a-45f4-a45c-f1ee66374363page_num=0

- CIDTA. (2015). U3.CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL- Características Químicas I. Recuperado 5 de mayo de 2020, de http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/Curso/uni_03/U3C3S5.htm
- Clarín. (2020, febrero 14). Contaminación del agua: Causas, consecuencias y todo lo que hay que saber—Clarín. *Clarín Sociedad*. Recuperado de https://www.clarin.com/sociedad/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-y-todo-lo-que-hay-que-saber_0_awALjNQd.html
- Constitución de la República del Ecuador. *Constitucion del La república del Ecuador.* , (2008).
- Costa. M, J. (2015). Efluentes—Ecología—InfoEscola. Recuperado 2 de mayo de 2020, de <https://www.infoescola.com/ecologia/efluentes/>
- Council, N. R. (1992). *Neem: A Tree for Solving Global Problems*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1924>
- Cruz, M., y del Ángel, R. (2004). El arbol de Nim, establecimiento y aprovechamiento en la Huasteca Potosina. *INIFAP-CIRNE*, 23. Recuperado de <http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/Docs-descargar/FOLL.%20TEC.%20003.pdf>
- Crystaltank. (2020). Sewage Water Treatment | Information | Plants. Recuperado 9 de junio de 2020, de https://www.crystaltanks.com/sewage_treatment_explained.html
- DEP. (2016). Disinfection and Chlorination. Recuperado de http://files.dep.state.pa.us/Water/BSDW/OperatorCertification/TrainingModules/ww05_disinfection_chlorination_wb.pdf

- Eid, A., Jaradat, N., y Elmarzug, N. (2017). A Review of chemical constituents and traditional usage of Neem plant (*Azadirachta Indica*). *Palestinian Medical and Pharmaceutical Journal*. Recuperado de https://journals.najah.edu/media/journals/full_texts/3_OdCsyFT.pdf
- El Universo. (2020, enero 18). Botellas, restos de muebles y de artefactos se botan en canales en Guayaquil. *El Universo*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/01/18/nota/7695417/botellas-restos-muebles-artefactos-se-botan-canales>
- ENVIS RP. (2011). *Neem (Azadirachta indica)*. Recuperado de <http://www.frienvis.nic.in/WriteReadData/UserFiles/file/pdfs/Neem.pdf>
- EPA. (2015, junio). *Wastewater Technology Fact Sheet*. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/disinfection_small.pdf
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., y Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4, 21. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Esparza-Díaz, G., Villanueva-Jiménez, J. A., López-Collado, J., y Osorio-Acosta, F. (2011). Multi-Insecticide Extractive Technology of Neem Seeds for Small Growers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 409-415. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93920942018>
- Expreso. (2018, diciembre 22). Interagua limpio el canal de aguas lluvias que afectaba a las Orquídeas. *Diario Expreso*. Recuperado de <https://www.pressreader.com/ecuador/diario-expreso/20180922/282080572754798>

- FAO. (2007, enero 16). International Neem Network. Recuperado 8 de mayo de 2020, de <http://www.fao.org/forestry/neem/5308/en/>
- Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H., y Mara, D. D. (1983). *Sanitation and Disease Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*.
- Golconda, Z. (2016). *CHARACTERISTICS OF SEWAGE AND TREATMENT REQUIRED*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/292407057>
- Gruber, A. K. (2008). *Biología y Ecología del Arbol de Nim (Azadirachta indica A. Juss.). Extracción, Medicion, Toxicidad y Potencil de crear Resistencia*. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3769/1/08.pdf>
- Grundfo. (2020). Efluentes. Recuperado 2 de mayo de 2020, de <https://co.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/effluent.html>
- Gualoto, E., Chiluisa-Utreras, V., y Campaña, A. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura*, 2(2), 305-310. <https://doi.org/10.21931>
- Gurulingappa, H., Tare, V., Pawar, P., Tungikar, V., Jorapur, Y. R., Madhavi, S., y Bhat, S. V. (2009). Susceptibility of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* Larvae to Gedunin-Related Limonoids. *Chemistry y Biodiversity*. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200800105>
- Hammeken, A., y Romero, E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. (Universidad de las Américas Puebla.). Universidad de las Américas Puebla. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo7.pdf

- Herbal Products S. de R.L. (2011). El Neem, características y beneficios | Neem Herbal Products ®. Recuperado 8 de mayo de 2020, de El árbol de Neem website: <http://www.neemherbalproducts.com/neem.php>
- Hossain, M. A., Al-Toubi, W. A. S., Weli, A. M., Al-Riyami, Q. A., y Al-Sabahi, J. N. (2013). Identification and characterization of chemical compounds in different crude extracts from leaves of Omani neem. *Journal of Taibah University for Science*, 7(4), 181-188.
<https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2013.05.003>
- INEC. (2017, diciembre 5). Tras las cifras de Quito [Institucional]. Recuperado 6 de agosto de 2020, de Instituto Nacional de Estadística y Censos website: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tras-las-cifras-de-quito/>
- Integración Química S.R.L. (2013). Limonoides de Neem [Blog]. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de Limonoides de Neem website: http://www.integracionquimica.com.ar/web/index.php?option=com_contentview=articleid=140%3Alimonoides-de-neem-catid=48%3Apremsaltemid=163font-size=larger
- Interagua. (2019). *Informe Anual 2018-2019*. Recuperado de https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/portal-de-transparencia/2019_informe_anual.pdf
- Jadhav, A. (2012). Process Development of Pesticide Production from Azadirachta Indica A. Juss. *International Journal of Agriculture Innovations and Research, ISSN (Online) 2319-1473*, 65-70. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/263275349_Process_Development_of_Pesticide_Production_from_Azadirachta_Indica_A_Juss

- Joshi, J., y Sahu, O. (2014). Azadirachta Indica Leaves as Antibacterial Treatment on Drinking Water. *International Journal of Clinical Nutrition*, 2(2), 36-40.
<https://doi.org/10.12691>
- Karki, G. (2019, mayo 15). Physical, chemical and Biological characteristics of sewage. Recuperado 8 de junio de 2020, de Online Biology Notes website:
<https://www.onlinebiologynotes.com/physical-chemical-and-biological-characteristics-of-sewage/>
- Kenneth, A., Emmanuel, G. C., Edith, A. B., Stephen, A. E., Omenesa, H., Nwankwere, E., y Titus, Y. M. (2015). Removal of microbes from hospital wastewater using Neem activated carbon and carbon cake activated. *Modern Chemistry y Applications*, 03(04), 3. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000171>
- Koona, S., y Budida, S. (2011). *Antibacterial Potential of the Extracts of the Leaves of Azadirachta indica Linn.* 5. Recuperado de
<file:///C:/Users/Inspiron/Downloads/5470-Article%20Text-37167-1-10-20170307.pdf>
- Koriem, K. M. (2013). Review on pharmacological and toxicological effects of oleum azadirachti oil. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(10), 834-840. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60165-3](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60165-3)
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. *Ley- Orgánica-de-Recursos-Hídricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf.*, Pub. L. No. 305 (2014).
- Ley orgánica de salud. *LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD4.pdf.*, (2015).

- Lisan, B. (2020). *Fiche présentation arbre: Azadirachta indica*. Recuperado de <http://www.doc-developpement-durable.org/fiches-arbres/Fiche-presentation-neem.pdf>
- López, Y., Angulo, M., Martínez, C., y Chaidez, C. (2007). Efecto antimicrobiano de extractos crudos de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) y venadillo (*Swietenia humilis* Zucc) contra *E. coli*, *S. aureus* y el bacteriófago P22. *Red de Revista Científica de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 32(4), 117-125. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/576/57632402.pdf>
- M. TOLEDO. (2019, octubre 14). Floculación | Teoría y experiencias [Floculación]. Recuperado 7 de mayo de 2020, de Floculación website: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/Formulation_Flocculation.html
- Maestramihaela. (2017). Il fiume, classe terza. Recuperado 2 de mayo de 2020, de Maestra Mihaela website: <https://istruzioneeblog.com/2017/04/08/il-fiume-classe-terza/>
- Mallapaty, S. (2020). How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. *Nature*, 580(7802), 176-177. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00973-x>
- Matos, A. (2018, marzo 7). Investigación Bibliográfica: Definición, Tipos, Técnicas. Recuperado 20 de junio de 2020, de Lifeder website: <https://www.lifeder.com/investigacion-bibliografica/>
- Matthews, R. L., Templeton, M. R., Tripathi, S. K., y Bhattarai, K. (2009). Disinfection of Waterborne Coliform Bacteria by Neem Oil. *Environmental Engineering Science*, 26(9), 1435-1441. <https://doi.org/10.1089/ees.2009.0058>
- Mayoclinic. (2019, abril 15). *E. coli*—Síntomas y causas [Foundation for Medical Education and Research]. Recuperado 19 de junio de 2020, de Mayo Clinic

website: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/e-coli/symptoms-causes/syc-20372058>

Mella, C. (2020). *Aguas turbias | Visión 360 VII Temporada*. Guayaquil-Ecuador:

Ecuavisa. Recuperado de

<https://www.youtube.com/watch?v=SznbNPkevUM>

Microlab. (2020). Microlab Industrial—Parámetros—Patógenos—Coliformes

Fecales. Recuperado 6 de mayo de 2020, de

<http://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/182/coliformes-fecales>

MID. (2017, agosto 5). *Características de las aguas residuales*. Red Tecnológica.

Recuperado de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-08-05_02-17-22141773.PDF

Muñoz, N. (2011). *El estudio exploratorio. Mi aproximación al mundo de la*

investigación cualitativa. 29, 492-499. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/pdf/1052/105222406019.pdf>

Nathanson, J. A. (2020). Water pollution. En *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA*.

Encyclopædia Britannica, inc. Recuperado de

<https://www.britannica.com/science/water-pollution>

Nathanson, J. A., y Ambulkar, A. (2019, julio 17). Wastewater treatment—Primary

treatment. Recuperado 9 de junio de 2020, de Encyclopedia Britannica

website: <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment>

Olaya, E. I., y Montufar, N. (2009). *Proyecto de inversión para el cultivo del árbol de neem como materia prima destinado al sector industrial* (ESPOL).

ESPOL, Guayaquil-Ecuador. Recuperado de

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6916>

- OMS. (2016). *Planificación de la seguridad del saneamiento Manual Para El Uso Y La Disposición Seguros De Aguas Residuales, Aguas Grises Y Excretas*. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza: World Health Organization.
Recuperado de
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250331/9789243549248-spa.pdf?sequence=1>
- OMS. (2019, junio 14). Saneamiento [Institucional]. Recuperado 4 de agosto de 2020, de Saneamiento website: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- OMS, y UNICEF. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: Informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de 9789243512891
- Paulownia. (2008). NEEM [Text]. Recuperado 20 de junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/paulowniatormentosa/neem>
- Pérez. (2020, marzo 3). Catequinas: Qué son, beneficios y alimentos más ricos. Recuperado 14 de septiembre de 2020, de Qué son las catequinas y qué beneficios ofrece a la salud website:
<https://www.miarevista.es/salud/articulo/que-son-las-catequinas-y-que-beneficios-ofrece-a-la-salud-671583248658>
- Pijoan, M. (2004). El neem. *Offarm*, 23(5), 128-133. Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-neem-13061804>
- Pineda, J. (2019, julio 17). Neem, Usos, Propiedades y Beneficios. Recuperado 22 de mayo de 2020, de Encolombia.com website:
<https://encolombia.com/salud-estetica/medicina-alternativa/caseros/neem-propiedades-y-beneficios/>

- Primordiales. (2016, septiembre 29). La Ciencia Detrás de los Compuestos más Valiosos del Nim [Informativa]. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de Primordiales website: <https://www.primordiales.com.mx/la-ciencia-detras-de-los-compuestos-mas-valiosos-del-nim/>
- PubChem. (2020a, septiembre 5). Azadirachtin. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281303>
- PubChem. (2020b, septiembre 5). (-)-Epicatchin. Recuperado 14 de septiembre de 2020, de Library website: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/72276>
- PubChem. (2020c, septiembre 5). Gallic acid. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/370>
- QuestionPro. (2018, agosto 9). ¿Qué es la Investigación Exploratoria? Recuperado 9 de mayo de 2020, de QuestionPro website: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-exploratoria/>
- Ramírez, J. (2014, octubre 30). Microbiología: Número más probable (NMP). Recuperado 6 de mayo de 2020, de Microbiología website: <http://microbiologia3bequipo5.blogspot.com/2014/10/numero-mas-probable-nmp.html>
- Reyes, G. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas: Desinfección y formación de subproductos*. (Master en Gestion Ambiental, Instituto Politécnico Nacional). Instituto Politécnico Nacional, Durango. Recuperado de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>
- Reyes-Martínez, A. (2015). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES DEL NEEM (Azadirachta indica)* (Universidad Autónoma

de San Luis Potosí). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Huasteca.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4498.1920>

Rodríguez, C. (2018, octubre 25). Tipos de aguas residuales: Conoce los tipos y sus tratamientos [Text]. Recuperado 19 de junio de 2020, de Hidrotec website: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Romero, J. A. (1999). *Tratamientos de aguas residuales por lagunas de estabilización*. España: Alfaomega.

Romero, J. A. (2009). *Calidad del agua* (Tercera). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Salim, S. S., Abdullah, G. R., y Hassan, H. A. (2017). *The effect of using Neem leaf powder in the treatment of gray wastewater and well water*. General Directorate of Education in Al-Dhahirah Governorate. Recuperado de <https://www.globe.gov/documents/10157/16a6a18d-45a0-4918-90a3-f6115b6d1e25>

Sánchez, C., Hernández, M., y Rodríguez, M. (2014). *Guía de uso de la normativa europea de producción ecológica para agricultores 2017*. Coordinadora de Certificación y Promoción Agroecológicas (INTERECO). Recuperado de http://interecoweb.com/wp-content/uploads/2017/12/AF_Intereco-Guia-de-Uso-Agricultura-CAECV-2017.pdf

Sánchez, F. (2017, enero 19). Las asombrosas propiedades biológicas del ácido gálico [De información]. Recuperado 15 de septiembre de 2020, de México Ciencia y Tecnología website: <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/quimica/12563-las-asombrosas-propiedades-biologicas-del-acido-galico>

- Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., y Hussain, M. K. (2019). Bio-active Compounds Isolated from Neem Tree and Their Applications. En M. S. Akhtar, M. K. Swamy, y U. R. Sinniah (Eds.), *Natural Bio-active Compounds* (pp. 509-528). Singapore: Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-7154-7_17
- Sarkar, M., Rahman, A. K. M. L., y Bhoumik, N. C. (2018). *Cost effective treatment of tannery effluent by alkali and Azadirachta indica*. 6.
- SENAGUA, y ARCA. (2017). *Boletín de la Estadística sectorial del agua*. Recuperado de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf
- Sigma-Aldrich. (2020a). Neem (Azadirachta indica) | Plant Profiler. Recuperado 1 de mayo de 2020, de Sigma-Aldrich website:
<https://www.sigmaaldrich.com/life-science/nutrition-research/learning-center/plant-profiler/azadirachta-indica.html>
- Sigma-Aldrich. (2020b). Nimbolide SMB00586. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de Sigma-Aldrich website:
<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/smb00586>
- Silva, J. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura* (Universidad de Piura). Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Souto, R. (2016, febrero 29). No acaba todo al cosechar...El Secado. | Yerba [Informativa]. Recuperado 9 de octubre de 2020, de Cultivaunaidea website:
<https://www.redyerba.com/usuario/cultivaunaidea/blog/no-acaba-todo-al-cosechar-el-secado>

- Sydney, W. (2010). Wastewater treatment plant virtual tour. Recuperado 10 de junio de 2020, de <https://www.sydneywater.com.au/Education/Tours/virtualtour/html/tertiary-treatment.html>
- Tarladalal. (2019, enero 2). 10 Brilliant Health Benefits of Neem leaves. Recuperado 5 de junio de 2020, de Tardalalal.com website: <https://www.tarladalal.com/top-health-benefits-of-neem-leaves-259>
- Teraambiental. (2020, marzo 11). Conheça a diferença entre afluente e efluente. Recuperado 2 de mayo de 2020, de <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/diferenca-entre-afluente-e-efluente>
- Terán, C., y Samaniego, J. (2018). *Boletín técnico N° 02-2017- GADM AGUA Y ALCANTARILLADO*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Agua_potable_alcantarillado-2017/Boletin%20tecnico%20APA%202017.pdf
- Toranzos, M. (2019a, diciembre 16). El 53 % del agua de riego en Guayas está contaminada. *Diario Expreso*. Recuperado de <https://www.expreso.ec/guayaquil/agua-riego-contaminada-guayas-1498.html>
- Toranzos, M. (2019b, diciembre 16). El agua de la urbe, aún con residuos de heces. *Diario Expreso*. Recuperado de <https://www.expreso.ec/guayaquil/agua-urbe-residuos-heces-1455.html>
- TUHH. (2018, 12). Domestic wastewater sources and its characteristics. [Académica]. Recuperado 19 de junio de 2020, de Domestic wastewater sources and its characteristics. website: https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/lessons/lesson_a1/lm_pg_1066.html

- UEIA. (2014). Neem, Paraíso de la India (*Azadirachta indica*). Recuperado 8 de mayo de 2020, de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá website: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/66>
- Unesco (Ed.). (2017). *Wastewater: The untapped resource*. Paris: UNESCO.
- Valverde, P. (2007). La Epicatequina. Un flavonoide para recordar. *Renut*, 1-4. Recuperado de https://www.iidenut.org/pdf_revista_res/Renut%201/RENUT%202007%20RES_1_3-4.pdf
- Vilavila, S. (2018). *Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara—Puno, 2018* (Universidad Peruana Unión). Universidad Peruana Unión. Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1830>
- Vinculando, R. (2008, enero 20). El Neem en la salud animal y en el control de plagas. Recuperado 19 de junio de 2020, de Revista Vinculando website: http://vinculando.org/articulos/el_neem_en_la_salud_animal_y_en_el_control_de_plagas.html
- VITO. (2020). Anaerobic Biological Wastewater Treatment | EMIS. En *EMIS*. Recuperado de <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/anaerobic-biological-wastewater-treatment>
- WSDOH. (2020). Coliform in Drinking Water: Washington State Department of Health. Recuperado 10 de junio de 2020, de <https://www.doh.wa.gov/CommunityandEnvironment/DrinkingWater/Contaminants/Coliform>
- Wu Hong-Zhang, Hsu Yu-Lan, Huang How-Liang, Chen Jui-Pin, Chen Chien-Shiao, y Hsiu-Ping Lin Pearl. (2007). Application of Biocoagulant on Drinking Water Treatment. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 11(2), 92-96. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(2007\)11:2\(92\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(2007)11:2(92))

9.Anexos.

Tabla 11. Taxonomía (*A. indica*).

Reino	Vegetal
Subreino	Trachaeophyta
División	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Geraniales
Familia	Meliaceae
Genero	Azadirachta
Especie	<i>A. indica</i>

Taxonomía del neem (*A. indica*)
UEIA, 2014

Tabla 12. Información nutricional para 35 gr. de (*A. indica*).

Calorías	45 Cal.
Proteína	2.48 gr.
Carbohidratos	8,01 gr.
Grasa	0,03 gr.
Calcio (Ca)	178.5 mg.
Hierro (Fe)	5.98 mg.
Fibra	6.77 mg.
Magnesio (Mg)	44.45 mg.
Fósforo (P)	28 mg.
Potasio (K)	88.9 mg.
Sodio (Na)	25.27 mg.

Composición nutricional del neem (*Azadirachta indica*)
Tarladalal, 2019

Tabla 13. Principales elemento químicos presentes en el neem (*A. indica*).

Humedad	59 %
Proteínas	7.1 %
Grasa	1 %
Carbohidratos	22,9 %
Minerales	3,4 %
Calcio	510 mg/100g
Fósforo	80 mg/100g
Hierro	17 mg/100g
Tiamina	0,04 mg/100g
Niacina	1,40 mg/100g
Vitamina C	218 mg/100g
Caroteno	1998 µg/100mg
Valor calorífico	1290 kcal/kg
Ácido glutámico	73.30 mg/100g
Tirosina	31.50 mg/100g
Ácido aspártico	15.50 mg/100g
Alanina	6,40 mg/100g
Prolina	4,00 mg/100g
Glutamina	1,00mg/100g

Principales elemento químicos presentes en el neem (*A. indica*).

Paulownia, 2008

Tabla 14. Principales compuestos bioactivos del neem.

Compuestos activos	Actividad
Azadiractina	Repelente, antialimentaria y antihormonal de insectos plaga y antiprotozoica (contra <i>Typanosoma cruzi</i> , agente de la enfermedad de Chagas, y posiblemente contra <i>T. gambiensi</i> y <i>T. brucei</i>).
Compuestos fenólicos de la corteza: (ácido gálico, (+)-galocatequina, (-) epicatequina, (+)-catequina y epigalocatequina).	Antiinflamatoria y inmunomoduladora
Gedunina	Vasodilatadora antimalaria (tres veces más activa que la cloroquina), antifúngica.
Mahmoodina	Antimicrobiana
Ácido Margósico	Desinfectante de infecciones cutáneas y antimalaria
Meleantriol	Repelente de insectos plagas, etc.
Naheedina	Antibacteriana, antiulcerogénica, analgésica antiarrítmica antifúngica
Nimbidina	Antihistamínica, Antibacteriana, antiulcerogénica, analgésica, antiarrítmica, antiabética, antifúngica, antiinflamatoria y para el tratamiento de la psoriasis
Nimbidinato de sodio	Diurética espermicida y antiartrítica
Nimbinina	Antiinflamatoria
Nimbolida	Antitumoral
Nimboloide	Antimalaria (inhibición de <i>Plasmodium falciparum</i>)
Polisacáridos de la corteza	Antitumoral, Antiinflamatoria
Quercetina	Antiporzoica (inclusión antimalaria), antifúngica.
Salanina	Repelente de insectos plaga

Principales compuestos bioactivos presentes en el neem (*A. indica*)
Pijoan, 2004

Tabla 15. Composición del agua residual doméstica

Componente	De especial Interés	Efectos Ambientales
Microorganismos	Bacterias patógenas, virus y huevos de Gusanos.	Riesgo al bañarse y alimentarse
Materiales Orgánicos Biodegradables	Agotamiento de oxígeno en ríos y lagos	Muerte de peces y proliferación de malos olores
Otros Materiales Orgánicos	Detergentes, pesticidas, aceites y grasas, colorantes, solvente, fenoles, cianuro	Efectos tóxicos, inconvenientes estéticos y bioacumulación en la cadena alimenticia
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo y amonio	Eutrofización, oxígeno disuelto, efectos tóxicos
Metales	Hg, Pb, Cr, Ni, Cd, Cr. Cu	Efectos tóxicos y bioacumulación
Otros Materiales Inorgánicos	Ácidos, por ejemplo el sulfuro de hidrogeno, bases	Corrosión y efectos tóxicos
Efecto Térmico	Aguas con elevadas temperaturas	Cambios en las condiciones de vida de la flora y fauna
Olor y Sabor	Sulfuro de Hidrogeno	Inconvenientes estéticos, efectos tóxicos
Radioactividad		Efectos tóxicos y acumulación

Componentes presentes en el agua residual doméstica.
TUHN, 2018

Tabla 16. Presupuesto

Cant.	Descripción	c/u (dólares)	Total (dólares)
3	Resmas de hojas de papel bond	7,00	35,00
10	Bolígrafos	0,50	5,00
1	Impresora	300	300
1	Laptop	500	500
120 (horas)	Servicio de Internet	1,00	120
20	Alimentación	5,00	100
3	Dispositivos de almacenamiento (USB)	5,00	15,00
	Varios		80
	Total		1 155

Presupuesto de investigación
Macías, 2020.

Tabla 17. Recursos empleados

Materiales y Equipos	Recursos humanos
Información bibliográfica, libros, revistas artículos científicos, internet, periódicos, fichas técnicas, resmas, bolígrafos.	Investigador: Fabio Paul Macías Rendón estudiante de la UAE.
Laptop, impresora, grabadora, dispositivo de almacenamiento	Tutor: Ing. Diego Ivan Muñoz Naranjo, Docente de la UAE.

Recursos empleados en la investigación
Macías, 2020

Tabla 18. Azadiractina

Sinónimos	Azadiractina Azadiractina A bioneem NeemAzal Azadiractina-A
Formula molecular	$C_{35} H_{44} O_{16}$
Peso molecular	720,7 g/mol
Masa monoisotópica	720,262935 g/mol
Color y Forma	Polvo microcristalino, verde amarillo
Olor	Fuerte olor a ajo/ Azufre
Punto de fusión	156,5 ° C
Punto de inflamación	> 137 ° F
Solubilidad en agua	0,26 g/L a 25 ° C
Estabilidad/Vida útil	Estable en la oscuridad. 8 días, pH 5, se descompone rápidamente.
Características principales de la azadiractina Macías, 2020	

Tabla 19. Nimbin.

Sinónimos	Nimbina Nimbin 5945-86-8 UNII-N4CTG7K9IU N4CTG7K9IU CHEBI: 67304
Formula molecular	$C_{30} H_{36} O_{09}$
Peso molecular	540.6 g/mol
Masa monoisotópica	540,235933 g/mol
Clase Química	Limonoide
Sabor	Amargo
Punto de fusión	197-199 ° C
Agente	Antiviral.
Concentración	Semillas/Hojas/Corteza
Estabilidad/Vida útil	Estable en la oscuridad, se descompone rápidamente.
Características principales del nimbin Macías, 2020	

Tabla 20. Nimbolide.

Sinónimos	Nimbolide 25990-37-8 NSC309909 NSC 309909 CCRIS 5723	
Formula molecular	$C_{27} H_{30} O_{07}$	
Peso molecular	466.5 g/mol	
Masa monoisotópica	466,199153 g/mol	
Clase Química	Limonoide	
Sabor	Amargo	
Temperatura de almacenamiento	-20°C	
Agente	Antiviral, Antimicrobiano y Anticancerígeno.	
Concentración	Semillas/Hojas/	
Características principales del nimbolide Macías,2020		

Tabla 21. Gedunin.

Sinónimos	Gedunin Gedunine (-) - gedunin 2753-30-2 CHEBI: 65954	
Formula molecular	$C_{28} H_{34} O_{07}$	
Peso molecular	482.9 g/mol	
Masa monoisotópica	482,230453 g/mol	
Clase Química	Limonoide	
Sabor	Amargo	
Solubilidad	10 m/M en etanol	
Agente	Antiviral, Antimicrobiano y Anticancerígeno.	
Concentración	Semillas	
Características principales del gedunin Macías, 2020		

Tabla 22. Catequina

Sinónimos	(-)-Catechin 18829-70-4 Catechin I-form CATECHIN, ALPHA (2S,3R)-2-(3,4-dihydroxyphenyl)chroman-3,5,7-triol
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₄ O ₆
Peso molecular	290,26 g/mol
Masa monoisotópica	482,230453 g/mol
Clase Química	Flavonoide
Sabor	Amargo
Punto de fusión	175 °C
Punto de ebullición	630.4 °C
Punto de inflamación	335 °C
Solubilidad	10 mM (H ₂ O)
Densidad	335 g/ml
Agente	Antiviral, Antioxidante.
Concentración	Semillas.
Características principales de la catequina	
Macías,2020	

Tabla 23. Epicatequina

Sinónimos	(-)-Epicatechin Epicatechin 490-46-0 L-Epicatechin (-)-Epicatechol
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₄ O ₆
Peso molecular	290.27 g/mol
Masa monoisotópica	290.079038g/mol
Clase Química	Flavonoide
Descripción física	Solido
Punto de fusión	240°C
Agente	Antiviral, Antimicrobiano y Antihistamínico, Antioxidante.
Concentración	Semillas/Corteza.
Características principales de la epicatequina	
Macías, 2020	

Tabla 24. Mahmoodin

Sinónimos	17-Glycolyldeoxygedunin Mahmoodin 140163-23-1 ChEMBL488927 DTXSID30930725
Formula molecular	C ₃₀ H ₃₈ O ₈
Peso molecular	526.6 g/mol
Masa monoisotópica	526,256668 g/mol
Clase Química	Limonoides
Punto de inflamabilidad	351,3 ± 31,5 ° C
Punto de ebullición	657,2 ± 55,0 ° C a 760 mmHg
Presión de vapor	0,0 ± 2,1 mmHg a 25 ° C
Agente	Antiviral, Antimicrobiano, Insecticida
Concentración	Semillas/Corteza.
Características principales del mahmoodin	
Macías,2020	

Tabla 25. Ácido Gálico

Sinónimos	Gallic acid 3,4,5-Trihydroxybenzoic acid 149-91-7 gallate Benzoic acid, 3,4,5-trihydroxy-
Formula molecular	C ₇ H ₆ O ₅
Peso molecular	170,12g/mol
Masa monoisotópica	170.021523 g/mol
Clase Química	Ácidos fenólicos
Color	Blanco/Ligeramente amarillos
Olor	Inodoro
Punto de fusión	251 ° C
Punto de inflamabilidad	271 ° C
Punto de ebullición	501,1 ° C
Presión de vapor	0,0 ± 2,1 mmHg a 25 ° C
Solubilidad	Etano/Acetona/ Agua (11,5 mg / ml)
Agente	Antiviral, Antimicrobiano/Antifúngico.
Concentración	Semillas/Corteza.
Características principales del ácido gálico	
Macías, 2020	

Tabla 26. Salannin.

Sinónimos	Salannin Azadiractina 992-20-1 Salannin Extracto de neem
Formula molecular	$C_{34} H_{44} O_9$
Peso molecular	596,7/mol
Masa monoisotópica	596,298533 g/mol
Clase Química	Limonoides
Color	Blanco/Ligeramente amarillo
Sabor/Olor	Amargo/Azufre
Punto de fusión	153,5 ° C
Punto de inflamabilidad	> 120 ° F
Solubilidad	Etano/Acetona
Agente	Antiviral, Antimicrobiano/Insecticida.
Concentración	Semillas/Corteza.
Características principales del salannin	
Macías, 2020	

Tabla 27. Meliantriol.

Sinónimos	Meliantriol CHEBI:80723 C16783 Q27149767
Formula molecular	$C_{30}H_{50} O_5$
Peso molecular	490.7 g/mol
Masa monoisotópica	490,365825 g/mol
Clase Química	Limonoides
Color	Blanco/Ligeramente amarillo
Sabor	Amargo
Punto de ebullición	620,6 ± 55,0 ° C a 760 mmHg
Punto de inflamabilidad	329,1 ± 31,5 ° C
Presión de vapor	0,0 ± 4,1 mmHg a 25 ° C
Agente	Antiviral, Antimicrobiano/Insecticida.
Concentración	Semillas/Aceite.
Características principales del meliantriol	
Macías, 2020	

Peso estimado de dosificación por m³ de la laguna de oxidación las Orquideas:

$$(0,02t * 21\ 822\ m^3)/1m^3 = 436,44\ t$$

Media de biomasa de un árbol de neem:

$$(10 + 100)/2 = 55\ t$$

Peso estimado de un árbol por peso el 50% del peso en hojas

$$(55\ t * 50t)/100 = 27,5\ t$$

Peso estimado de un árbol de neem por el 25% aprovechable como hojas secas o polvo de neem.

$$(27,5t * 25)/100 = 6,87\ t$$

Costo estimado de un árbol de neem en cinco años

$$30\ 162\ costo\ total/850\ arboles = 35,48\ c/u$$

Peso de toneladas de hojas y polvo de neem generadas por hectárea

$$850 * 27,5 = 23\ 375\ t\ de\ hojas$$

$$(23\ 375\ t * 25)/100 = 5\ 847,75\ t$$

Peso de toneladas de polvo de hojas de neem dividido para la dosificación por laguna de oxidación

$$5\ 843,75/436,44 = 13,38\ Lagunas\ de\ Oxidación$$

Lagunas de oxidación por m³de La oxidación de las Orquideas

$$13,38 * 21\ 822\ m^3 = 291\ 978,36\ m^3\ totales$$

Árboles de neem para tratar la Laguna de oxidación Las Orquideas y su costo

$$436.44\ t / 6.87\ t = 63.52. \quad | \quad 63.52 * 35.48 = 2\ 253.68\ USD.$$

Figura 6. Fórmulas utilizadas en la propuesta de reducción de coliformes fecales.
Macías, 2020

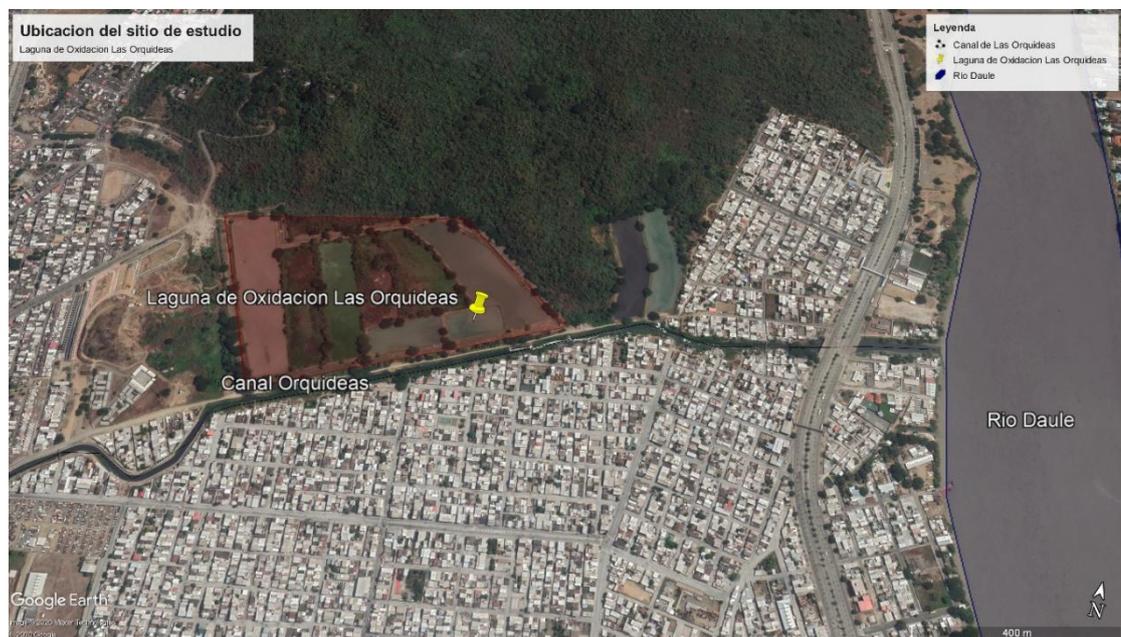


Figura 7. Ubicación de la Laguna de Oxidación Las Orquideas
Macías, 2020

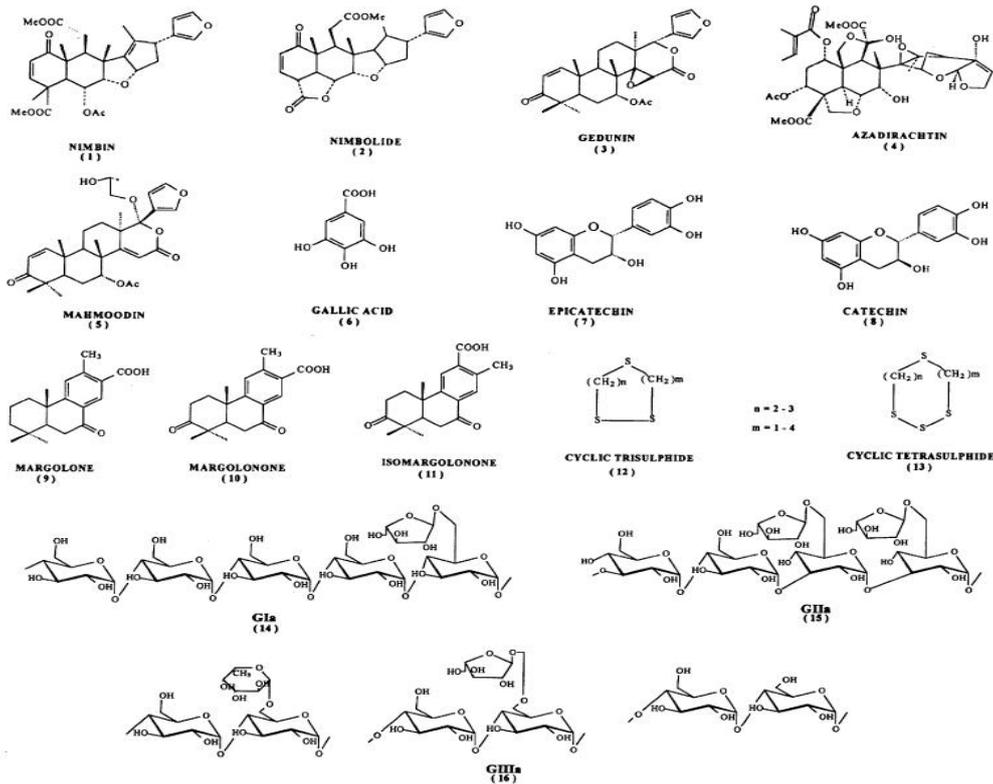


Figura 8. Compuestos bioactivos del neem. Macías, 2020

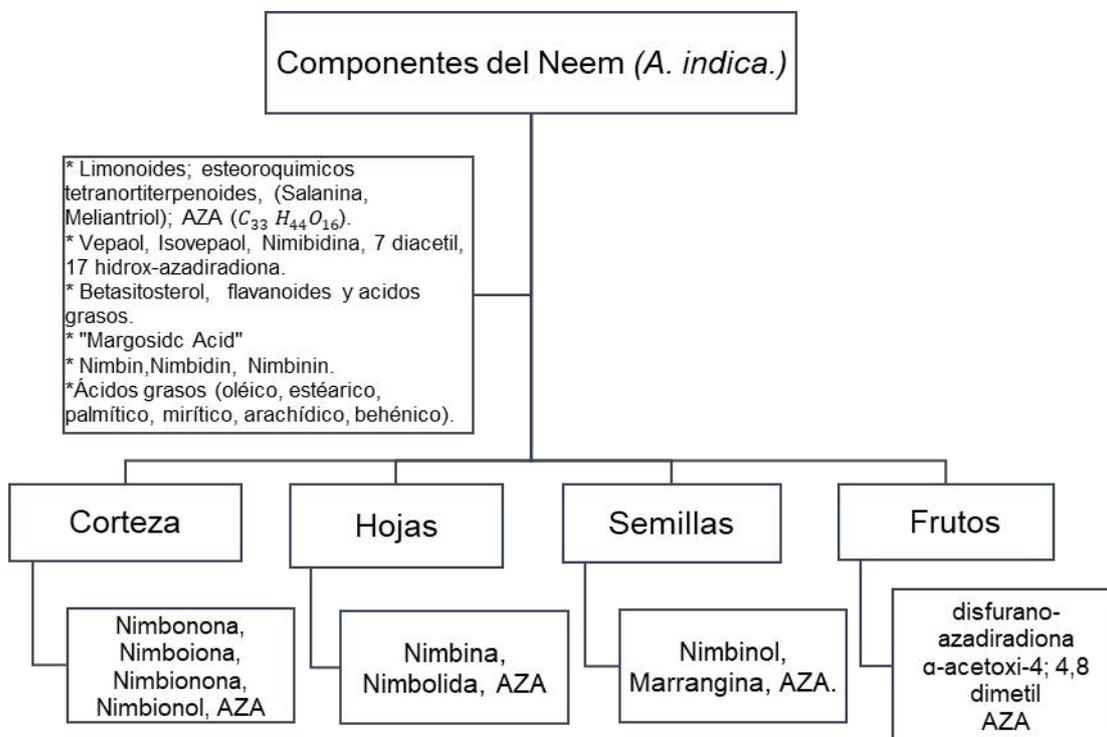


Figura 9. Compuestos químicos del neem. Biswas et al, 2002

Bacteria	Virus	Protozos	Helmitos
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Bacteroides fragilis</i> • <i>Bifidobacterium longuan</i> • <i>Campylobacter jerovi</i> • <i>E. coli</i> • <i>Eubacterium spp.</i> • <i>Fecal Coliforms</i> • <i>Helicobacter pylori</i> • <i>Lactobacilli</i> • <i>Legionella pnemophilia</i> • <i>Leptospira</i> • <i>Peptococcus spp.</i> • <i>Peptostresptococcus spp.</i> • <i>Pseudomonas aeruginosa</i> • <i>Salmonella typhi</i> • <i>S. paratypho</i> • <i>S. duruns</i> • <i>Vibrio cholerae</i> • <i>S equines</i> • <i>S faecalis</i> • <i>S faecitan</i> • <i>Other virbrios</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Adenoviruses</i> • <i>Coxsackieviruses</i> • <i>Coronavirus</i> • <i>Echoviruses</i> • <i>Hepatitis A virus</i> • <i>H. E virus</i> • <i>H. F. virus</i> • <i>Polioviruses</i> • <i>Reoviruses</i> • <i>Rotaviruses</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Balantidium coli</i> • <i>Cryptosporidium parvum</i> • <i>Cyclospora cayetanennis</i> • <i>Encephalitozoon hellem</i> • <i>Entamoeba histolytica</i> • <i>Enterocytozombienusi</i> • <i>Giardia Lmablia</i> • <i>Neagleria</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aneylostoma duodenale</i> • <i>Necator americanius</i> • <i>Acscaris lumbricoides</i> • <i>Clonorchis sinensis</i> • <i>Dilpohyllobothrium latum</i> • <i>Enerobius termicularis</i> • <i>Hymenolepsis spp.</i> • <i>S. mansoni</i> • <i>Strongyloides stercoralis</i> • <i>Taenia saginata</i> • <i>T. solium</i> • <i>Trichuris trchiura</i>

Figura 10. Microorganismo patógenos presentes en el agua residual domestica

Total Coliform, Fecal Coliform and E.coli

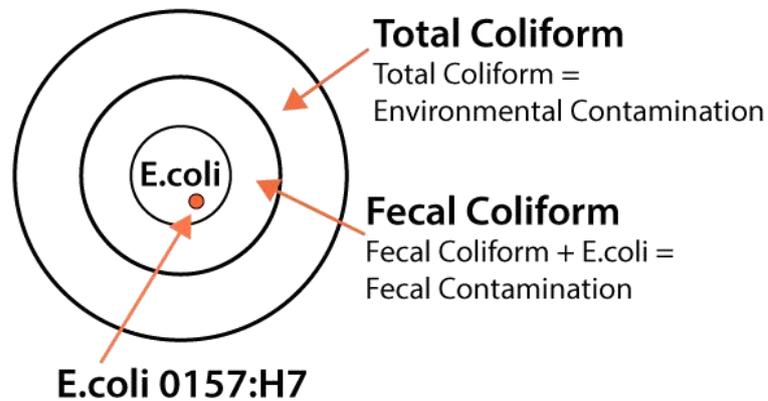


Figura 11. Mapa jerárquico de los coliformes. WSDOH, 2020

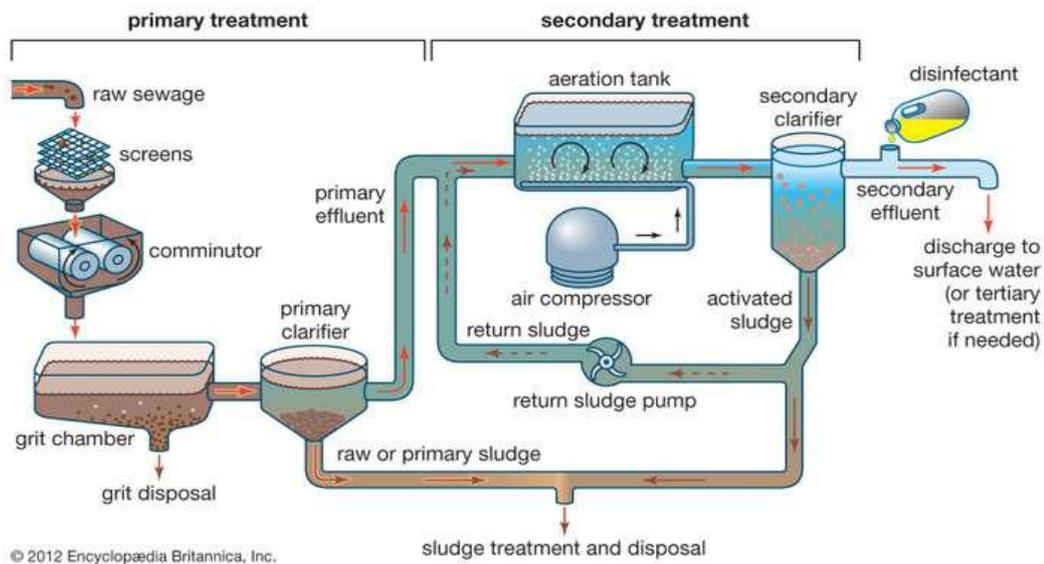


Figura 12. Etapas del tratamiento de las aguas residuales domésticas
Nathanson y Ambulkar, 2019

Azadiractina

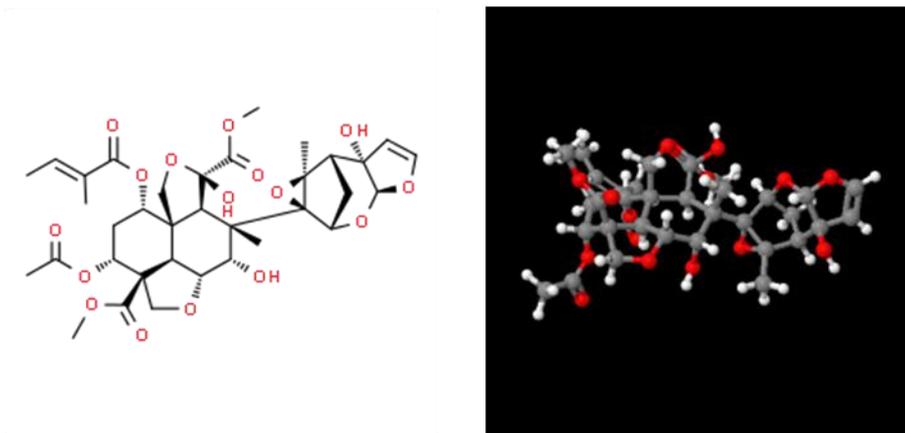


Figura 13. Estructura química de la azadiractina.
ChEMBL, 2020

Nimbin

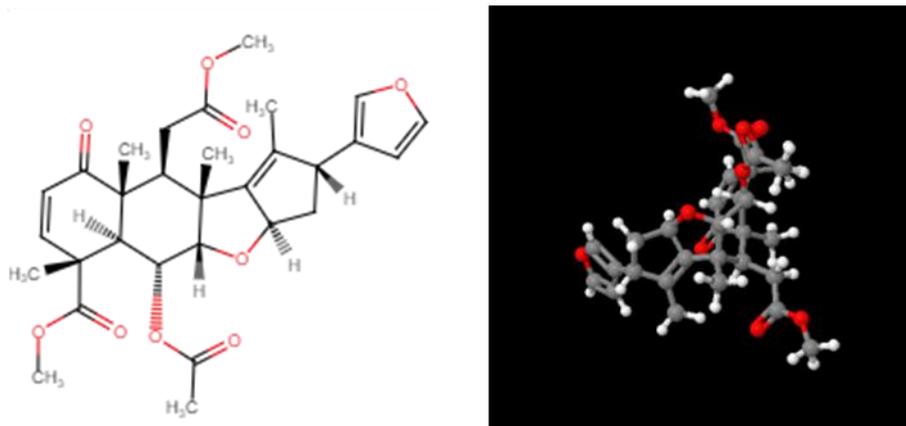


Figura 14. Estructura química del nimbin
CHEMBL, 2020

Nimbolide

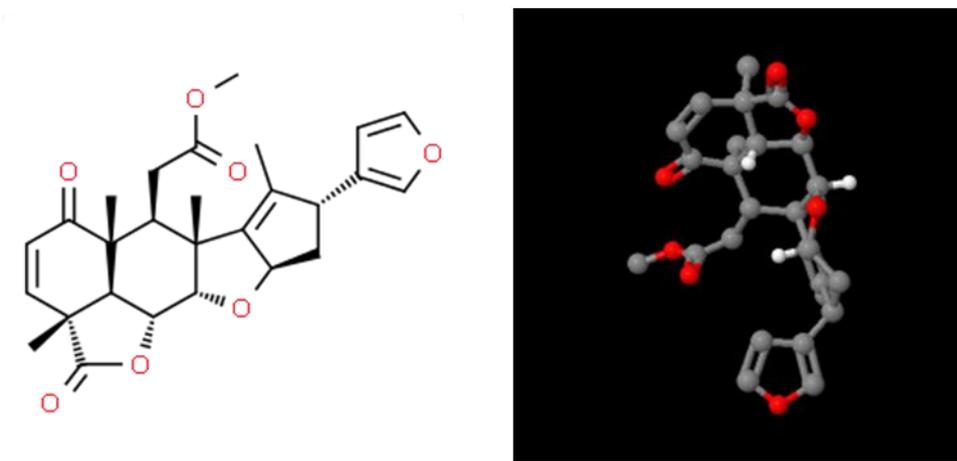


Figura 15. Estructura química del nimbolide
CHEMBL, 2020

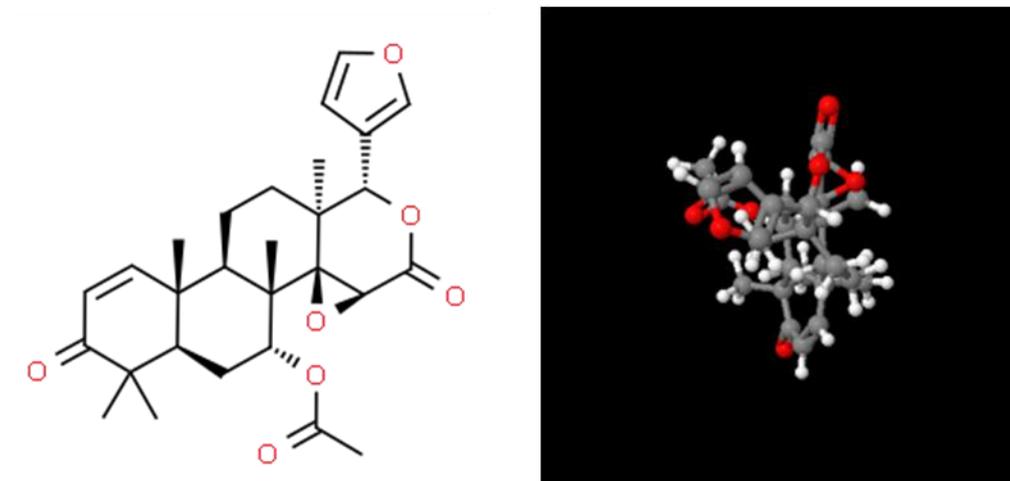
Gedunin

Figura 16. Estructura química del gedunin
CHEMBL, 2020

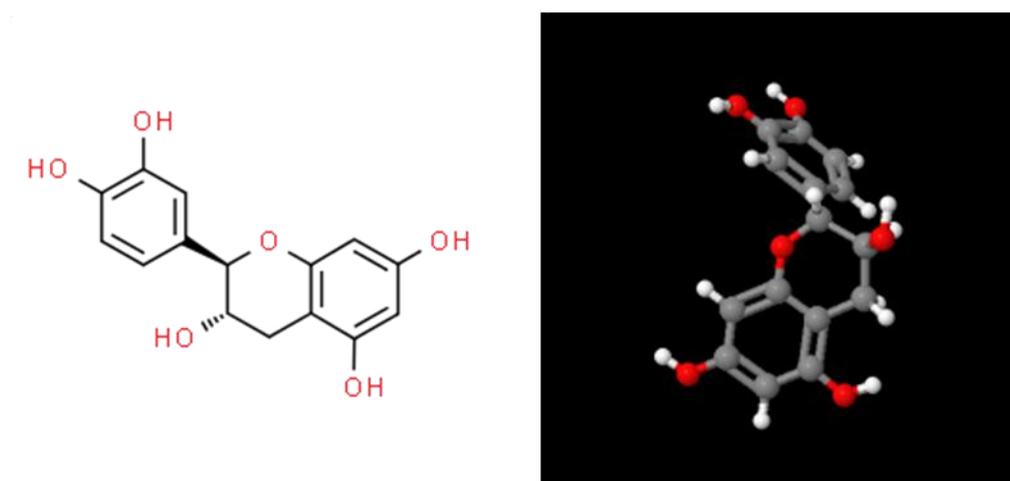
Catequina

Figura 17. Estructura química de la catequina
CHEMBL, 2020 PubChem, 2020

Epicatequina

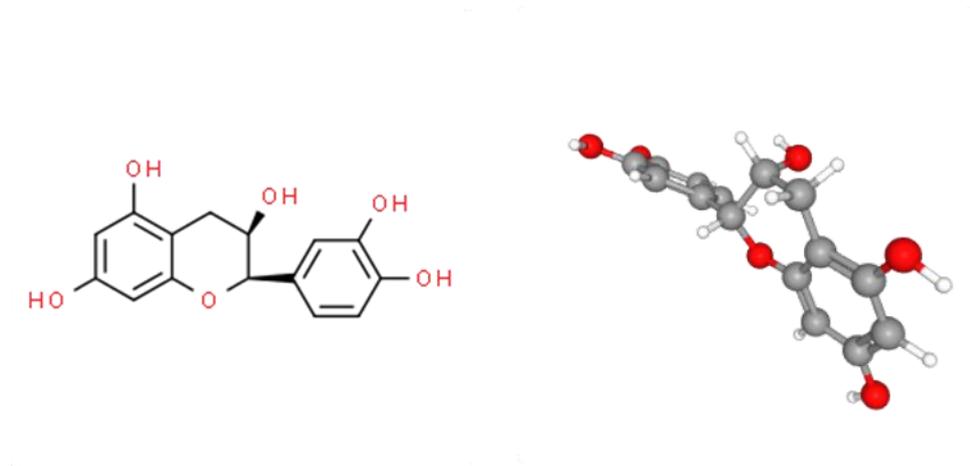


Figura 18. Estructura química de la épicatequina
PubChem, 2020

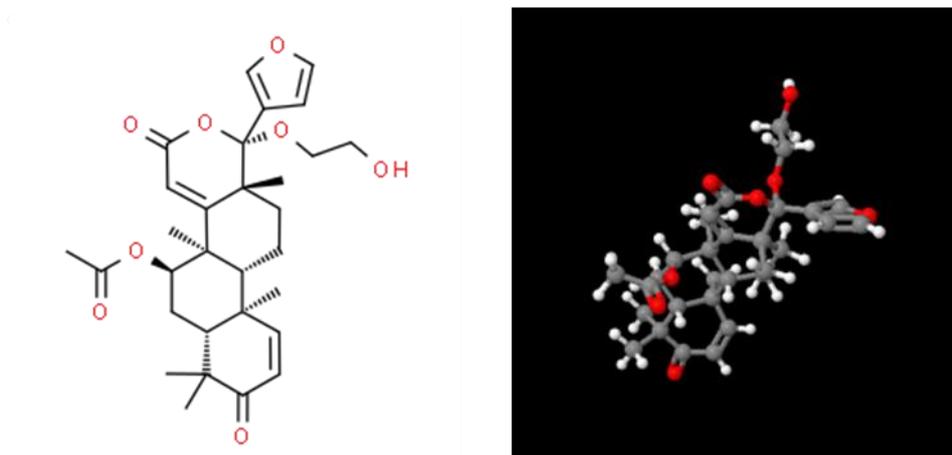


Figura 19. Estructura química del mahmoodin
PubChem, 2020

Ácido Gálico

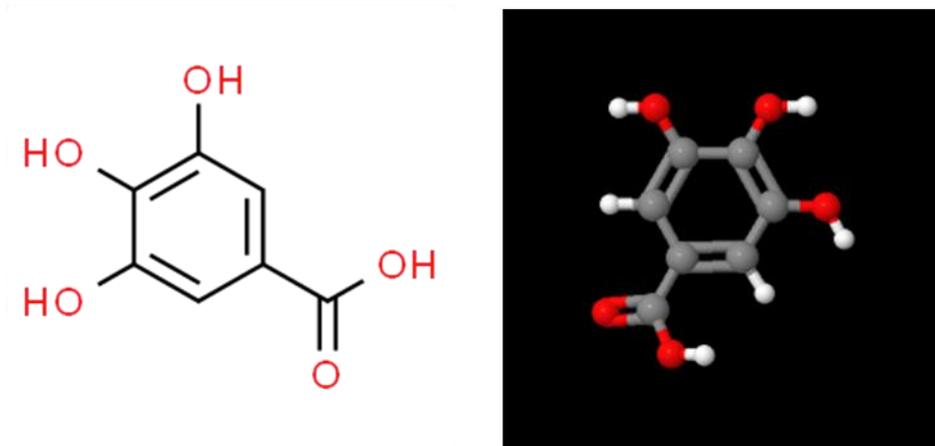


Figura 20. Estructura química del ácido gálico
PubChem, 2020

Salannin

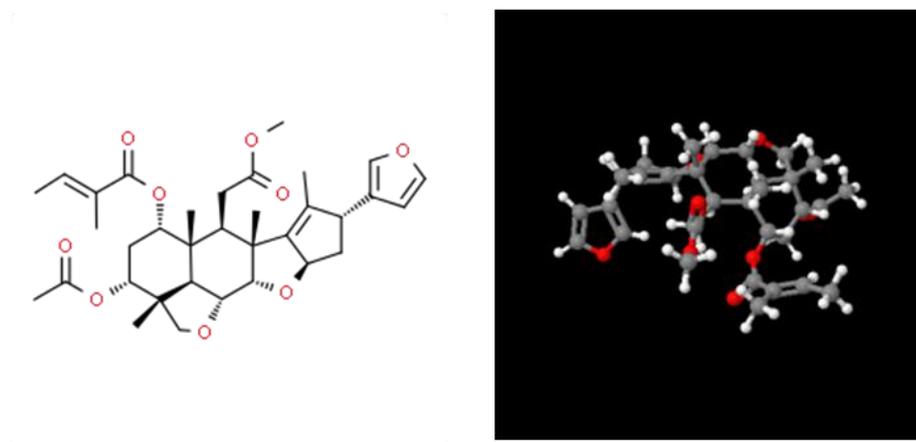


Figura 21. Estructura química del salannin
PubChem, 2020

Melianriol

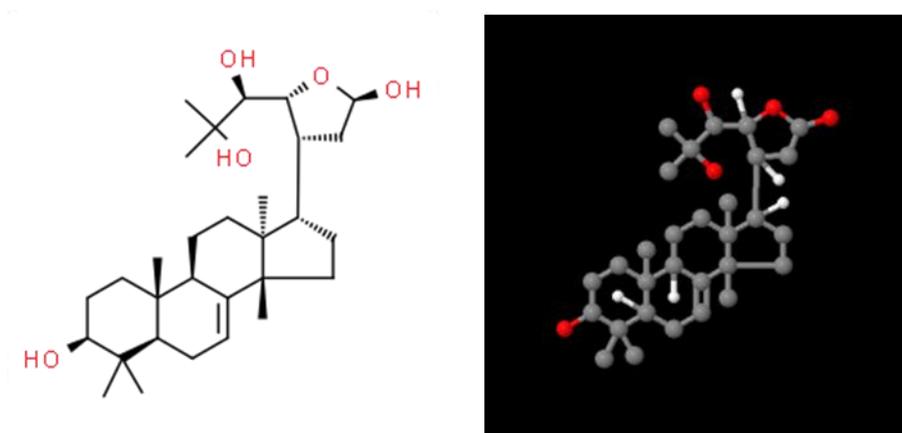


Figura 22. Estructura química del melianriol
PubChem, 2020


 Ministry of Regional Municipalities
 & Water Resources
 Directorate General of Regional
 Municipalities And Water Resources
 Al – Dhahirah governorate
 Ibri Laboratory

Results of Wastewater Analysis

Date Sampled : 20/2/2017
Date Analysis : 20/2/2017

Ministerial Decree No.. 145/93 (Wastewater Standards)

LABORATORY TESTS	
Sample Details	Ibri School for Basic Education
Source	Wastewater
Total dissolved solid(mg/ l)	1096
Electrical Conductivity (micro s/cm)	2425-standard(2000-2700)
Total Coliform (MPN/ 100 ml)	<i>Escherichia Coli</i> (MPN/ 100 ml)
	>2419.6
Final Result	Sample has failed
Remarks	The Sample was collected by the School for project

Analysts : Suad Al-Moqbali

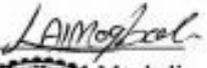
Head of the Lab: 
 Lama A. Moqbali



Figura 23. Test de laboratorio inicial del agua residual tratada con
 Neem
 Salim, Abdullah, y Hassan, (2017)


 Ministry of Regional Municipalities & Water Resources
 Directorate General of Regional Municipalities And Water Resources
 Al - Dhahirah governorate
 Ibri Laboratory

Results of Wastewater Analysis

Date Sampled : 20/2/2017
Date Analysis : 20/2/2017

Ministerial Decree No.. 145/93 (Wastewater Standards)

LABORATORY TESTS	
Sample Details	Ibri School for Basic Education
Source	Wastewater with Neem Powder 2grams
Total dissolved solid(mg/ l)	1316
Electrical Conductivity (micro s/cm)	2404-standard(2000-2700)
Total Coliform (MPN/ 100 ml)	<i>Escherichia Coli</i> (MPN/ 100 ml)
	0
Final Result	Sample Classified into Group (A) in Wastewater Standard
Remarks	The Sample was collected by the School for project

Analysts : Suad Al-Moqbali

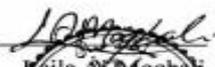
Head of the Lab: 


Figura 24. Test de laboratorio final del agua residual tratada con Neem
 Salim, Abdullah, y Hassan, (2017)

TABLA 9. 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 ⁻²	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

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Figura 25. Límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce reforma al tulsma. Acuerdo ministerial 097. 2015