



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE ECONOMÍA
MAESTRÍA EN ECONOMÍA CIRCULAR

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del título
de Magister en Economía Circular**

***Tratamiento Biológico De Aguas Residuales en la Zona Norte
Del Cantón Ambato Provincia de Tungurahua.***

Adriana Vanessa Gavilanez Cartagena
adry_1996g@hotmail.com

Director: Pablo Ramiro Chafra Martínez
pchafra328@puce.edu.ec

Quito, octubre de 2023

Resumen

Una economía circular, basada en sus principios de reducir, reutilizar, reparar y reciclar, busca minimizar la contaminación y sobreexplotación de los recursos para reducir el impacto ambiental generando beneficios para la sociedad. En este contexto, el presente proyecto ha sido desarrollado con la finalidad de abordar la problemática de generación de aguas residuales sin tratamiento para minimizar el consumo excesivo de los recursos hídricos. La importancia de la presente investigación radica en la necesidad de implementar alternativas innovadoras con la implementación de una planta de tratamiento biológico para aguas residuales, dado que un proceso ineficiente de agua puede generar externalidades negativas para la comunidad, en el ámbito de salud pública y medio ambiente. Para alcanzar los objetivos, se desarrolló una metodología de investigación de tipo documental – descriptiva que contuvo el análisis de estudios de caso, revisión de literatura existente y consulta de fuentes bibliográficas.

Asimismo, analizando los avances de la economía circular y sus principios, han servido de base para buscar alternativas que permitan reducir la dependencia de los recursos finitos y su regeneración. Además, se utilizó la metodología de marco lógico que contribuyó una estructura sistemática y sólida en la planificación de acciones. Los datos utilizados han sido tomados de bases de datos actualizadas y confiables, como informes estatales y artículos científicos. Como resultado del proyecto, se han identificado las alternativas más viables para la implementación del tratamiento biológico de aguas residuales para la zona norte del Cantón Ambato. Estas alternativas brindan beneficios económicos, sociales y ambientales aportando a la reutilización, ahorro del recurso hídrico, y la mejora de la calidad de vida de la comunidad promoviendo la sostenibilidad.

Palabras clave: Economía circular, sobreexplotación, contaminación, tratamiento biológico, calidad de vida.

ÍNDICE

Resumen	2
Introducción	6
Planteamiento del Problema	7
Objetivos.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Metodología y datos.....	12
Marco referencial.....	12
Metodología	14
Capítulo 1: Análisis situación actual de las condiciones de los recursos hídricos en la zona norte del Cantón Ambato.	16
1.1. Análisis de involucrados.....	16
1.2. Identificación de fuentes de generación de aguas residuales	18
1.3. Evaluación de sistemas existentes y plantas de tratamiento de aguas residuales	19
1.4. Análisis del problema en la zona norte del Cantón Ambato	19
1.5. Análisis de objetivos para el Cantón Ambato	20
Capítulo 2: Propuesta de alternativa de aprovechamiento y tratamiento biológico de aguas residuales basada en principios de economía circular.	21
2.1. Análisis de alternativas de tratamiento de aguas residuales	21
2.1.1. Estudios de caso	22
Caso 1: Isla Isabela, Galápagos Ecuador	22
Caso 2: Ciudad Otavalo, Imbabura Ecuador	22
Caso 3: Bogotá, Colombia	23
Caso 4: Comunidad Charcay, Cañar Ecuador	23
Caso 5: Elche, España.....	23
2.1.2. Alternativas de tratamiento de aguas residuales.....	23
Reutilización de agua.....	24
Generación de energía	24
Generación de calor y frío.....	24
Aprovechamiento del metano y cogeneración de energía eléctrica.....	24
Otras formas de generación de energía eléctrica.....	25
Extracción de nutrientes.....	25
2.2. Identificación de alternativas viables para el Cantón Ambato.....	25

Reutilización del agua para riego agrícola.....	25
Extracción de nutrientes para la agricultura	26
2.3. Matriz de Marco Lógico.....	26
2.4. Mapeo de riesgos y barreras para la implementación	28
2.5. EDT (Estructura de Descomposición del trabajo)	28
2.6. Presupuesto Referencial	30
2.7. Cronograma propuesto.....	31
Conclusiones y Recomendaciones	33
Conclusiones.....	33
Recomendaciones.....	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

Índice de figuras

Figura 1. Programa de prevención de cuerpos de agua.....	14
Figura 2. Árbol de problemas de gestión integral de recursos hídricos zona norte Cantón Ambato	20
Figura 3. Árbol de objetivos gestión integral de recursos hídricos zona norte Cantón Ambato ..	21
Figura 4. EDT (Estructura de Descomposición del trabajo)	29
Figura 5. Descripción Gráfica de Planta de Tratamiento Biológico	29
Figura 6. Distribución de la población por rama de actividad del Cantón Ambato	30
Figura 7. Presupuesto Referencial	31
Figura 8. Cronograma propuesto	32

Índice de tablas

Tabla 1. Actores involucrados en los recursos hídricos.....	17
Tabla 2. Actores involucrados	17
Tabla 3. Marco de gestión de aguas residuales desde una perspectiva de recursos	26
Tabla 4. MML alternativas de gestión aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato...27	
Tabla 5. Mapeo de riesgos y barreras alternativas de gestión de aguas residuales	28

Introducción

El agua es sin duda un claro ejemplo de circularidad, en los últimos cien años la actividad humana la empieza a dificultar comprometiendo no sólo el bienestar futuro, sino también la preservación del mundo debido a que genera problemas de salud. Lo más preocupante para la Organización de las Naciones Unidas (ONU) son los problemas de salud generados por el consumo de agua que provocan el deceso de 3,4 millones de individuos anualmente, gran porcentaje pertenece a la población con edad inferior a los 5 años (Simón, 2017). Avances materializados en los que Ecuador es signatario como: el objetivo 6.1 fomentan desde la actualidad al 2030 alcanzar el acceso global y justo a agua potabilizada a un costo accesible, asimismo el objetivo 6.2 plantea para el 2030 alcanzar el acceso a los servicios de depuración y cuidado apropiados, fomentan asegurar la reserva de agua, la administración sustentable y su depuración apropiada apta para la humanidad en el objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2023).

Del mismo modo, los efectos del cambio climático en todo el mundo son notables, generando efectos negativos que afectarán no sólo al presente sino también al futuro, por lo que se proponen medidas de mitigación y adaptación para poder frenarlo. Estas medidas son consideradas estrategias claves para enfrentar el cambio climático a nivel mundial, por otro lado, desde las perspectivas de la economía circular y economía del agua también se puede hacer frente a las externalidades negativas que se generan. En este sentido, la relación entre el cambio climático y la economía circular es indiscutible y clara, con aplicación de principios que impulsa el enfoque circular y que facilita el proceso de transición de la economía lineal en el desperdicio de recursos naturales escasos, hacia una nueva visión de economía que sabe que existen límites en la explotación de los recursos naturales y su escasez, sin duda esto contribuye a alcanzar los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático en todos los países y para el caso de Ecuador (Chafra, 2022).

Ecuador, así como los demás territorios de Latinoamérica, los recursos hídricos como ríos, lagos y océanos recogen diversos tipos de aguas residuales, por lo que en la actualidad el 70% de ríos del Ecuador están gravemente contaminados, especialmente los de las ciudades centrales del país. De manera similar, aún no se han implementado mejoras oportunas y adecuadas en el tratamiento de aguas residuales en ciudades de tamaño mediano como Ambato (Ortiz, et al., 2021).

Las principales fuentes de contaminación del agua son los vertidos de aguas residuales de las zonas urbanas, la agricultura, la minería, los procesos manufactureros y, en algunos casos, la falta de instalaciones sanitarias. (Pico, 2022).

Estas aguas residuales que son creadas por el consumo humano y las actividades comerciales en las ciudades, son una opción para regiones semiáridas donde los recursos son escasos, al ser una fuente de agua para cultivos debido a la gran cantidad de materia orgánica que contribuyen a aumentar la fertilidad del suelo. (Pico, 2022).

En base a lo anterior, el objetivo principal de la implementación del tratamiento biológico de aguas residuales en el Cantón Ambato es eliminar la contaminación del agua, reducir el consumo de

agua cruda, reutilizar el recurso y aprovechar los residuos obtenidos luego de su tratamiento. El tratamiento biológico, también conocido como humedales artificiales, es un sistema de tratamiento de agua residual, en el que se siembran plantas acuáticas que a través de procesos naturales tratan el agua residual, eliminando su nivel de contaminación por completo, este método no requiere el uso de agua ni productos químicos, lo que la transforma en una elección de bajo costo, sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Frers, 2008).

De igual forma, se va a examinar alternativas existentes para el tratamiento de aguas residuales enfocándose en los beneficios de la reducción, reutilización y aprovechamiento del recurso hídrico en el sector agrícola a través de enfoques de economía circular, resguardando el uso de los recursos naturales, maximizando su aprovechamiento y reutilización.

Planteamiento del Problema

Para Mendoza et al. (2021) con el desarrollo de la dinámica demográfica, la ciencia, y tecnología la humanidad no ha ejecutado los trabajos idóneos para proteger de manera sostenible los recursos naturales como el agua, que son fundamentales y vitales para todas las formas de vida, pero cada día existe mínima cantidad de recursos hídricos en forma saludable. Por tanto, estas aguas tienen alto valor, desde el punto de vista económico y ambiental.

Actualmente, aproximadamente el 80% de las aguas residuales se eliminan sin tratar mismas que posteriormente se utilizan para riego agrario, simbolizando evidentes problemas de salud (debido a la presencia de elementos patógenos y tóxicos). La agricultura es el mayor usuario de agua, y representa el 70% de las extracciones anuales de agua del mundo principalmente para procesar alimentos, textiles y productos agropecuarios (Mendoza, et al., 2021).

Debido a la forma en que se trata la mayor parte de las aguas residuales, convierte este recurso hídrico de riego en una fuente viable de diversos problemas (salud, contaminación del suelo, agua subterránea, entre otros) (Delgadillo, et al., 2010).

Para Aguilar y Cubas (2021), el uso de aguas residuales en la agricultura es una iniciativa cada vez más utilizada en todo el mundo, el agua es un recurso valioso y escaso, pero se deben cumplir ciertas condiciones para que la calidad de los productos obtenidos con su uso no se vea comprometida, en virtud que el riego con agua contaminada en alimentos es muy peligroso para el hombre y para los suelos.

Siendo así que, su uso sin un tratamiento previo puede originar problemas ambientales y de salud pública debido a la alta salinidad y contaminación por metales pesados y presencia de microorganismos patógenos que afectan el cuerpo humano (Zamora, et al., 2008).

Asimismo, Aguilar y Cubas (2021), señalan que la contaminación de productos agrícolas como verduras y hortalizas por el uso de riego de aguas residuales en su producción está creando afectaciones en su mayoría, por la omisión de políticas públicas de los gobernantes que deben cuidar por que se utilicen solo aguas aptas para el riego, proporcionar infraestructura adecuada

para uso y tratamiento de aguas servidas. Los agricultores con desconocimiento o irresponsabilidad utilizan estas aguas por lo que no observan normas sanitarias que contienen los productos.

Según Zamora, et al., (2008), la utilización de aguas residuales en la agricultura, incrementa la incorporación de materias orgánicas y nutritivas al suelo lo que ayuda a conservar y aumentar su productividad, sin embargo, puede causar efectos ambientales perjudiciales que degradan la propiedad del suelo si no son tratadas.

En la misma línea se menciona que hay tres tipos de contaminantes, los químicos, físicos y biológicos, los contaminantes químicos son sustancias que cambian la composición química del agua o reaccionan con ella, los contaminantes biológicos son organismos o microorganismos que causan perjuicios o se presentan en grandes cantidades como plagas, lirios acuáticos que se propagan rápidamente. Por último, los contaminantes físicos son sustancias que no reaccionan con el agua, pero que son perjudiciales para la vida y los ecosistemas (Zamora, et al., 2008).

Desde un estudio de Delgadillo, et al., (2010), la disposición final de aguas residuales producidas por diversas actividades humanas (especialmente doméstica e industrial) simboliza una complicación que está en constante incremento, es decir, las aguas residuales se han convertido en una importante fuente alternativa de agua para el riego de cultivos. Por otro lado, utilizarlo con este fin, sin el tratamiento apropiado, puede acarrear problemas mayores, por todos los riesgos, como casos de brotes de enfermedades.

Mencionando a Ortiz, et al., (2021) , la calidad del tratamiento de aguas residuales, es muy importante para salvaguardar el medio ambiente y la conservación de la vida en el mundo.

Normalmente existen diferentes técnicas para eliminar contaminantes de las aguas residuales que se utilizan en muchas partes del mundo y en Ecuador, en fases de tratamientos primarios, secundarios y/o terciarios (Villacís, 2011).

Por una parte, la fase primaria radica en almacenar temporalmente las aguas residuales en un tanque de retención, en donde los sólidos más pesados se asientan en el fondo mientras que la grasa, aceite y sólidos más ligeros suben a la superficie. Por otro lado, la fase secundaria elimina material biológico disuelto y suspendido, y puede requerir un proceso de separación para descartar microorganismos del agua que ya ha sido tratada antes de su liberación o proceso terciario. Y por último, la fase terciaria cumple con más parámetros que los dos anteriores, ya que el agua se desinfecta removiendo materia inorgánica antes de ser vertida a los arroyos (río, lagunas, otros) y es utilizada para el regadío de sembradíos o desecho, acorde parámetros descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 052, es apta para consumo humano cuando sus características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas y modificadas. (Floramis, et al., 2016).

Raveh y Ben-Gal (2016) indican que una gestión cuidadosa de las aguas residuales logra disminuir el uso de fertilizantes reduciendo así los costos ambientales y económicos, además de minimizar el contenido de sustancias tóxicas como los metales pesados, que pueden causar problemas en la producción agrícola.

En la actualidad, el tratamiento y utilización de aguas residuales siempre ha sido un desafío para los agricultores, ya que es la única alternativa. Estas aguas son, por tanto, un recurso valioso desde el punto de vista económico y ambiental basado en los principios de economía circular eliminando los niveles de contaminación, convirtiendo en circular los recursos hídricos en su valor más alto, preservando y regenerando las fuentes hídricas (Raveh & Ben-Gal, 2016).

Sin embargo, el Cantón Ambato carece de estrategias y tecnologías apropiadas para cumplir con los criterios establecidos por el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (Emapa), entidad reguladora para estos fines (Ortiz, et al., 2021).

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato (GADMA), la cuenca del Río Ambato sufre ciertos niveles de contaminación, especialmente por la descarga de aguas servidas domésticas sin tratamiento, y de procesos industriales, así como por los vertimientos clandestinos de residuos sólidos en las orillas y vertientes. El 90% de las zonas urbanas vierte aguas residuales al Río Ambato sin ningún tipo de tratamiento, generando problemas a la producción agrícola principalmente en las hortalizas (GADMA, 2023).

Como las actividades industriales tienen lugar en zonas urbanas, las aguas residuales industriales y las urbanas se mezclan en los ríos. En el Cantón Ambato se ubican el 45% de las industrias de curtidurías, textiles, lácteos, parque industrial y camal más contaminantes (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2014).

Para el caso ecuatoriano, a través del Anteproyecto de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua en el artículo 43, se sientan bases legales que relatan los parámetros a cumplir para la autorización de uso y aprovechamiento condicionado en la reutilización de agua. La Autoridad Única del Agua no otorgará permiso para el uso o aprovechamiento productivo de aguas residuales si impide o afecta la ejecución de proyectos de salud pública o no cumple con los estándares de la normativa de uso correspondiente. Así como aquellos que no estén basados en los principios de economía circular (MAATE, 2022).

Es importante resaltar además, las acciones sentadas en el libro blanco de economía circular por el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca MPCEIP (2021), que se encuentran propuestas a largo plazo (2031-2035), donde se establecen metas de Responsabilidad Extendida del Productor e Importador (REP), para permitir la recuperación de fosfatos del tratamiento de aguas residuales, como oportunidad de desarrollo de una industria local de biofertilizantes, alcanzando un capacidad de producción de fertilizantes de calidad con capacidad competitiva sustituyendo a la importación de los mismos, impulsando por medio de la Responsabilidad Extendida del Productor e Importador (REP) a los grandes productores agrícolas, lo que originaría un incremento en la depuración de aguas sin tratar.

Bajo esta línea, existe como referencia el caso Español con su Ley de Aguas en el Capítulo III, artículo 109, que aborda bases legales que sirven como referencia en la reutilización de aguas depuradas, donde la administración pública como medio para promover la economía circular y reforzar la adaptación al cambio climático, impulsa la reutilización dotando los instrumentos económicos que considera adecuados, a más de ello, podrá conceder ayudas al concesionario de aguas regeneradas, en su Artículo 110 hace énfasis a incentivos para actividades que

mejoren la calidad del agua, estos podrían alcanzar la totalidad de los costos adicionales asociados a la reutilización de aguas residuales, normativa que se menciona en el Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática (MPR, 2023).

Por último, resulta oportuno describir el Código de Aguas Normativa Autonómica del Boletín Oficial del Estado BOE (2023), en su Ley de regulación del Impuesto de Contaminación de Aguas Residuales (ICA), mediante este impuesto los españoles han contribuido paulatinamente desde el año 2002 a los costos para los servicios de ciclo del agua, gastos de inversión y explotación de sistemas de saneamiento y depuración, incentivando al ahorro del agua, exigiendo medidas de prevención y calidad de agua bajo principios de recuperación de los costos relacionados con el agua y de quién contamina paga.

De este modo, lo que antecede se puede tomar como referente para aplicarse en el Cantón Ambato, donde gran porcentaje de la actividad agraria que es desarrollada utiliza tierras que disponen de riego, alrededor de 22.326 son cultivos de hortalizas, maíz suave, papa y pastizales. Estos en su mayoría se sitúan en las parroquias de : Montalvo, Huachi Grande, Santa Rosa, Juan Benigno Vela, Pilahuín, Cunchibamba, Unamuncho, Atahualpa e Izamba (GADMA, 2023) .

Siendo así que, no sólo el sector agrícola es afectado por el deficiente tratamiento de aguas residuales que se desarrolla en la ciudad, provocando no sólo contaminación al medioambiente y pérdidas económicas, sino generando enfermedades en la salud de la población que la consume (Villacís, 2011).

De esta manera el río Ambato como un entorno considerablemente sensible, no puede soportar semejante nivel de contaminación. Por lo tanto, es de gran importancia la instauración de un sistema de Purificación de Aguas Residuales. La liberación de las aguas residuales de las zonas de Atahualpa, Martínez e Izamba, carece de una instalación de planta de tratamiento, lo que hace necesario desarrollar investigaciones y proyectos para su implementación, lo que reducirá en gran medida los microorganismos que albergan las aguas residuales que son responsables de enfermedades infecciosas como la hepatitis, gastroenteritis, disentería, cólera y diversas otras afecciones que afectan especialmente a los más vulnerables, como los niños (Villacís, 2011).

La finalidad y relevancia de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales se encuentran en la depuración de las aguas contaminadas con el propósito de preservar el entorno natural y facilitar un incremento en la disponibilidad de este recurso (Pico, 2022).

Es por ello, que Delgadillo, et al., (2010), proponen un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales que presenta ventajas en comparación con otras alternativas de tratamiento. Esto se debe a que requiere poco o ningún consumo de energía para su funcionamiento, siempre y cuando haya suficiente terreno económico disponible en las cercanías de la ubicación de los humedales de cultivo acuático. Esto podría ser una opción rentable, además de proporcionar un hábitat para la vida silvestre y tener un aspecto visualmente agradable. Adicionalmente, los humedales artificiales eliminan contaminantes a través de múltiples procesos que incluyen, sedimentación, descomposición microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización. En consecuencia, estos procesos pueden reemplazar no sólo el

tratamiento secundario, sino incluso, en ciertas condiciones el tratamiento terciario y primario de las aguas residuales.

Otro aspecto importante radica en los beneficios para la agricultura, dado que el caudal tratado podrá ser empleado en el cultivo de productos agrícolas, además de su utilización en la cría de animales acuáticos (Villacís, 2011).

Al ser una alternativa exitosa y de bajo costo, el tratamiento biológico de aguas residuales está vinculado directamente con los fundamentos de economía circular porque permite la posibilidad de disminución del consumo de agua cruda, su reutilización y el aprovechamiento máximo del recurso en su totalidad, lo que reduce significativamente la sobreexplotación de este recurso que cada vez es más escaso y limitado para el mundo, generando así beneficios económicos, al reducir costos notablemente generando un ahorro en la inversión y obteniendo un incremento de ganancias, generando además modelos de negocio y emprendimientos en la venta de abonos orgánicos y fertilizantes, en el ámbito social en la prevención de enfermedades de salud y mayor cantidad de agua de calidad, y finalmente en el ámbito ambiental aportando a reducir el empleo de químicos u otros insumos, el consumo de energía eléctrica, y necesitando menor área de terreno empleado (Aguilera, 2006).

El tratamiento biológico de aguas contaminadas, se ha transformado en una iniciativa de gran importancia en la depuración de aguas contaminadas. Debido a que ofrecen una eficaz capacidad para absorber nutrientes y servir como zonas de mitigación de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, los humedales artificiales, comúnmente conocidos como wetlands, utilizan este mecanismo para emular las funciones de un humedal natural y así tratar las aguas residuales generadas por empresas y municipios. (Frers, 2008).

Si los recursos en las aguas residuales pudieran ser aprovechados, el proceso de tratamiento de estas podría cambiar de ser un gasto que dificulta la promoción de la reutilización a convertirse en una fuente de ingresos, lo que tendría un efecto beneficioso en la disponibilidad actual y futura de los recursos de agua dulce (Simón, 2017).

Como se detalla, en el estudio de Frers (2008) la misma metodología se la conoce como tratamiento por medio de humedales donde se menciona que es un sistema creado por el ser humano para el tratamiento de aguas residuales en estanques o cursos de agua poco profundos, con una profundidad máxima de 0.60 metros. En estos lugares se han plantado especies de plantas acuáticas y se aprovechan los procesos naturales para purificar el agua residual. Los humedales artificiales construidos presentan ventajas en comparación con otras opciones de tratamiento, ya que su funcionamiento demanda una cantidad mínima o nula de energía.

Los humedales artificiales contribuyen al desarrollo de un modelo sostenible bajo la visión de la Economía Circular, promoviendo la depuración de aguas contaminadas con un enfoque biológico a través de un proceso natural de plantas acuáticas, sin el uso de productos químicos, reduciendo el consumo de agua cruda, incentivando a la reutilización del agua para uso agropecuario y agrícola, aprovechando residuos y lodos para convertirlos en abonos orgánicos y biofertilizantes naturales, evitando así la sobreexplotación de los recursos naturales.

Objetivos

Se detallan los objetivos del presente proyecto, encaminados en la problemática asociada al tratamiento de aguas residuales a través de la aplicación de los principios de economía circular.

Objetivo General

Proponer una alternativa biológica para el tratamiento de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato, basándose en los principios de economía circular.

Objetivos Específicos

- Describir el estado actual del tratamiento de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato, identificando sus causas y efectos.
- Analizar los beneficios de la reutilización de aguas residuales

Los objetivos propuestos están vinculados al objetivo general de promover alternativas basadas en principios de economía circular para la zona norte del Cantón Ambato, abordando la problemática de contaminación de los recursos hídricos por aguas residuales, incentivando a mejores prácticas medioambientales, mediante el aprovechamiento y reutilización de los recursos hídricos.

Metodología y datos

Marco referencial

El presente marco referencial tiene como finalidad principal contextualizar y estudiar en detalle el Acuerdo Ministerial Nro. MAATE-2022-098, analizando sus objetivos conceptuales, estratégicos, legales y acciones que promuevan la economía circular y aporten con la distribución y acceso equitativo y sostenible del agua. Por medio estas prácticas sostenibles mencionadas se incentiva al cuidado y protección del medioambiente, y con el transcurso del tiempo que estás se conviertan en incentivos del gobierno para proteger el ecosistema.

De este modo, con la implementación de plantas de tratamiento biológicas que están alineadas a los principios de economía circular se puede crear externalidades positivas con la promoción de estos objetivos ambientales y de sostenibilidad descritos en este acuerdo ministerial, contribuyendo a la preservación de los recursos hídricos, reduciendo los niveles de contaminación e impactos ambientales logrando así, un desarrollo y crecimiento económico sostenible en el Cantón Ambato y el Ecuador.

De acuerdo con el Acuerdo Ministerial Nro. MAATE-2022-098 del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica con fecha 07 de octubre de 2022, como base referencial para el presente proyecto, según establece:

El artículo 12 de la Constitución de la República declara que el acceso al agua es un derecho humano, fundamental e inalienable, y que el agua se considera un recurso nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida;

Asimismo, el artículo 66 ibidem, en su segundo punto garantiza a las personas el derecho a una vida digna que incluye el acceso a agua potable.

El inciso final del artículo 71 de la Constitución de la República del Ecuador manifiesta que el Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema;

El numeral 4 del artículo 276 de la norma Constitucional establece como uno de los objetivos del Régimen de Desarrollo: 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;

El artículo 411 de la Constitución de la República del Ecuador dispone que 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;

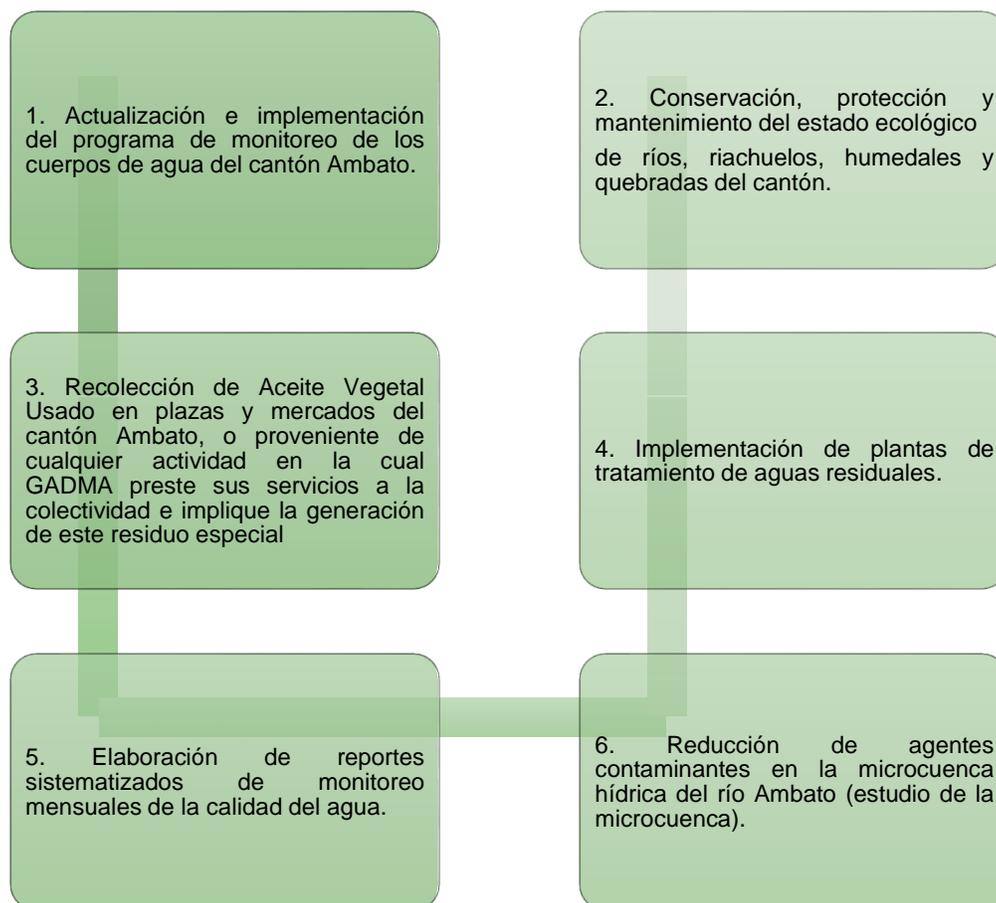
El artículo 413 de la Constitución menciona que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua;

El artículo 8 del Código Orgánico del Ambiente, en su inciso 6, señala que: Las responsabilidades ambientales del Estado son, entre otras, instaurar estrategias territoriales nacionales que contemplen e incorporen criterios ambientales para la conservación, uso sostenible y restauración del patrimonio natural, los cuales podrán incluir mecanismos de incentivos a los Gobiernos Autónomos Descentralizados por la mejora en sus indicadores ambientales; así como definir las medidas administrativas y financieras establecidas en este Código y las que correspondan;

Finalmente, el artículo 282 del Código Orgánico del Ambiente señala que la Autoridad Ambiental Nacional tendrá en cuenta los siguientes criterios para diseñar y otorgar incentivos ambientales: 1. La reducción de los impactos que afectan al ambiente y la prevención de los daños ambientales; 2. El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas; 3. Las soluciones tecnológicas y el uso de las mejores técnicas disponibles que causen menos impactos al ambiente; 4. La aplicación de buenas prácticas ambientales y de procesos de producción más limpia; 5. El aprovechamiento racional o eficiente de materiales y de energía; (...) 8. Los beneficios generados a favor de la población; (Manrique, 2022).

Además, en la figura 1 se detalla el programa de prevención de cuerpos de agua que consta en el Plan de Ordenamiento Territorial 2050 del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato (GADMA). El mismo que servirá como herramienta de control y monitoreo de las fuentes hídricas en el Cantón, al implementarse de manera eficiente aportará sin duda, a la gestión integral de una economía circular del agua que busca promover el ahorro, reutilización y aprovechamiento del agua.

Figura 1. Programa de prevención de cuerpos de agua



Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial 2050 GADMA.

Elaborado por: La autora

Metodología

Para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de los proyectos se debe aplicar la metodología de marco lógico, una herramienta que su enfoque está basado en objetivos, donde se busca favorecer a las personas beneficiarias al promover la participación y la comunicación efectiva entre las partes involucradas(Sánchez, 2007).

Esta metodología será aplicada a la propuesta de Tratamiento biológico de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato Provincia de Tungurahua para tomar de referencia las actividades expuestas.

La aplicación de la metodología de Marco Lógico es oportuna en la planeación de proyectos de infraestructura, pues presenta realidades concretas, poco fluctuantes que se pueden controlar (Cardenas, Cruz, & Álvarez, 2022). Además de favorecer la gestión y calidad de las propuestas (Camacho, 2022).

Bajo estos antecedentes, en el proyecto se detallan los actores involucrados, conforme siguiente detalle:

- **Análisis de Involucrados:** Se realizará un análisis minucioso de los actores involucrados en la problemática de aguas residuales en el Cantón Ambato Provincia de Tungurahua. Detallando los diversos grupos de interés, organismos estatales, organizaciones no estatales, sector privado, comunidad del entorno y ciudadanía.

Identificación de problemas y causas: En referencia al análisis de la problemática, se identificarán problemas relevantes referente al tratamiento inadecuado de aguas residuales. Este análisis permitirá comprender las causas y su nivel de incidencia en el problema determinando las áreas de intervención.

- **Definición de objetivos:** Paso fundamental en el planteamiento del proyecto, partiendo de las causas y problemas identificados, estos objetivos brindarán una visión clara y concisa como punto de alusión para alcanzar los logros esperados.
- **Diseño de estrategias de intervención:** Cuando los objetivos se encuentren establecidos se procederá a elaborar estrategias de intervención que abarquen la problemática identificada. Pudiendo los mismo abordar temáticas asociadas con programas, fortalecimiento de normativa local existente, incentivo y promoción de prácticas medioambientales, concientización y difusión a la comunidad, entre otras.

La aplicación del Marco Lógico en esta temática promoverá el establecimiento de soluciones a un problema social, económico y ambiental, a través de un uso eficiente de los recursos naturales y a su vez la generación de prácticas medioambientales para el sector industrial, a su vez una concienciación y educación ambiental en la ciudadanía, logrando mitigar los efectos adversos generados por la deficiente depuración de aguas servidas en el Cantón Ambato.

De igual forma, se acogerá una metodología de tipo documental – descriptiva. Para Hernández, Fernández, & Baptista (2000), la investigación documental implica la identificación, adquisición y revisión de bibliografía y otros recursos que se originan a partir de información y conocimientos ya recogidos razonablemente, de tal forma que resultan de gran utilidad para los propósitos del estudio, permitiendo abordar la problemática de investigación planteada.

Capítulo 1: Análisis situación actual de las condiciones de los recursos hídricos en la zona norte del Cantón Ambato.

1.1. Análisis de involucrados

El Cantón Ambato que es la ciudad principal y más poblada de la Provincia de Tungurahua, se encuentra en el centro de la región interandina del país. Está atravesada por el río Ambato y está ubicada a una altitud de 2580 metros sobre el nivel del mar, con un clima andino que tiene un promedio de 15°C, cuenta con un total de habitantes de 329,856 de las 18 parroquias rurales, y para la zona norte con una población total de 33,015 habitantes (GADMA, 2023). Por lo que, se identifican 33,015 beneficiarios correspondientes a las tres parroquias ubicadas en la zona norte, luego del proceso de implementación y culminación del proyecto.

Asimismo, el sector norte del Cantón Ambato incluye a las parroquias Atahualpa, Augusto N. Martínez e Izamba, una zona dedicada a la producción de hortalizas y legumbres que en la actualidad sufren daños a causa de la mala calidad de agua que percibe la población y aún más los agricultores y ganaderos.

Al ser está una zona con suelo fértil y rico en minerales apto para la agricultura y crianza de animales, es indispensable la colocación de una planta de tratamiento diferente a las tradicionales, donde desde un enfoque circular se dé la posibilidad de reutilización del agua y el tratamiento adecuado de está, para evitar siga causando daños ambientales, sociales y económicos al sector y a la población del Cantón.

La microcuenca que incluye el cantón abarca el territorio del Río Ambato, el cual tiene una longitud aproximada de unos 26.6 kilómetros. Este río tiene un caudal relativamente bajo, ya que la contribución total de sus afluentes principales es de tan solo alrededor de 1.7 metros cúbicos por segundo. La escasez de agua en el caudal se debe al uso excesivo de las aguas del Río Ambato en diversos canales y acequias, como es el caso del Canal Ambato – Huachi – Pelileo.

Además de esto sus quebradas son rellenos antitécnicos donde tanto sector público y privado arroja todo tipo de basura y escombros industriales y domésticos, reciben descargas de aguas servidas e industriales, lo que genera pérdida de flora y fauna. La contaminación con desechos y fluidos es notable en gran parte de quebradas, varias de estas quebradas se ven perjudicadas por la existencia de fallas geológicas que las hacen susceptibles a la influencia de construcciones y asentamientos humanos (GADMA, 2023).

Al realizar el estudio de los actores que forman parte del ámbito de análisis, se identifican nueve sujetos involucrados en el cuidado y/o afectación de los recursos hídricos. Entre estos se encuentran tantos organismos estatales, locales, GADS y la comunidad que la rodea. Bajo este contexto se describen cada uno en la tabla 1.

Tabla 1. Actores involucrados en los recursos hídricos

Nro.	GRUPOS	INTERESES
1	Agricultores, Ganaderos	Disponibilidad de agua de calidad para sus sembríos Disponer de agua suficiente para sus regadíos y animales.
2	GAD Municipal	Cumplimiento de normativas ambientales, bienestar público, gestión eficiente del agua.
3	Industrias y negocios locales	Evitar multas y sanciones, cumplir con normativas vigentes, costos de operación
4	Comunidad local	Acceso a agua limpia, salud pública, calidad de vida
5	GAD Parroquial	Reducir la contaminación y enfermedades provocadas, bienestar público, gestión eficiente del agua.
7	Instituciones Educativas	Investigación y desarrollo de tecnologías, formación de profesionales, proyectos innovación
8	Secretaría Nacional del Agua (Senagua)	Gestión eficiente del tratamiento de aguas residuales
9	GAD Provincial de Tungurahua	Mejora calidad del agua y preservación del medio ambiente

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ambato

Elaboración: La autora

Los actores involucrados son una parte integral del conjunto de participantes en la administración de los recursos hídricos que deben ser tomados en cuenta en el análisis del proyecto “Tratamiento biológico Ambato”. A su vez, también se considera al Municipio de Ambato, organismo que cuenta con la competencia asignada en la gestión integral de los recursos hídricos (COOTAD, 2010).

La participación e interacción de los actores involucrados es primordial para conseguir la ejecución eficiente de la economía circular, promoviendo el cuidado de las fuentes hídricas, maximizando el aprovechamiento, por medio de la reutilización y valorización.

Los resultados obtenidos por medio de la tabla 1 proporcionan un enfoque completo y constituido de diversos aspectos identificados pudiendo observar las relaciones entre los actores, permitiendo identificar acciones y estrategias que permitan abordar la problemática de estudio.

Además, en la Tabla 2 se detallan los problemas percibidos, el poder y las estrategias de mitigación que ayudarán a reducir el impacto de la problemática de estudio, de acuerdo con las competencias y responsabilidades que tienen los actores involucrados.

Tabla 2. Actores involucrados

Nro.	GRUPOS	INTERESES	PROBLEMAS PERCIBIDOS	PODER	ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN
1	Agricultores, Ganaderos	Disponibilidad de agua de calidad para sus sembríos Disponer de agua suficiente para sus regadíos y animales.	Contaminación en aguas de regadío, pérdidas económicas, problemas a la salud	Medio	Participación campañas concientización, denunciar incumplimientos, apoyar medidas de conservación.
2	GAD Municipal	Cumplimiento de normativas ambientales, bienestar público, gestión eficiente del agua.	Daños ambientales, sociales y económicos	Alto	Establecer regulaciones, apoyar proyectos, generar convenios de colaboración interinstitucionales.

3	Industrias y negocios locales	Evitar multas y sanciones, cumplir con normativas vigentes, costos de operación	Cobro de multas por incumplimiento normas INEN, sanciones y denuncias.	Medio	Adoptar prácticas sostenibles, reducir niveles de contaminación, invertir en tecnologías de tratamientos internas, participar en proyectos.
4	Comunidad local	Acceso a agua limpia, salud pública, calidad de vida	Malos olores, enfermedades, productos contaminados	Medio	Participación campañas concientización, denunciar incumplimientos, apoyar medidas de conservación.
5	GAD Parroquial	Reducir la contaminación y enfermedades provocadas, bienestar público, gestión eficiente del agua.	Daños ambientales, sociales y económicos	Medio	Promover acciones de protección de agua, monitorear calidad de agua, participar y colaborar en proyectos sostenibles.
7	Instituciones Educativas	Investigación y desarrollo de tecnologías, formación de profesionales, proyectos innovación	Agua de mala calidad, problemas ambientales, enfermedades, productos contaminados	Bajo	Participar y desarrollar investigaciones, ofrecer programas académicos, colaborar en proyectos de mejora.
8	Secretaría Nacional del Agua (Senagua)	Gestión eficiente del tratamiento de aguas residuales	Problemas ambientales, sociales, económicos, falta de recursos y coordinación	Alto	Supervisión y control en el cumplimiento de normas y regulaciones en el tratamiento de aguas residuales.
9	GAD Provincial de Tungurahua	Mejora calidad del agua y preservación del medio ambiente	Presión de involucrados, escasos recursos y falta de coordinación con demás organismos.	Alto	Asignación de recursos financieros y técnicos.

Elaboración: La autora

1.2. Identificación de fuentes de generación de aguas residuales

Determinar las fuentes de generación de aguas residuales en la zona norte de Ambato, juega un rol importante para delimitar las zonas y actividades que inciden en esta problemática ambiental.

Según el estudio de Pico (2022) la principal razón de contaminación de los ríos en la provincia de Tungurahua, es la liberación de aguas residuales procedentes de los municipios en la región. Se estima que aproximadamente veinte y cinco millones de metros cúbicos de agua residual se vierten en los cauces de los ríos, canales y entorno natural. De este volumen, el 97% proviene de descargas domésticas, mientras que el 3% resulta de actividades industriales; sin embargo, únicamente un 5% de esta agua residual recibe tratamiento.

Además, los sistemas de alcantarillado vierten aguas residuales de fábricas, en particular de curtiembres, cuyos desechos contienen una serie de productos químicos extremadamente contaminantes y peligrosos (Villacís, 2011).

El Cantón Ambato además de las parroquias que son el objeto de estudio, cuenta con otras donde se hallan numerosas empresas especializadas en el procesamiento del cuero, conocidas como curtiembres. A nivel nacional, el 90% de estas empresas se dedica al procesamiento del cuero y el 67% está involucrado en la fabricación de calzado de cuero. Como consecuencia del proceso de curtido, estas empresas descargan aguas residuales con niveles significativos de contaminantes en los cuerpos de agua naturales. Por esta razón, muchas de estas están obligadas a llevar a cabo medidas de saneamiento para tratar sus aguas residuales según la normativa vigente, sin embargo, no cumplen lo solicitado (Pérez, 2021).

1.3. Evaluación de sistemas existentes y plantas de tratamiento de aguas residuales

En la zona norte del Cantón Ambato que comprende las parroquias de Atahualpa, Augusto N Martínez e Izamba, no tienen con una planta de depuración de aguas residuales, por lo que es indispensable de investigaciones y estudios para la implementación de la misma (Villacís, 2011).

De este modo, los moradores que residen en la corriente abajo del río Ambato y que manipulan las mismas para el desarrollo de sus diversas actividades, al encontrarse con altos índices de contaminación, no pueden utilizarla en la agricultura, ganadería, turismo y pesca, lo que aumenta el consumo de agua cruda para estas actividades e imposibilita la reutilización del agua del río.

Según la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato EMAPA (2023), se cuenta con 18 plantas de tratamiento de aguas residuales mismas que son: Calhuasig, Cunchibamba, El Peral, Indoamérica, Carmelitas, Mollepamba, Puerto Arturo, Puerto Arturo Nuevo, Pucará, Zona Norte, Cunchibamba Lindero, Pilahuín, Shuyurco, Culapachán, Parque Industrial y PTAR Ambato sector Las Viñas. Estas plantas cumplen con tres procedimientos, el primario, secundario, terciario y como complemento el lecho de secado de lodos.

De las plantas señaladas ninguna se encuentra ubicada en la zona de Pisocucho, punto clave para tratar aguas residuales de las parroquias, Atahualpa, Augusto N Martínez e Izamba.

Frente a esta problemática, se plantea la necesidad prioritaria y emergente de implementar un sistema que abarca la gestión integral de recursos hídricos en la región norte del Cantón Ambato. La falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales provoca daños ambientales, pérdidas económicas y enfermedades en la población. Es por ello que una planta de tratamiento biológico resulta una gran iniciativa considerando su costo de inversión y los beneficios económicos, sociales y ambientales que genera.

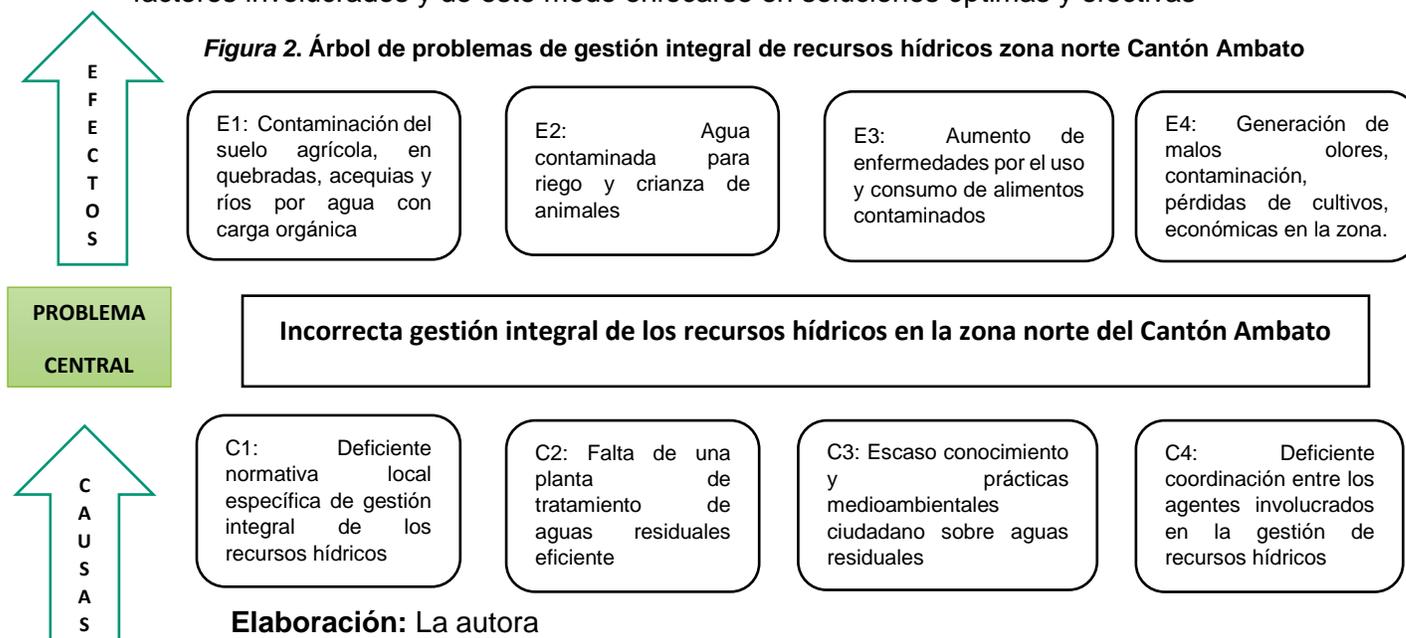
La implementación de esta planta, no solo tratará las aguas servidas de estas parroquias, sino que además promoverá la reutilización del recurso, la generación de abonos orgánicos luego del tratamiento de la misma resultando un beneficio y a futuro un ingreso adicional para los agricultores del sector.

1.4. Análisis del problema en la zona norte del Cantón Ambato

En el Cantón Ambato, la gestión integral de los recursos hídricos cada vez se vuelve un reto que requiere una intervención inmediata. El escaso enfoque integral y la deficiente normativa local específica ha originado numerosos problemas con relación a la contaminación de quebradas, acequias y ríos por aguas servidas, ocasionando efectos dañinos en el entorno urbano, ecosistema, sector agrícola y salud pública. Para obtener un análisis minucioso de la problemática y plantear soluciones positivas, es primordial realizar un estudio por medio de la elaboración de un árbol de problemas.

El árbol de problemas de gestión integral en la zona norte del Cantón Ambato descrito en la figura 2, permite identificar y observar las causas y efectos asociados a la gestión ineficiente de tratamiento de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato. Este instrumento brinda un

panorama integral de la problemática, para comprender el nivel de incidencia entre los distintos factores involucrados y de este modo enfocarse en soluciones óptimas y efectivas



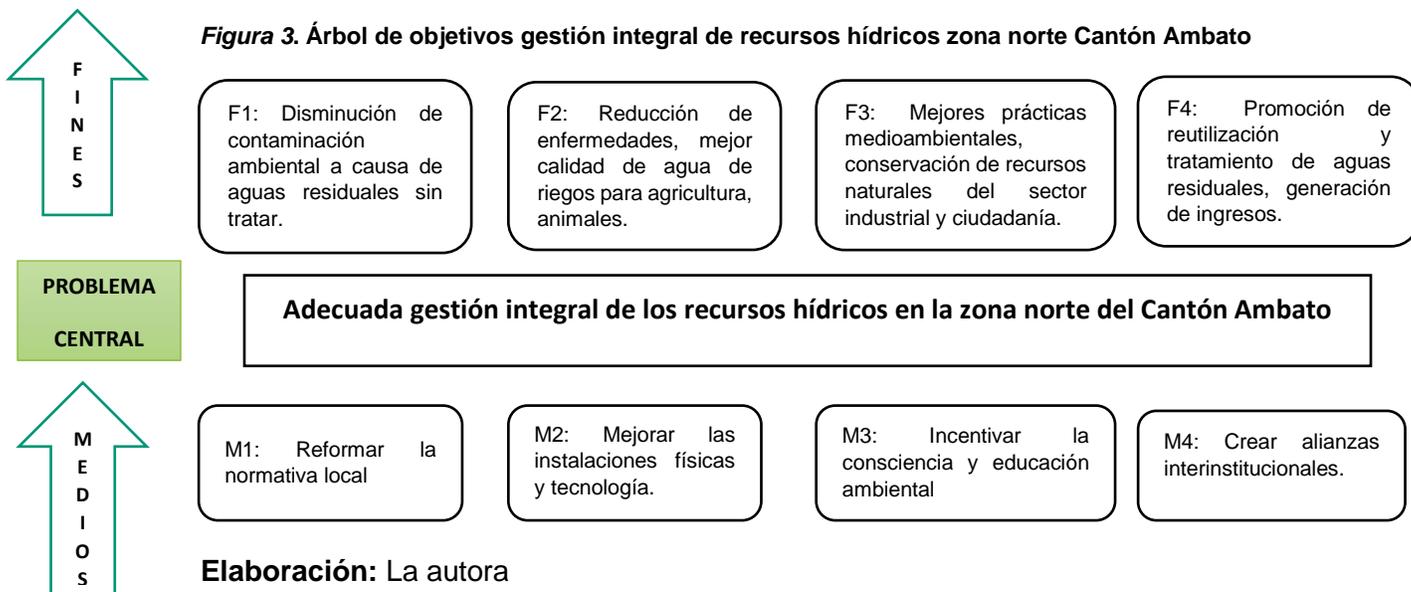
Este árbol de problemas servirá como guía para elaborar el plan de acción que analice los problemas identificados para promover una gestión sostenible de los recursos hídricos en la zona norte del cantón Ambato contribuyendo con el cuidado del medio ambiente y la calidad de vida de la ciudadanía.

1.5. Análisis de objetivos para el Cantón Ambato

El árbol de objetivos es una técnica que permite definir criterios de evaluación de las distintas soluciones a un problema, permite determinar las áreas de intervención que plantea el proyecto (Mairal, 2019). En el contexto del proyecto de la gestión integral de los recursos hídricos en el cantón Ambato, se ha elaborado un árbol de objetivos con la finalidad de identificar y establecer los resultados esperados para abarcar de manera eficiente la problemática.

Este árbol de objetivos se ha desarrollado bajo los principios de la economía circular, promoviendo el uso eficiente de los recursos naturales, la reducción de residuos y la reutilización de los recursos. Por medio de un enfoque integral busca generar un triple impacto, económico, social y ambiental.

Por medio del desarrollo del árbol de objetivos en la figura 3, se estima alcanzar una gestión sostenible y eficiente en el tratamiento de aguas residuales, incentivando la aplicación de estrategias de economía circular generando beneficios económicos, sociales y ambientales contribuyendo a la minimización del impacto ambiental provocado a causa de la contaminación por aguas residuales vertidas.



Finalmente, se puede describir la problemática existente en la zona norte del Cantón Ambato, donde el 90% de la población en la actualidad descarga aguas residuales provenientes del consumo humano y actividades comerciales sin tratar. Una de las causas es no contar con una planta de tratamiento de aguas residuales, por la falta de presupuesto y los altos niveles de inversión de la misma, acompañado del deficiente control y monitoreo por parte de los organismos municipales y estatales, además el no contar con una normativa regulatoria y sancionatoria que incentive a la comunidad y sector industrial a realizar buenas prácticas ambientales lo que afecta a la degradación ambiental, con aumento de enfermedades de salud pública, y una producción contaminada del sector agrícola con pérdidas económicas para los agricultores.

Capítulo 2: Propuesta de alternativa de aprovechamiento y tratamiento biológico de aguas residuales basada en principios de economía circular.

2.1. Análisis de alternativas de tratamiento de aguas residuales

La correcta gestión sostenible de los recursos hídricos simboliza un reto de tres ámbitos, económico, social y ambiental en la sociedad actual. El incremento en la demanda de agua para sus actividades por el sector industrial y hogares, ha generado un incremento significativo en la generación de aguas residuales.

Con este enfoque, la economía circular se vincula estrechamente con la sostenibilidad, la cual busca que los productos, materiales y recursos (como agua y energía) conserven su utilidad en la economía durante un período prolongado, es decir, un enfoque de sociedad que emplee y mejore la gestión de inventarios y movimientos de materiales, con la finalidad de lograr una utilización eficiente de los recursos naturales (Simón, 2017).

Para este estudio la implementación de los fundamentos de la economía circular puede aportar grandes iniciativas de aprovechamiento y tratamiento del agua, teniendo como objetivo analizar las plantas de tratamiento de aguas residuales bajo la modalidad de humedales artificiales enfocados en los principios de la economía circular.

Por lo tanto, este estudio evaluará las ventajas y desventajas de esta alternativa, describiendo los beneficios sociales, ambientales y económicos. Asimismo, analiza experiencias de casos exitosos a nivel nacional e internacional ya implementados para tomarlos como referencias, y recomendaciones aplicables para el cantón Ambato.

2.1.1. Estudios de caso

De este modo, se detallan los estudios de caso donde se destacan los resultados exitosos obtenidos con la implementación del tratamiento biológico para aguas residuales usado en diferentes municipios y ciudades, que ha demostrado ser una iniciativa innovadora basada en los principios de la economía circular. Estas experiencias con grandes resultados obtenidos sin duda, servirá de referencia para los municipios, organismos estatales y comunidades que buscan mejorar la gestión y tratamiento de aguas servidas combatiendo así la contaminación, enfermedades y pérdidas económicas, enfocándose en una alternativa más sostenible, menos costosa y con una inversión inferior a una planta tradicional.

Caso 1: Isla Isabela, Galápagos Ecuador

El tratamiento biológico implementado en la isla Isabela está diseñado para tratar aguas residuales generadas por una población de 43000 habitantes con una extensión de 6600 metros cuadrados, la cual se ha convertido en la más grande de su tipo en el país. Este proyecto consta de piscinas impermeabilizadas y un filtro natural compuesto por ripio y arena. En estos pantanos artificiales se han plantado especies de plantas nativas que se encontraban originalmente en el lugar y que están adaptadas para tratar las aguas residuales, cumpliendo la función de absorber, oxidar y descomponer los contaminantes presentes en el agua, reduciendo así su carga orgánica, World Wildlife Fund (WWF, 2016).

Caso 2: Ciudad Otavalo, Imbabura Ecuador

En la Ciudad de Otavalo, es una práctica generalizada y un método comúnmente utilizado donde algunas de las plantas empleadas, como el lechuguín y la lenteja de agua, desempeñan un papel fundamental en el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad. Estas plantas no solo purifican el agua, sino que también se convierten en recursos valiosos, ya que se utilizan posteriormente como alimento para animales y como abono orgánico. Esta iniciativa se ha convertido en una empresa comunitaria, beneficiando a la comunidad en múltiples aspectos. Además, la totora, que también contribuye a la descontaminación del agua, incrementa su productividad y calidad al recibir agua más limpia. La totora es tradicionalmente empleada por los artesanos de la comunidad, lo que demuestra su versatilidad y beneficios que aporta esta planta (CEPAL, 2008).

Caso 3: Bogotá, Colombia

En Colombia, mencionan que existen varias alternativas de tratamiento biológico, según los resultados obtenidos, los sistemas biológicos, como las lagunas de estabilización, los humedales y los lodos activados, muestran un alto nivel de eficiencia en la remoción de contaminantes, y se menciona que empleados todos en conjunto se podrían obtener eficiencias porcentuales mayores al 90%. Sin embargo, se menciona además que de las tres alternativas bajo modalidad biológica la menos costosa son los humedales (Vargas, et al., 2020).

Caso 4: Comunidad Charcay, Cañar Ecuador

En la comunidad de Charcay, se ha implementado un conjunto de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales a través de la utilización de un espacio determinado de 731.07Ha, para una población beneficiada de 734 habitantes. Esta comunidad tiene el problema de descargas de aguas residuales vertidas directamente al río, lago o quebradas sin contar con un tratamiento previo, por lo que con la implementación de este proyecto se mejora la calidad del agua del sector y se crean mejores condiciones para la población (Aguilar, 2019).

Caso 5: Elche, España

En la comunidad de Elche, localizado al sudeste español, se desarrolló una planta de tratamiento biológico bajo humedales artificiales, los mismos que en los resultados arrojó la efectividad del proceso de purificación y la eliminación completa de las aguas residuales domésticas, garantizando que cumplan con los estándares requeridos por la legislación, de manera que estas se vuelvan aptas tanto para ser vertidas como para su posterior reutilización en aplicaciones agrícolas (Andreo, 2014).

Dicho de otro modo, el proceso de depuración de aguas residuales bajo la modalidad de humedales artificiales, es una metodología ya probada y que se encuentra ya implementada a nivel mundial y en algunas provincias del Ecuador, donde se ha podido obtener resultados exitosos, demostrando que las plantas acuáticas tienen la capacidad de absorber toda la carga orgánica contaminante del agua mediante un proceso natural, resultando ser una alternativa menos costosa, amigable con el medioambiente y eficiente en el tratamiento de aguas residuales.

2.1.2. Alternativas de tratamiento de aguas residuales

Al examinar las diversas experiencias de caso, se pudo determinar una variedad de estrategias y alternativas aplicables para la gestión y tratamiento de aguas residuales basados en los principios de la economía circular, se han identificado estrategias como la reutilización de agua, generación de energía y extracción de nutrientes obtenidos luego del proceso de tratamiento de aguas residuales.

La economía circular se apoya en la premisa de que el agua es un recurso limitado. A partir de esta comprensión, se inicia una búsqueda orientada a reducir el empleo de recursos finitos, como

materias primas. Bajo este enfoque, el enfoque principal es maximizar la reutilización del agua para contrarrestar las consecuencias negativas derivadas de su escasez o de su baja calidad (CEPAL, 2022).

Reutilización de agua

El agua residual de origen municipal se compone en un 99,8% por agua, cuando éstas son tratadas tienen una variedad de usos potenciales, siendo los más frecuentes el riego, la aplicación en procesos industriales y la recarga de acuíferos. La reutilización del agua tratada en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales es una práctica común porque brinda diversas ventajas, como aumento de la oferta de agua disponible, ahorros energéticos, la cantidad de agua a tratar es proporcionalmente similar a la demanda inicial y por último reduce notablemente la urgencia de investigar fuentes de agua que demanden un mayor gasto energético, como la desalinización (CEPAL, 2022). Esta práctica es comúnmente la más utilizada en otros países donde luego de los debidos tratamientos se puede volver a aprovechar de manera eficiente el agua.

Uno de los ejemplos más comunes de reutilización de agua es para riego agrícola, donde se demuestra que genera múltiples beneficios y aportación de nutrientes al suelo, sin embargo, para que sea apta para riego debe cumplir con ciertos parámetros mínimos en términos de variables microbiológicas y de calidad físico-química para que esté no sea perjudicial para la salud, es decir llevar un proceso adecuado de tratamiento (Silva, et al., 2008).

El principal obstáculo que impide la adopción generalizada de sistemas de reutilización de aguas residuales radica en el alto costo asociado a la inversión inicial en la infraestructura de tratamiento, así como en la variabilidad de la calidad del efluente (CEPAL, 2022).

Es primordial enfatizar que el aprovechamiento de aguas residuales ofrece beneficios ambientales al modificar la definición del agua residual para transformarla de un producto desechado a un recurso aprovechable que puede ser reutilizado, y un beneficio social y económico al contribuir a la sostenibilidad del suministro de agua y saneamiento de bajo costo.

Generación de energía

Por otro lado, la energía es otro recurso que puede ser extraído o regenerado a partir de las aguas residuales. Aprovechando los residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden producir energía en diversas formas, incluyendo calor, biogás y electricidad cada uno con sus beneficios y desafíos (CEPAL, 2022).

Generación de calor y frío

La obtención de energía térmica de las aguas residuales generalmente se lleva a cabo mediante el uso de una bomba de calor, un dispositivo mecánico que transfiere calor de un lugar a otro. En este proceso, se aprovecha la temperatura del agua residual para calentar o enfriar un entorno específico. El sistema recupera el calor o el frío de las aguas residuales al pasarlas a través de tuberías, y este calor se utiliza para calentar o enfriar el propio proceso de tratamiento, así como instalaciones industriales, viviendas o edificios residenciales (CEPAL, 2022).

Aprovechamiento del metano y cogeneración de energía eléctrica

Los desechos pueden ser aprovechados de las plantas de tratamiento de aguas residuales donde es posible generar energía en forma de gas a partir de los desechos residuales al realizar la digestión anaeróbica, que se lleva a cabo sin oxígeno, en lugar de utilizar un tratamiento aeróbico

en el agua residual municipal. Este gas resultante puede ser empleado in situ para diversos procesos de la planta de tratamiento. Además, una vez que se haya purificado de impurezas, este biogás puede utilizarse directamente como combustible para vehículos industriales o residenciales (CEPAL, 2022).

Otras formas de generación de energía eléctrica

Adicionalmente, el tratamiento anaerobio de las aguas residuales y la digestión anaerobia de lodos generan subproductos que incluyen la producción de energía eléctrica y térmica. Para lograr esto, se utilizan diferentes procesos, como la conversión de biogás en metano. Además, existen otros métodos, como sistemas bioelectroquímicos, microalgas, hidroelectricidad y procesos de incineración, que se están evaluando para determinar su potencial y su alineación con los principios de una economía circular (CEPAL, 2022).

Extracción de nutrientes

Finalmente, el procedimiento de extracción de nutrientes va tomando repunte últimamente se ha centrado en el propósito de aprovechar las aguas residuales con un enfoque de economía circular, con el objetivo de utilizar los nutrientes que estas aguas contienen. Este proceso puede llevarse a cabo de manera directa mediante la aplicación de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los suelos, o a través de tecnologías más avanzadas que permiten la recuperación de nutrientes como el fosfato que se encuentra en las aguas residuales. Esto incluye la cristalización de estruvita, un valioso compuesto que contiene fosfato (CEPAL, 2022).

De esta forma, es vital considerar a las aguas residuales no como un desperdicio sino como un recurso con un alto potencial de aprovechamiento, de este modo gracias a la aplicación de las estrategias y fundamentos de la economía circular se pueden forjar logros ambientales, sociales y económicos para la sociedad.

2.2. Identificación de alternativas viables para el Cantón Ambato

Luego de la revisión de las múltiples alternativas de aprovechamiento de aguas contaminadas para el caso de la zona norte del Cantón Ambato, por su zona geográfica en la que se encuentra ubicada y la magnitud. Se puede mencionar que las óptimas son las de reutilización de agua y extracción o aprovechamiento de nutrientes al ser una zona dedicada a la producción agrícola.

Con la ejecución de estas propuestas se tiene como objetivo maximizar la utilización de los recursos disponibles, disminuir la carga orgánica de las aguas residuales, aprovechando los nutrientes obtenidos luego del proceso de tratamiento, contribuyendo a la conservación del medio ambiente en la zona norte de cantón Ambato.

Reutilización del agua para riego agrícola

Independientemente del tipo de cultivo que se tenga, es de vital importancia en lo que respecta al reúso de aguas residuales en la agricultura, considerar los requisitos mínimos para la utilización segura establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en lo que refiere a términos de variables microbiológicas, y por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en relación a los parámetros de calidad físico – química.

Posterior a esta verificación de cumplimiento de parámetros pueden existir dos posibles escenarios. El primero, en situaciones donde se cumplan con todos los parámetros de normas

vigentes será posible reutilizar la totalidad del caudal del agua residual sin necesidad de realizar ningún tipo de tratamiento adicional. Por otra parte, otro escenario podría ser que no se cumpla con uno de los parámetros, en este caso el porcentaje de caudal de agua residual aprovechable es del 0%, y es necesario realizar un tratamiento obligatorio.

Finalmente, cumpliendo con los criterios establecidos, la totalidad del flujo de agua reutilizable alcanzará el 100%, permitiendo así calcular el porcentaje de reducción en comparación con la cantidad actual de agua utilizada para el riego (Herrera & Muñoz, 2017).

Extracción de nutrientes para la agricultura

La composición de las aguas residuales crudas y regeneradas contienen nutrientes, para controlar y regular los diferentes flujos de aguas residuales existe una fase dentro de la gestión conocida como subproductos útiles donde se pueden extraer varios componentes, pueden ser estos nutrientes, que brindan una gran oportunidad y generan rentabilidad, además de la extracción de materiales útiles como nitrógeno y fósforo que pueden ser transformados en fertilizantes.

Sin embargo, para recuperar tanto nitrógeno y fosforo o lodos cloacales es imprescindible contar con tecnologías de última generación. De esta manera países como Ghana, India, Sudáfrica entre otros ya se encuentran realizando este tipo de recuperación (Rivadavia, 2019).

Adicionalmente, el valor del agua regenerada merece un valor reconocido por los agricultores en virtud, no sólo como recursos hídricos, sino como una fuente de nutrientes – fertilizantes que contiene y que favorece al crecimiento de las plantas y mejorar a su vez las propiedades de los suelos (FAO, 2013).

De acuerdo con la tabla 3, se puede analizar las opciones de gestión de aguas residuales, sus opciones técnicas de extracción de nutrientes, y los beneficios potenciales como son, protección de la salud, del medio ambiente, seguridad del agua y alimentaria en la población.

Tabla 3. Marco de gestión de aguas residuales desde una perspectiva de recursos

Recurso en excremento y aguas residuales	Opciones de gestión de recursos	Opciones del sistema técnico	Beneficios Potenciales
Nutrientes			Protección de salud
	Reutilización combinada de agua y nutrientes	Gestión de excrementos a través del agua	Protección del medio ambiente
	Riego agrícola/ riego forestal/ acuicultura	Gestión separada de aguas grises	Seguridad del agua
		Gestión de lodos	Seguridad alimentaria

Fuente: (Rivadavia, 2019)

Elaboración: La autora

2.3. Matriz de Marco Lógico

Se mostrará la Metodología de Marco Lógico (MML) con orientación en términos de planificación y administración para estudiar los desafíos asociados con la gestión integral de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato. La MML es un instrumento reconocido en iniciativas de

progreso para proporcionar un enfoque lógico y sistemático para establecer y diseñar los objetivos, tareas, métricas y métodos de supervisión requeridos con el fin de lograr los resultados deseados.

A continuación, en la tabla 4 se presenta la aplicación de MML de alternativas en el ámbito de la gestión de aguas residuales, con un enfoque en resultados medibles donde se podrá identificar y diseñar alternativas viables, que tomen en cuenta tanto aspectos económicos, sociales y ambientales, con la finalidad de alcanzar una mejora en la gestión integral de los recursos hídricos en la zona norte del Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua.

Tabla 4. MML alternativas de gestión aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato

Resumen Narrativo	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Fin Aportar en la reducción de la contaminación generada por las aguas residuales sin tratar en la zona norte del Cantón Ambato.	Volumen m ³ de aguas residuales contaminadas arrojadas a ríos y acequias.	Informes de control periódico de las áreas de arrojado y recolección de aguas residuales / Cantidad de agua recuperada y tratada adecuadamente	Implementación de formas de prevención y concientización ambiental en la ciudadanía y sector industrial, promoviendo la reutilización, reúso y aprovechamiento de las aguas residuales.
Propósito Implementar alternativas de economía circular para la gestión de aguas residuales contaminadas en la zona norte del Cantón Ambato.	Porcentaje de agua residual tratada, reutilizada y aprovechada.	Registro y seguimiento del porcentaje de agua residual arrojada que recibe tratamiento, a través de la gestión de organismos estatales y privados.	Disponibilidad de espacio adecuado para plantas de tratamiento, capacitación técnica en tratamiento, reutilización y aprovechamiento de aguas residuales para los stakeholders.
Componente 1 Reutilización de aguas residuales para sector agrícola, ganadero y acuicultura	M ³ de aguas residuales tratadas reutilizadas en riego agrícola, acuicultura y animales	Registro y seguimiento del porcentaje de agua recuperada luego del proceso de tratamiento en la zona norte del cantón Ambato, mediante informe y reportes obtenidos por el Municipio Ambato.	Establecimiento de infraestructura, plantas de tratamiento adecuadas, tecnologías eficientes para la depuración de aguas residuales.
Componente 2 Extracción de nutrientes para agricultura	Número de abonos orgánicos, fertilizantes fabricados por el tratamiento y recuperación de agua residual	Registro y seguimiento de la cantidad de abono, fertilizantes fabricados destinados a la agricultura y suelo agrícola en la zona norte del cantón Ambato, mediante informe y reportes obtenidos por el municipio, y las plantas de tratamiento.	Implementación de infraestructura, tecnología adecuada y cumplimiento de parámetros y regulaciones ambientales para el aprovechamiento del recurso.
Actividad C1 Incentivar la implementación de plantas de tratamiento biológicas para aguas residuales	Capacitación y asesoría técnica al personal Equipamiento y dotación de tecnologías y materias necesarios	Registro de la planta de tratamiento, informes de inversión, gastos, seguimiento de los procesos.	Obtención de permisos y licencias para la construcción y operación de la planta de tratamiento Disponibilidad los materiales y recursos para garantizar la continuidad de su funcionamiento.
Actividad C2 Incentivar a la iniciativa de crear emprendimientos para la fabricación de abonos orgánicos y fertilizantes a	Capacitación y asesoría técnica al personal Equipamiento y dotación de tecnologías y materias necesarios	Registro de emprendimientos existentes, reportes de formación y orientación técnica, monitoreo de la	Disponibilidad de instalaciones apropiadas, compromiso activo de los involucrados y voluntad para

partir de la reutilización de aguas residuales.	Personal y capacitación	fabricación de abonos y fertilizantes	aplicar y mantener prácticas de reciclaje.
---	-------------------------	---------------------------------------	--

Elaboración: La autora

2.4. Mapeo de riesgos y barreras para la implementación

La tipificación y estudio de los obstáculos y barreras es una fase trascendental en la organización y realización de los proyectos. Es crucial considerar posibles escenarios de acontecimientos adversos que pueden desarrollarse durante el proceso de implementación para contar con estrategias que permitan prevenirlos y mitigarlos. Por ello, es preciso elaborar un mapeo de riesgos y barreras que permitan reconocer obstáculos potenciales para implementar estrategias de prevención, acción y reacción.

En este escenario, luego de realizar el mapeo en la tabla 5 se pueden identificar y anticipar posibles escenarios adversos como escasa participación ciudadana, recursos insuficientes, limitaciones legales y limitada infraestructura, para así, describir su nivel de impacto y además diseñar estrategias que permitan mitigar los riesgos reconocidos.

Tabla 5. Mapeo de riesgos y barreras alternativas de gestión de aguas residuales

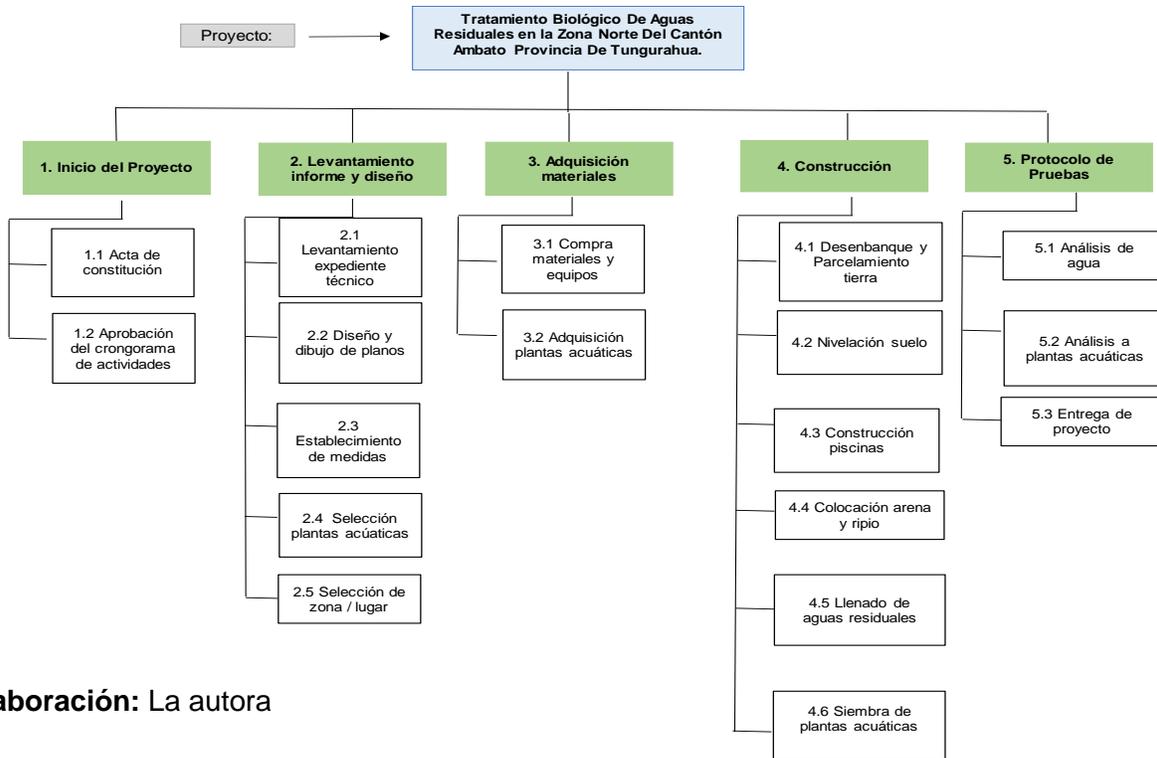
Riesgo/ barrera	Impacto	Medidas de mitigación
Escasa Participación y adaptabilidad de la ciudadanía y comunidad	Incidencia en la implementación, ejecución y adaptación del proyecto	Socializar campañas de concientización y educación ambiental en prácticas sostenibles y cuidado del agua que incluye a la comunidad, sector industrial, organizaciones público – privadas y público en general.
Insuficientes recursos financieros	Afectación en actividades planificadas de ejecución del proyecto	Conseguir fuentes de financiamiento adicionales, subvenciones, donaciones, convenios interinstitucionales públicos-privados. Involucrar sector empresarial con un enfoque circular.
Limitaciones legales, regulatorias	Dificultad en la implementación y cumplimiento de normativa vigente	Analizar y estudiar la normativa y regulaciones locales y nacionales dentro del campo de los recursos hídricos. Establecer una comunicación eficiente para la obtención de permisos necesarios.
Limitada infraestructura, espacios y tecnología para la depuración de aguas residuales	Imposibilidad de implementación de las alternativas propuestas	Levantamiento de estudios técnicos, viables y financieros para identificar la necesidad y las zonas. Localizar las áreas donde no se cuente con plantas de tratamiento.
Incremento de contaminantes químicos utilizados y arrojados en las aguas residuales.	Afectación en el estudio previo y la viabilidad económica, técnica del proyecto a largo plazo.	Actualización constante, estudios y análisis de calidad de agua para evaluar todos los tipos de carga orgánica existentes y nuevos. Mantener un monitoreo constante y eficiente.

Elaboración: La autora

2.5. EDT (Estructura de Descomposición del trabajo)

Dentro del presente proyecto se toma como referencia el método tradicional, donde se enlistan etapas bajo un enfoque secuencial, que deberán irse cumpliendo para continuar con la siguiente etapa tal como se observan en la figura 4.

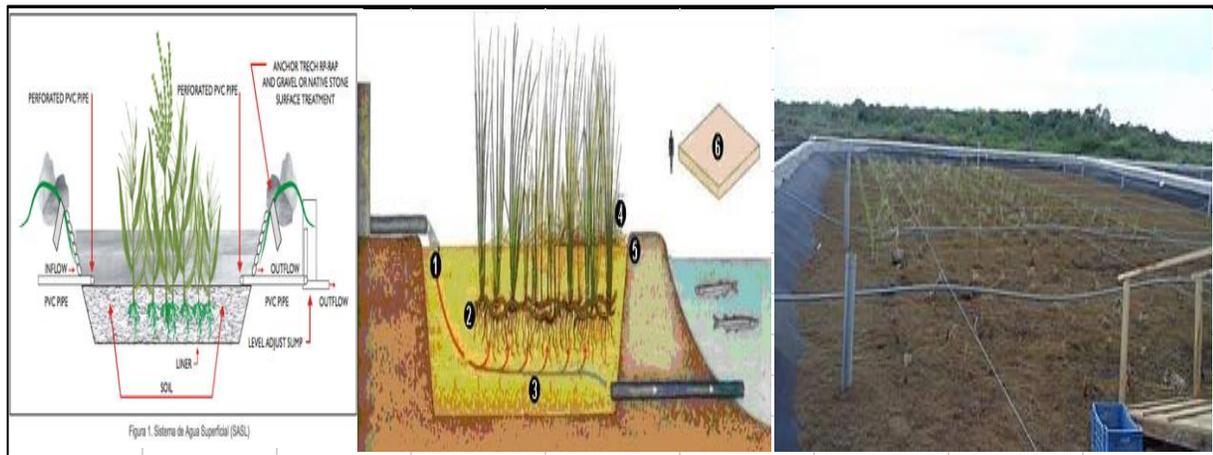
Figura 4. EDT (Estructura de Descomposición del trabajo)



Elaboración: La autora

En la figura 5, se puede observar la descripción gráfica de la planta de tratamiento biológico con plantas acuáticas, desde la llegada del agua residual contaminada, el tratamiento y la salida del agua tratada.

Figura 5. Descripción Gráfica de Planta de Tratamiento Biológico

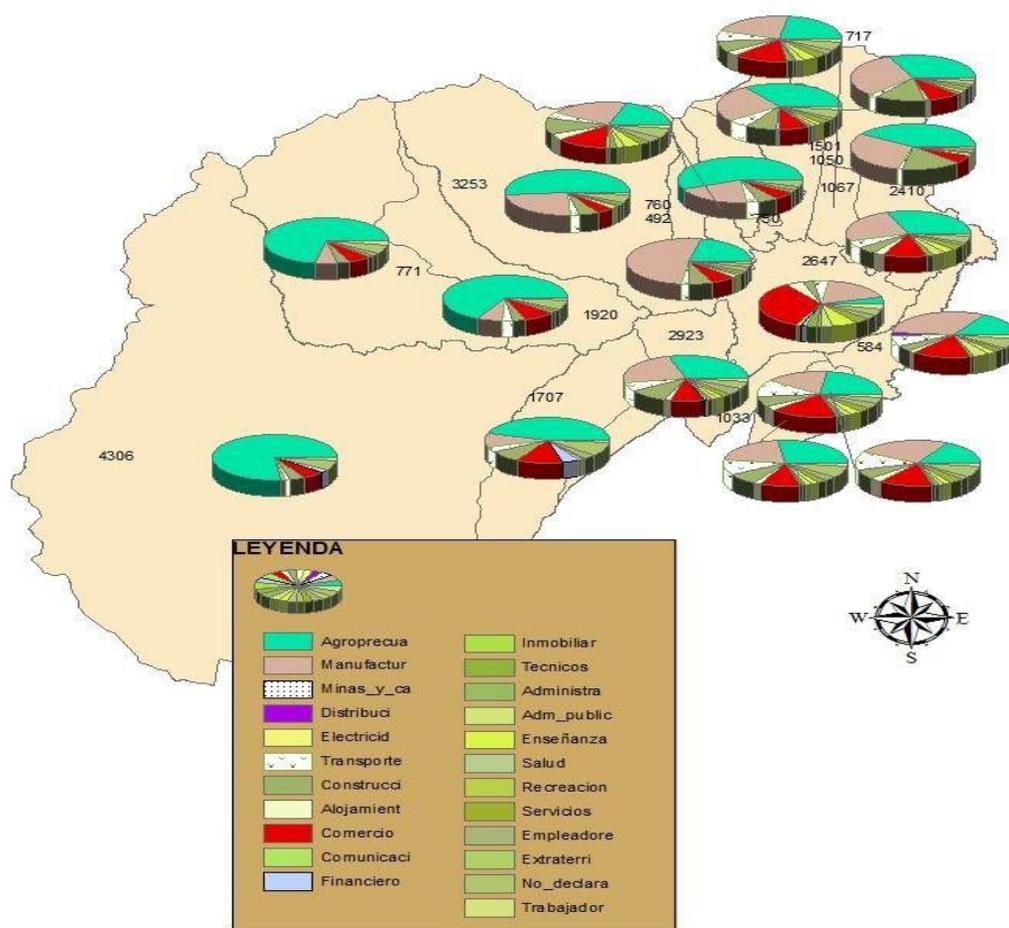


Fuente: Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR.

Para el presente proyecto se plantea el diseño de una planta con una dimensión de construcción de 6.600 m² con una capacidad de tratamiento de aguas residuales generadas por una población de 43.000 habitantes. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2010), la población total de las parroquias Izamba, Atahualpa y Augusto N Martínez que son objeto de estudio cuentan con un total de 33.015 habitantes. Por lo que la planta de tratamiento propuesta abastece de manera eficiente al tratamiento de aguas generadas.

Asimismo, en la figura 6 se puede observar cómo se encuentran distribuida la población por rama de actividad, pudiendo destacar en todo el cantón la actividad agropecuaria y agrícola, seguida de la actividad de manufactura, sin embargo, en la zona norte del Cantón se centra la gran mayoría de éstas, como son las parroquias (Atahualpa, Izamba, Augusto N Martínez, Cunchibamba, Unamuncho, entre otras). Se menciona además que la actividad agrícola es una actividad predominante en la gran mayoría del cantón y representa una de las principales fuentes de empleo en las áreas rurales. Los productos agrícolas principales son: hortalizas, flores y frutas como el tomate de árbol, y tomate riñón, además de las aves que los últimos años ha tenido un incremento significativo en su demanda. Sin embargo, en zonas como Izamba aún se pueden visualizar grandes parcelas de cultivo agrícola, está actividad aporta a contribuir a los ingresos familiares y al abastecimiento de alimentos en el ámbito de verduras y hortalizas (GADMA, 2023).

Figura 6. Distribución de la población por rama de actividad del Cantón Ambato



Fuente: (GADMA, 2023).

2.6. Presupuesto Referencial

A continuación, en la figura 7 se detalla el presupuesto referencial que analiza los costos estimados para la implementación de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales, ubicada en la zona norte del Cantón Ambato, específicamente en la parroquia Izamba con una

dimensión de 6600m² de construcción, para tratar aguas residuales generadas por 43000 habitantes.

Figura 7. Presupuesto Referencial

PROYECTO: Tratamiento Biológico De Aguas Residuales en la Zona Norte Del Cantón Ambato Provincia De Tungurahua.					
INICIO	DURACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Acta de constitución del proyecto	1 semana	Unidad	1,00	\$5.000,00	\$5.000,00
Aprobación de cronograma de actividades		Unidad	1,00	\$500,00	\$500,00
EJECUCIÓN					\$28.195,20
1. Levantamiento informe y diseño					
1.1 Levantamiento expediente técnico					
Visita en territorio	1 semana	m ²	6600	\$0,10	\$660,00
Trabajos topográficos		m ²	6600	\$0,40	\$2.640,00
1.2 Diseño y dibujo de planos					
Levantamiento en territorio	1 semana	m ²	6600	\$0,10	\$660,00
Elaboración de planos de implantación de piscinas		Unidad	1,00	\$300,00	\$300,00
1.3 Establecimiento de medidas					
Cálculo de rubros y medidas	1 semana	m ²	6600	\$0,10	\$660,00
1.4 Selección plantas acuáticas					
Análisis y selección definitiva de plantas acuáticas	2 semanas	Unidad	100,00	\$1,20	\$120,00
1.5 Selección de zona / lugar					
Estudios de suelo y elección definitiva zona	1 semana	m ²	6600	\$0,35	\$2.310,00
2. Adquisición materiales					
2.1 Compra materiales y equipos					
Adquisición cemento, arena y ripio	2 semanas	m ²	6600	\$0,45	\$2.970,00
Selección y compra herramientas de trabajo		Unidad	20,00	\$10,00	\$200,00
2.2 Adquisición plantas acuáticas					
Compra de plantas acuáticas seleccionadas	1 semana	Unidad	100,00	\$0,50	\$50,00
3. Construcción					
3.1 Desenbanque y Parcelamiento tierra					
Limpieza manual	1 semana	m ²	6600	\$0,40	\$2.640,00
Desenbanque y nivelación		m ²	6600	\$0,55	\$3.630,00
3.2 Nivelación suelo					
Nivelación con maquina	1 semana	m ²	6600	\$0,10	\$660,00
3.3 Construcción piscinas					
Construcción del plano de implantación	1 semana	m ²	6600	\$0,80	\$5.280,00
3.4 Colocación arena y ripio					
Colocación de arena y ripio en piscinas	1 semana	m ²	6600	\$0,65	\$4.290,00
3.5 Llenado de aguas residuales					
Colocación de aguas servidas en las piscinas	1 semana	m ³	7,26	\$15,00	\$108,90
3.6 Siembra de plantas acuáticas					
Plantación de lentejas acuáticas y lechugines	1 semana	Unidad	100,00	\$5,00	\$500,00
4. Protocolo de Pruebas					
4.1 Análisis de agua					
Verificación del proceso de tratamiento y calidad de agua	1 semana	m ³	7,26	\$5,00	\$36,30
4.2 Análisis plantas acuáticas					
Verificación de estado de plantas y proceso biológico	2 semanas	m ³	7,26	\$15,00	108,9
CIERRE					
4.3 Entrega de proyecto					
Funcionalidad en su totalidad de las plantas de tratamiento	1 semana	m ³	7,26	\$15,00	108,90
COSTO TOTAL PROYECTO					\$33.804,10
					20 semanas (140 días)

Elaboración: La autora

2.7. Cronograma propuesto

En la figura 8, se plantea el cronograma propuesto, para un período de 4 meses y 5 días con la realización de pruebas piloto y verificación del correcto funcionamiento de la planta de tratamiento biológico en la zona norte del Cantón Ambato, ubicada en la parroquia Izamba con

una extensión de 6600 m² de construcción y una capacidad de tratamiento de agua para 43000 habitantes.

Figura 8. Cronograma propuesto

PROYECTO: Tratamiento Biológico De Aguas Residuales en la Zona Norte Del Cantón Ambato Provincia De Tungurahua.																		
FASES	ACTIVIDADES	SEMANAS																TOTAL SEMANAS
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1. Inicio	1.1 Acta de constitución del proyecto	■																1
Planificación	1.2 Aprobación de cronograma de actividades	■																1
	2. Levantamiento informe y diseño																	
Ejecución	2.1 Levantamiento expediente técnico																	
	Visita en territorio		■															1
	Trabajos topográficos		■															1
	2.2 Diseño y dibujo de planos																	
	Levantamiento en territorio			■														1
	Elaboración de planos de implantación de piscinas			■														1
	2.3 Establecimiento de medidas																	
	Cálculo de rubros y medidas				■													1
	2.4 Selección plantas acuáticas																	
	Análisis y selección definitiva de plantas acuáticas					■	■											2
	2.5 Selección de zona / lugar																	
	Estudios de suelo y elección definitiva zona								■									1
	3. Adquisición materiales																	
	3.1 Compra materiales y equipos																	
	Adquisición cantidad de materiales necesarios								■									2
	Selección y compra herramientas de trabajo									■								1
	3.2 Adquisición plantas acuáticas																	
	Compra de plantas acuáticas seleccionadas										■							1
	4. Construcción																	
	4.1 Desembanque y Parcelamiento tierra																	
Limpieza manual																		
Desembanque y nivelación																		
4.2 Nivelación suelo																		
Trabajos personal técnico																		
4.3 Construcción piscinas																		
Construcción del plano de implantación																		
4.4 Colocación arena y ripio																		
Colocación de arena y ripio en piscinas																		
4.5 Llenado de aguas residuales																		
Colocación de aguas servidas en las piscinas																		
4.6 Siembra de plantas acuáticas																		
Plantación de lentejas acuáticas y lechugines																		
5. Protocolo de Pruebas																		
5.1 Análisis de agua																		
Verificación del proceso de tratamiento y calidad de agua																		
5.2 Análisis a plantas acuáticas																		
Verificación de estado de plantas y proceso biológico																		
5.3 Entrega de proyecto																		
Funcionalidad en su totalidad de las plantas de tratamiento																		
Cierre																		
TOTAL PROYECTO																	20	

Elaboración: La autora

Con la implementación del presente proyecto de tratamiento biológico de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato, se ha dado cumplimiento con los objetivos planteados, por un lado se describe la problemática existente en la zona de estudio, al no contar con una planta de tratamiento de aguas residuales por falta de presupuesto, por lo que se propone una planta de tratamiento biológico que ha demostrado ser muy eficiente, pudiendo obtener un tratamiento adecuado de agua, y la reutilización del 100% de la misma, además del aprovechamiento de residuos (lodos) para generación de abonos orgánicos y biofertilizantes, y que no requiere consumo de energía lo que supone un ahorro económico significativo para el municipio en el largo plazo, contribuyendo de manera eficiente al cuidado del medioambiente de la zona y el Cantón. En síntesis, las investigaciones realizadas avalan de manera sustancial la viabilidad de la propuesta para llevar a cabo la implementación de una planta de tratamiento biológico para la

disminución en el consumo de los recursos hídricos, su reutilización y aprovechamiento para abonos orgánicos y biofertilizantes en la zona norte del Cantón Ambato.

Conclusiones y Recomendaciones

Se detallan las conclusiones propuestas que surgen con el cumplimiento de los objetivos planteados en el desarrollo del presente proyecto, para la ejecución de una planta de depuración biológica para la zona norte del Cantón Ambato incentivando a mejores prácticas medioambientales, a través del aprovechamiento y reutilización del recurso hídrico.

Conclusiones

- El proyecto de Tratamiento Biológico de aguas residuales en la zona norte del Cantón Ambato Provincia de Tungurahua ha demostrado ser una propuesta eficiente para abordar una problemática existente en las aguas residuales y el nivel de incidencia ambiental que genera para la municipalidad. Por medio de la ejecución de múltiples estrategias alineadas con los fundamentos de economía circular, que promoverá el ahorro, reutilización y aprovechamiento de las fuentes hídricas.
- Se puede concluir en la presente investigación que se han cumplido con éxito los objetivos trazados y se ha aportado de manera eficiente a la adopción de prácticas más sostenibles para la zona norte del Cantón Ambato.
- Actualmente existen diversas alternativas en el ámbito de depuración de aguas residuales, y bajo el enfoque de tratamiento biológico se ha analizado que existen grandes oportunidades como fuentes de empleo y emprendimientos, se ha comprobado que la reutilización y aprovechamiento de aguas residuales genera un ahorro económico, combatir la sobreexplotación de los recursos, y reducir los niveles de contaminación en las fuentes hídricas.
- Además, en el uso de aguas residuales tratadas con fines agrícolas ha demostrado ser una alternativa viable y sostenible, permitiendo aprovechar la calidad del agua y sus compuestos una vez tratada aportando gran cantidad de mineral para la fertilidad del suelo.
- Por último, para garantizar la eficiencia y resultados esperados de la planta se debe realizar monitoreo y seguimiento continuo en la medición de la calidad de agua, y sus niveles de contaminación con el fin de tomar acciones preventivas y correctivas en los casos de existir inconvenientes.
- Es imprescindible relatar las debilidades y desafíos que deben ser considerados, la inversión inicial necesaria, los espacios y zonas adecuadas, materiales, equipamiento e implementos requeridos pueden resultar un desafío para la municipalidad, adicionalmente la coordinación con los organismos estatales y privados y demás actores involucrados son indispensables para el éxito del proyecto.

Las conclusiones mencionadas deben ser consideradas y analizadas por las autoridades competentes municipales, estatales y privadas para la implementación de políticas, normativas y regulaciones necesarias para evitar acontecimientos adversos y así, promover una gestión integral y sostenible de los recursos hídricos en el tratamiento, reutilización y aprovechamiento de aguas residuales buscando enfocarse hacia un modelo de economía circular del agua.

Recomendaciones

- Basándose en los resultados del desarrollo del proyecto se han descrito diversas recomendaciones clave, partiendo de esto es vital crear convenios interinstitucionales y estratégicos entre la municipalidad, los organismos estatales, privados y la comunidad en general lo que permitirá implementar de manera eficiente las opciones propuestas, así como en las capacitaciones de educación y concientización sobre la gestión integral de los recursos hídricos.
- Se recomienda reforzar la normativa y legislación dentro del contexto de la gestión y tratamiento de aguas residuales de todo tipo, revisando y actualizando regulaciones, normativa de control y monitoreo para garantizar el cumplimiento de todos los actores involucrados, estableciendo sanciones y subvenciones claras tanto para el sector industrial y la comunidad.
- Fomentar la participación activa y el involucramiento de la comunidad y actores involucrados logrando una concientización efectiva sobre la ciudadanía. Además de generar canales informativos y de difusión que promuevan las buenas prácticas medioambientales y los beneficios de una economía circular del agua tanto económicos, sociales y ambientales.
- Buscar sinergias con el sector agrícola, industrial, organizaciones públicas y privadas para obtener financiamiento de la planta para realizar un intercambio de los residuos obtenidos luego de la depuración de las aguas residuales con la finalidad de maximizar la eficiencia del proceso y sus costos operativos.
- Por último, promover la educación y concienciación ambiental entre la comunidad para fomentar el uso responsable del agua y los beneficios del tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua, L. O. (2015). *Reglamento Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*. Obtenido de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Reglamento-Ley-Recursos-Hidricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>; Registro Oficial Suplemento 483, Decreto Ejecutivo 650.
- Aguilar. (2019). Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con Humedales Artificiales para la Comunidad de Charcay, Provincia del Cañar (Ecuador). *Universitat Politècnica de València (UPV)*, Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10251/119122>.
- Aguilar, J. d., & Cubas, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5, 13.
- Aguilera, F. (2006). Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales. *Polis Revista Latinoamericana*, 5(14), , 18.
- Andreo, P. (2014). EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. *Universidad de Murcia*, 495, Obtenido de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/286327/TPAM.pdf;sequence=1>.
- Arancibia, S., De la Vega, F., Denis, A., & Astaburuaga, P. (2015). valuación de programas sociales: un enfoque multicriterio. *Revista del CLAD Reforma y Democracia*, (63), 99-126.
- BOE. (2023). Código de Aguas Normativa Autonómica. *Códigos electrónicos*, 1181, Obtenido de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj_7ZWW6eKBAXWfnGoFHREhAJgQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.boe.es%2Fbiblioteca_juridica%2Fcodigos%2Ffabrir_pdf.php%3Ffich%3D139_Codigo_de_Aguas_Normativa_Autonomi.
- Camacho, J. (2022). Metodología de marco lógico como herramienta para el diseño, ejecución, monitoreo y evaluación de proyectos de inversión en el área social. *Población y Desarrollo*, 28(55), 1-4, DOI: <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2022.028.55.001>.
- Cardenas, L., Cruz, N., & Álvarez, N. (2022). Revisión del marco lógico: conceptualización, metodología, variaciones y aplicabilidad en la gerencia de proyectos y programas. *Inquietud Empresarial*, 22(1), 117-133., 117-133, Obtenido de: <https://doi.org/10.19053/01211048.13408>.
- CEPAL. (2008). *Manejo y tratamiento de aguas residuales con lenteja acuática, lechuguín y totora*. OTAVALO, ECUADOR: W.K. KELLOGG FOUNDATION.
- CEPAL. (2022). *Recursos Naturales y Desarrollo* 213. Santiago, obtenido de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48613/1/S2200923_es.pdf; ISSN 2664-4541.

- Chafra, P. (2022). El cambio climático en Ecuador: Perspectiva desde la economía circular y la economía del agua. *Centro de Investigaciones Económicas (16)*, 12-19, FSCH - ESPOL, 43.
- Chahal, et al. (2016). Pathogen and particle associations in wastewater: significance and implications for treatment and disinfection processes. *Adv. Appl. Microbiol.*, 64-110.
- COOTAD. (2010). *Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct.-2010*. Quito: CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL.
- Delgadillo, et al. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, Serie Técnica*, Cochabamba - Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- EMAPA. (2023). *La Emapa cuenta con 18 plantas de tratamiento de aguas residuales*. Ambato: Obtenido de: <https://www.emapa.gob.ec/2023/05/23/la-emapa-cuenta-con-18-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>.
- FAO. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Roma, ISBN 978-92-5-306578-3, Obtenido de: <https://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf>: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Floramis, et al. (2016). SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO VILLA CLARA. *Revista Centro Azúcar (43)*, 8, Obtenido de: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n2/caz07216.pdf>.
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental*, 5.
- GADMA, G. A. (2023). (07 de febrero de 2017), *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN AMBATO,2050*. AMBATO: Obtenido de: https://ambato.gob.ec/wp-content/uploads/2023/02/03_PDOT_Ambato_2050.pdf.
- Gobierno Provincial de Tungurahua. (2014). (07 de febrero de 2017), *Agenda ambiental de tungurahua 2014-2020*. Obtenido de: https://ambato.gob.ec/wp-content/uploads/2023/02/03_PDOT_Ambato_2050.pdf. Ambato.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2000). *Metodología de la Investigación*. México: Mc GrawHill Education .
- Herrera, J., & Muñoz, J. (2017). *REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE COMUNIDADES RURALES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS*. Riobamba, Obtenido de: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/UNACH-EC-ING-CIVIL-2017-0034.pdf>: UNACH.
- INEC, I. N. (2010). *Censo Poblacional 2010*. Obtenido de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/tungurahua.pdf>: INEC.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, I. (2016). «*Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales (Agua y Alcantarillados)*. Quito.

- MAATE. (2022). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Quito: Obtenido de: <https://www.ambiente.gob.ec/proceso-de-construccion-participativa-y-socializacion-del-borrador-preliminar-del-proyecto-de-la-nueva-ley-organica-para-la-gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos/>.
- Mairal, D. (2019). *Aragon Valley*. Obtenido de Aragon Valley: Obtenido de: <http://www.aragonvalley.com/es/arbol-de-objetivos-goal-tree-metodo-establecer-criterios/>
- Manrique, G. (07 de Octubre de 2022). *ACUERDO MINISTERIAL Nro. MAATE-2022-098*. Obtenido de MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA (MAATE): Obtenido de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/10/Acuerdo-Ministerial-Nro.-MAATE-2022-098.pdf>
- Mendoza, S., Cervantes, M., Valenzuela, A., Guzmán, T., Orona, I., & Cervantes, T. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 12.
- Mora, J. (2015). *Planificación de proyectos de implantación de infraestructuras de redes telemáticas*. IFCT0410. Málaga: ISBN: 9788416433414, 8416433410, Obtenido de: https://www.google.com.ec/books/edition/Planificaci%C3%B3n_de_proyectos_de_implantac/zkspEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1.
- MPCEIP. (2021). Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. *Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca*, 206, Obtenido de: https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf.
- MPR. (2023). Ley de Aguas ultima modificación 12 de mayo de 2023. *Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática*, 149, obtenido de https://www.boe.es/biblioteca_juridica/abrir_pdf.php?id=PUB-PB-2023-202.
- ODS, O. d. (2023). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. Obtenido de: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- OPM, G. O. (23 de Junio de 2023). *OPM Integral*. Obtenido de OPM Integral: <https://opmintegral.com/gestion-de-proyectos/metodologias-agiles-vs-tradicionales/>
- Ortiz., et al. Nuñez, G., López, A., & Frías, A. (2021). La depuración de aguas residuales. Estudios de soluciones para el municipio de Ambato. Ecuador. *Conciencia Digital*, Obtenido de: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1802>.
- Pérez, P. (2021). *Análisis del proceso de remoción de sulfuro por distintos métodos en aguas residuales de la planta de tratamiento Mollepamba de la EP-EMAPA-A*. Ambato: Obtenido de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33100/1/t1820mquim.pdf>.
- Pico, D. (2022). *EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA TOTORAS, CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA*.

- Ambato, Obtenido de:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34693/1/Tesis%20I.C.%201558%20-%20Pico%20Freire%20Doris%20Karina.pdf>: 143.
- Raveh, E., & Ben-Gal, A. (2016). Irrigation with water containing salts: evidence from a macro-data national case study in Israel. *Agric. Water Manag.*, 176-179.
- Rivadavia, E. (2019). EL AGUA RESIDUAL COMO RECURSO DE NUTRIENTES. *Universidad de Alcalá*, 103, Obtenido de:
https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/41950/TFM_Taipicana_Proano_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Rojas, P., Parada, C., & Leal, J. (2022). ESTRUCTURAS DESGLOSADAS DE TRABAJO (EDT) EN LA GESTIÓN DE ALCANCE DE PROYECTOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, ISSN: 1692-7257 -Volumen 1 – Número 39, Obtenido de:
<https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcta/article/view/1375/2617>.
- Sánchez, N. (2007). El marco lógico. Metodología para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos. *Visión Gerencial (2), julio-diciembre*, pp. 328-343, Obtenido de:
<https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=465545876012>.
- Silva, et al. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *AGRONOMIA COLOMBIANA*, 13 Obtenido de:
<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n2/v26n2a20.pdf>.
- Simón, A. (2017). *La Economía Circular del Agua*. España: Water Monographies.
- Vargas, et al. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare*, 28(2), . *Revista chilena de ingeniería*, 315-322, Obtenido de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>.
- Villacís, A. (2011). Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. *Obtenido de* <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1350>.
- WWF. (2016). *El tratamiento biológico de aguas residuales, fundamento de una comunidad saludable*. Obtenido de: <https://www.wwf.org.ec/?264791/El-tratamiento-biolgico-de-aguas-residuales-fundamento-de-una-comunidad-saludable>: Working to sustain the natural world for the benefit of people and nature.
- Zamora, et al. (2008). El efecto del riego con aguas residuales sobre las propiedades químicas de los suelos de la planicie de Coro, estado Falcón. *Bioagro*, 20(3), 20.