



**AQUA VILLA: Implementando soluciones sostenibles con fitoquímicos para
mejorar la calidad de agua y de vida en Villa Restrepo**

Luis Miguel Espinosa Vásquez. ID905787

Marilyn Cristina Ortiz Montes ID 975610

Corporación Universitaria Minuto de Dios Rectoría Tolima y Magdalena

Medio Programa Académico

Esp. En Gerencia de Proyectos

Adrian Gonzalez

mayo de 2024

**AQUA VILLA: Implementando soluciones sostenibles con fitoquímicos para
mejorar la calidad de agua y de vida en Villa Restrepo**

Luis Miguel Espinosa Vásquez. ID905787

Marilyn Cristina Ortiz Montes ID 975610

Corporación Universitaria Minuto de Dios Rectoría Tolima y Magdalena

Medio Programa Académico

Adrian Gonzalez

Esp. En Gerencia de proyectos

mayo de 2024

Tabla de Contenido

Portada	1
Contraportada.....	2
Lista de Tablas.....	5
Lista de Ilustraciones	5
Resumen.....	6
Abstract.....	7
Introducción	8
Planteamiento del Problema.....	9
Pregunta de investigación	12
Justificación	12
Objetivos.....	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Marcos de Referencia	14
Marco Teórico	14
Escasez del recurso hídrico	14
Aspectos de la salud.....	14
Antecedentes conceptuales.....	15
Aspecto Ambiental.....	17

Dimensión Socioeconómica	18
Marco legal.....	21
Estado del Arte	23
Metodología	41
Enfoque Mixto.....	41
Impacto en la salud:	42
Impacto en la calidad de vida:	42
Alcance	43
Población y muestra.....	43
Procedimiento.....	44
Recolección de la información	45
Instrumentos	45
Resultados	46
Discusión.....	49
Recomendaciones	54
Conclusión	55
Anexos	58
Referencias.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados Fisicoquímicos del agua cruda de la Vereda Villa Restrepo 46

Tabla 2. Resultados Bacteriológicos agua cruda- Vereda Villa RestrepoTabla 2..... 48

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Corregimientos del municipio de Ibagué..... 10

Ilustración 2. Diseño filtro 52

Resumen

El agua es un recurso vital y un derecho fundamental, indispensable para que el ser humano viva dignamente. El agua debe ser suficiente, aceptable, asequible y salubre tanto para el uso doméstico como personal. Sin embargo, hacia el año 2022, el 27% de la población mundial no contaba con suministro de agua potable, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019). Dado que el acceso al agua potable es un derecho fundamental, todas las personas deberían tener garantizado el acceso a agua de calidad que cumpla con las especificaciones y estándares requeridos.

En la vereda Villa Restrepo, del municipio de Ibagué, Tolima, los habitantes no cuentan con agua potable debido a que la infraestructura del acueducto no está en condiciones óptimas, encontrándose en un estado de deterioro (Bohórquez, 2023).

Al identificar esta problemática, se propuso como medida económica y accesible el diseño de un filtro doméstico para el tratamiento del agua, con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano. Es fundamental garantizar la seguridad de la población en términos de salud y calidad de vida, así como la calidad del agua consumida. Estos filtros están diseñados para eliminar una amplia gama de contaminantes y partículas que representan riesgos para la salud humana, utilizando productos naturales (fitoquímicos) en lugar de productos químicos, lo que facilita su comprensión y aceptación por parte de la comunidad. Además, esta iniciativa tiene el potencial de mejorar el turismo y el desarrollo socioeconómico de la vereda.

Palabras clave: Agua potable, fitoquímicos, filtro doméstico, Villa Restrepo.

Abstract

Water is a vital resource and a fundamental right, indispensable for human beings to live in dignity. Water must be sufficient, acceptable, affordable and safe for both domestic and personal use. However, by 2022, according to the World Health Organization (WHO, 2023), 27% of the world's population did not have a safe water supply. Since access to safe drinking water is a fundamental right, all people should be guaranteed access to quality water that meets the required specifications and standards.

In the Villa Restrepo district of the municipality of Ibagué, Tolima, the inhabitants do not have drinking water because the aqueduct infrastructure is not in optimal conditions and is in a state of deterioration (Bohórquez, 2023).

When this problem was identified, the design of a domestic filter for water treatment was proposed as an economical and accessible measure to make it suitable for human consumption. It is essential to ensure the safety of the population in terms of health and quality of life, as well as the quality of the water consumed. These filters are designed to remove a wide range of contaminants and particles that pose risks to human health, using natural products (phytochemicals) instead of chemicals, which facilitates their understanding and acceptance by the community. In addition, this initiative has the potential to improve tourism and the socioeconomic development of the village.

Key words: Drinking water, phytochemicals, domestic filter, Villa Restrepo.

Introducción

La potabilización del agua es una problemática crucial a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente 2.200 millones de personas carecen de acceso y suministro adecuado de agua apta para consumo humano (OMS, 2019). Este desafío se ha identificado en la vereda de Villa Restrepo, ubicada en el municipio de Ibagué, Tolima, donde actualmente no se dispone de un acceso adecuado a agua apta para consumo humano, lo cual impacta negativamente en la calidad de vida de los habitantes y el desarrollo de la región.

En respuesta a esta problemática, surge la investigación sobre un filtro casero utilizando fitoquímicos como una solución para satisfacer las necesidades de la comunidad de Villa Restrepo. El proyecto se centra en la importancia de ofrecer alternativas que, además de ser eco-sostenibles, sean accesibles para comunidades vulnerables, con el fin de garantizar el acceso a agua apta para consumo humano y mejorar la calidad de vida de los residentes, así como también aumentar el potencial turístico de la región.

Para llevar a cabo esta iniciativa, se ha diseñado un proceso de investigación destinado a identificar los materiales y tecnologías más adecuados para la construcción del filtro de agua. A partir de los hallazgos y su aplicación a las características del suministro de agua del acueducto de la vereda de Villa Restrepo, esta iniciativa busca promover y proyectar alternativas sostenibles y accesibles que proporcionen soluciones prácticas para mejorar la calidad de vida de los habitantes y el potencial socioeconómico de la región. Como señaló Jacques-Yves Cousteau, "El agua es el principal recurso de vida, y su gestión inteligente es clave para un futuro sostenible". Este proyecto pretende materializar esta premisa, trabajando hacia un futuro en el que el acceso a agua apta para consumo humano sea una realidad para todos, incluso en las comunidades más vulnerables.

Planteamiento del Problema

El acceso de agua apta para consumo humano es una problemática concurrente a nivel global como local que repercute directamente en el bienestar humano, contribuyendo a la transmisión de enfermedades impactando la calidad de vida y las actividades rutinarias de la comunidad, además interfiere en el desarrollo económico generando limitaciones en la operatividad eficiente del sector socioeconómico y turístico. ONU (2021).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) publicó un reporte sobre la distribución actual del líquido en el mundo. La situación, tal como se puede intuir, no es favorable. Cerca del 26% de la población mundial carece de agua potable y el número aumentará irremediablemente en las siguientes décadas, en 2023 alrededor de 2 mil millones de personas no cuentan con acceso al agua potable y 3,600 millones carecen de acceso a un sistema de saneamiento y almacenamiento eficaz. (Garay,2023)

Según el ministerio de ciencia e innovación en el 2024, Colombia es el país que ocupa el segundo lugar en biodiversidad y está entre las 12 naciones más mega diversas del planeta, sin embargo, un estudio reciente por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio aseguró que, en Colombia, 12 millones de personas tienen acceso inadecuado al servicio de agua potable, esto representa 25% de la población del país. especialmente en el 90 % de territorios en zonas rurales del país. (Radio Nacional de Colombia,2023).

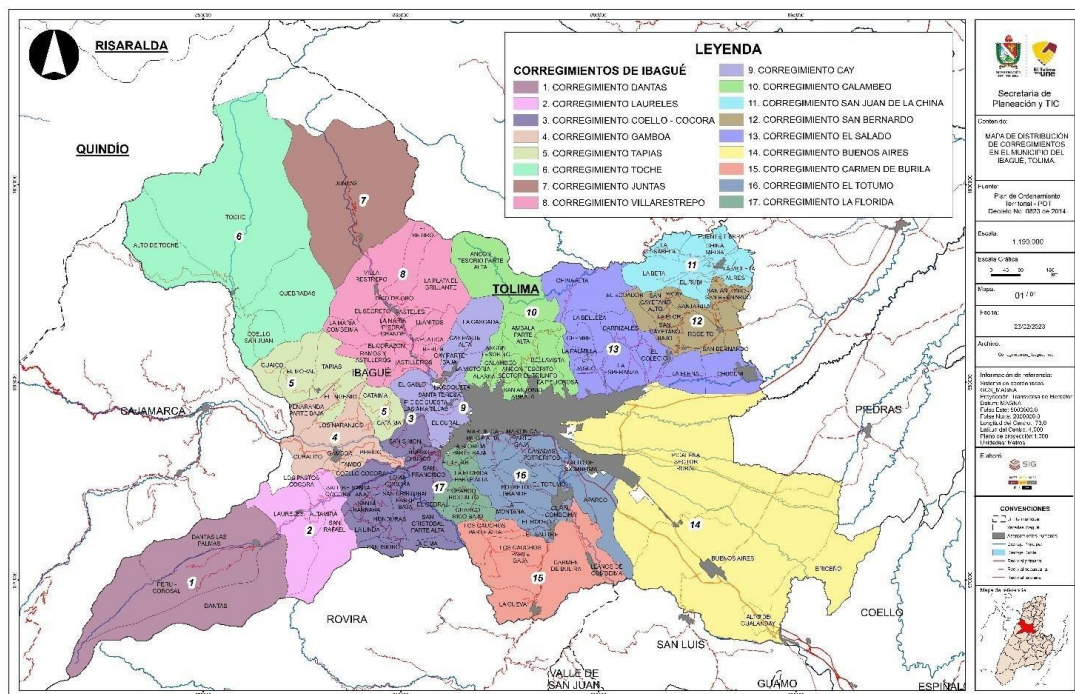
Un panorama crudo se vive en el departamento del Tolima, debido a que aumentó el número de personas sin suministro a agua tratada así lo dio a conocer el más reciente estudio de pobreza multidimensional presentado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el que se detalla que en la región se pasó de tener un 10% de la

población sin suministro de agua potable, a un 13,9%, convirtiéndose, de esa forma, en uno de los territorios en situación más crítica. (Redacción Ibagué, 2023).

El gerente de la Empresa Departamental de Acueducto, Alcantarillado y Aseo del Tolima (EDAT, Rodrigo Herrera comenta en una entrevista que de los 45 municipios del Tolima donde hay un sistema eficiente, buena parte de los 110 acueductos rurales de la región no son capaces de sostener una estructura de mantenimiento y, por lo tanto, de buenos estándares de calidad. (Redacción Ibagué, 2023).

Claro ejemplo es la vereda de Villa Restrepo, la cual fue fundada por Martín Restrepo en el año 1936, Villa Restrepo es el centro más poblado del cañón del combeima, antes llamado "Hacienda Tolima", con una temperatura de 20 °c. Cuenta con 104 casas y 400 habitantes entre zona alta y baja, ubicada a 14 kilómetros del casco urbano de la ciudad de Ibagué y diferenciado por el octavo corregimiento.

Ilustración 1. Corregimientos del municipio de Ibagué



Fuente: secretaria de planeación, Gobernación del Tolima.

Aunque la vereda cuenta con un sistema de acueducto comunitario administrado por la junta de acción comunal, del que se benefician 63 usuarios y sus familias. El sistema de acueducto evidencia deterioro y mal funcionamiento de las instalaciones, se reconoce que el ciclo de vida útil de los elementos estructurales que la componen culminó, presentando ineficiencia en el sistema de potabilización de agua en la región. (Bohórquez, 2023)

Esta situación interfiere en la calidad de vida de la comunidad de Villa Restrepo, pues el servicio de agua inadecuado incrementa las enfermedades de la población según un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) comprueba que en Colombia una variable de enfermedades se debe a microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua de consumo. Entre ellas se puede citar la malnutrición, las enfermedades intestinales, las intoxicaciones, entre otras. OMS, (s.f).

Las repercusiones de la ineficiencia y el acceso al agua potable también afectan de manera significativa al desarrollo socioeconómico y turístico de la región. El turismo es un motor clave de la economía, que contribuye con más del 10 % del producto interno bruto PIB mundial y genera alrededor de 115 millones de puestos de trabajo. (Water,2017).

Una de las principales fuentes económicas de la región es el turismo y este se ve afectado por el inadecuado acceso al agua potable, repercutiendo en la sostenibilidad turística y afectando directamente el desarrollo socioeconómico de Villa Restrepo.

La relación entre el agua y el crecimiento económico es compleja y multifacética. El acceso al agua es esencial para el desarrollo económico, ya que es un recurso vital para la producción de alimentos, la generación de energía, la fabricación de productos y la prestación de servicios. La no disponibilidad de agua potable se convierte en un obstáculo importante para el crecimiento económico y el desarrollo de la población. (Auara,2023).

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los elementos esenciales para lograr el mejoramiento de la calidad del agua del acueducto veredal agua villa en la vereda de Villa Restrepo mediante el uso de componentes naturales y fitoquímicos desde una perspectiva teórica?

Justificación

En el contexto actual, el acceso al agua se ha convertido en un tema de relevancia internacional. El agua se reconoce como un derecho fundamental a nivel global, A pesar de los avances científicos y tecnológicos en la identificación y análisis de los recursos hídricos, aún existe un considerable porcentaje de la población sin acceso a un suministro de agua potable.

Esta investigación se centró en una propuesta teórica para el uso de fitoquímicos en el tratamiento del agua destinada al consumo humano en la vereda Villa Restrepo. El objetivo de nuestro estudio consistió en reemplazar los productos químicos industriales utilizados en la purificación del agua por alternativas naturales, específicamente fitoquímicos. Esta propuesta se basó en investigaciones previas, como la de Ospina (2011), en el que se sugirió un filtro casero integrando insumos naturales según la región del consumidor para obtener agua apta para el consumo humano.

El origen de esta investigación se localizó en el corregimiento No. 8 de Villa Restrepo, en la vereda Villa Restrepo, en el municipio de Ibagué, Tolima (Alcaldía de Ibagué, 2019). Esta área enfrenta una problemática particular debido a su ubicación geográfica y su intensa actividad turística. El desarrollo económico de la comunidad está estrechamente ligado a esta actividad. Implementar nuestro método de filtración del agua para hacerla apta para el

consumo humano no solo proporcionaría acceso a un servicio vital, sino que también contribuiría al progreso económico local.

Al desarrollar un diseño teórico de un filtro con fitoquímicos, se buscó ofrecer una solución innovadora y accesible que pueda ser replicada en otras regiones con problemas similares de acceso a agua potable. Este enfoque puede mejorar la salud y el bienestar de los habitantes de Villa Restrepo y servir de modelo para futuras investigaciones y aplicaciones en diferentes contextos rurales y urbanos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una solución teórica basada en el uso de componentes naturales y fitoquímicos, que puedan usarse en el futuro para diseñar un filtro de tratamiento de agua que garantice que el agua del acueducto Acua Villa, abastecido Quebrada la Cascada (La Palmera), sea apta para el consumo humano.

Objetivos Específicos

Identificar los principales factores que contribuyen a la contaminación del recurso hídrico en la comunidad.

Determinar la calidad y la composición fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico disponible en el acueducto de la Vereda Villa Restrepo.

Proponer una estrategia teórica que incluya el uso de fitoquímicos como alternativas sostenibles, para el diseño de filtros de tratamiento de agua. Para asegurar que el agua del acueducto Aqua Villa sea apta para el consumo humano.

Marcos de Referencia

Marco Teórico

La representación de la investigación abordará los postulados teóricos más significativos para las siguientes categorías: Escasez del recurso hídrico, aspectos de la salud, proceso de alistamiento de los fitoquímicos, y tratamiento del agua.

Escasez del recurso hídrico

La escasez de agua es uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se enfrentan muchas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. (ONU, 2014).

Aspectos de la salud

La afectación del agua es derivada por diferentes factores producidos por efectos particulares. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se pueden clasificar de la siguiente manera:

Contaminación por bacterias, virus y otros organismos patógenos.

Contaminación por sustancias orgánicas susceptibles de descomposición, que al absorber el oxígeno del agua causan la muerte de los peces, producen olores pestilentes, y si no es excesiva, puede desaparecer al cabo de cierto tiempo, con lo que el cauce de agua recobra su aspecto sano.

Contaminación por sales inorgánicas, que no pueden eliminarse por técnicas habituales de tratamiento de agua.

Contaminación por sustancias nutritivas de las plantas (fertilizantes). Contaminación por sustancias oleosas.

Contaminación por agentes tóxicos específicos (plaguicidas, otros).

Dichos factores representan un potencial de riesgo, dado a sus agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos (lombrices), que causan infecciones gastrointestinales en los seres humanos. (Correa. s.f).

Con base a esta información los diversos factores mencionados anteriormente repercuten en la calidad de vida de la comunidad específicamente en el área de la salud, cuando la comunidad se ve interferida por esa situación su salud disminuye dándole paso a diversas enfermedades degenerativas y desnutrición lo que genera que el individuo no pueda desarrollar sus actividades rutinarias y laborales oportunamente.

Antecedentes conceptuales

Las definiciones técnicas para interpretar el objetivo o alcance del estudio en entender el proceso de filtración y el uso de fitoquímicos para la clarificación y desinfección del agua:

Agua cruda: agua natural que no se ha sometido a tratamientos para su potabilización (Acevedo, E, 2019).

Agua Potable: cumple las características físicas, químicas y microbiológicas según la Resolución 2115 de 2017 (Acevedo, E, 2019).

Agua apta para el consumo humano: es aquella que está libre de patógenos y de sustancias tóxicas que puedan constituir factor de riesgo para el individuo (calidad del agua para el consumo humano)

Calidad del agua: las características químicas, físicas o biológicas del agua. Rock, C., & Rivera, B. (2014).

Proceso de alistamiento del fitoquímico

Plantas: son organismos vivos autosuficientes pertenecientes al mundo vegetal que pueden habitar en la tierra o en el agua (Botanical-online,2022).

Fitoquímicos: sustancias que se encuentran en los alimentos vegetales con efectos positivos en la salud (Acevedo, E, 2019).

Molienda: La molienda es el proceso por el que se reduce el tamaño de las partículas de un producto mediante fuerzas mecánicas. Esto se logra con equipos especializados que aplican diferentes métodos de trituración capaces de pulverizar alimentos sólidos y líquidos

Tamizado: es un método simple que **permite separar partículas de diferentes tamaños al pasarlas a través de un tamiz** (un filtro con malla de alambre) o colador fino. Durante este proceso, las partículas pequeñas pasan por los orificios del colador y las de mayor tamaño quedan retenidas

Caracterización del agua

Fisicoquímico: Rama de la ciencia que estudia la interrelación entre las propiedades físicas y químicas de una sustancia (Real Academia Española).

Turbidez: es la medida del grado de transparencia que pierde el agua u otro líquido incoloro debido a la presencia de partículas en un líquido, el cual se mide a través de un turbidímetro, donde sus unidades se expresan en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). (Acevedo, E, 2019).

PH: es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia (Qué es el PH).

E-coli: son bacterias gram-negativo y son un tipo de bacterias coliformes fecales que se encuentran comúnmente en los intestinos de los animales March 2014 y los seres humanos Rock, C., & Rivera, B. (2014).

Tratamiento del agua

Coagulación: el proceso de desestabilización de las partículas coloidales con objeto de anular o disminuir las fuerzas de repulsión, permitiendo que las partículas se unan y sedimenten (Acevedo, E, 2019).

Flóculos: son pequeñas partículas o agregados de partículas que se forman en una disolución líquida cuando las partículas en suspensión se unen entre sí a través de fuerzas de van der Waals o electrostáticas (Miñan, M, 2024).

Floculación: es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los flóculos (Chulluncuy, Nadia.2011).

Clarificación: es divulgada en la remoción de turbiedad y color del agua que implica la utilización de coagulantes (Fluence, 2024).

Sedimentación: proceso físico donde las partículas en suspensión que se encuentran en el agua son removidas o separadas del fluido, debido a la gravedad (Chulluncuy, Nadia.2011).

Filtración: Consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos ya sean bacterias o virus a través de un medio poroso, en el que se deben cumplir los estándares de calidad para que el agua sea potable (Chulluncuy, Nadia.2011).

Desinfección: proceso físico o químico que permite ya sea la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua (Chulluncuy, Nadia.2011).

Aspecto Ambiental

Con base a la investigación del ingeniero Arturo correa, el agua existe en forma sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor de agua), que se puede observar en océanos, ríos, nubes, lluvia y otras formas de precipitación en frecuentes cambios de estado. De esta forma, el agua superficial se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se infiltra en el suelo y escurre

hacia el mar. Al conjunto de procesos involucrados en la circulación y conservación del agua en el planeta se le llama ciclo hidrológico. Correa, (s.f).

Según la corriente del ingeniero Arturo Correa el agua al contemplar su ciclo hidrológico el ser humano tiene la potestad y el derecho de manipular el recurso hídrico según la necesidad que tenga, Sin embargo, así como el ser humano le saca el máximo provecho alrededor del mundo, los lagos, ríos, canales y otros cuerpos de agua son contaminados por descargas industriales, por la actividad antropogénica o por procesos naturales.

En los países en desarrollo, la mayoría de los desechos industriales se vierten al agua sin tratamiento, contaminando así el recurso hídrico disponible, mientras que los países industrializados generan desechos peligrosos que impactan los ecosistemas y deterioran el agua, el aire y el suelo. (Arango, 2013).

Siendo esta una situación desfavorable que da paso a la escasez del recurso hídrico.

Dimensión Socioeconómica

Antes de profundizar en la temática se le brinda al lector la definición de la dimensión socioeconómica: Según la Real Academia Española define la palabra socioeconómica como adjetivo Perteneiente o relativo a los factores sociales y económicos. (RAE, 2023).

El autor Cayce, et al. (2013). Nos define más precisa la dimensión socioeconómica, es una situación social que incluye ingresos, educación y ocupación, ligada a una amplia gama de repercusiones de la vida, que abarcan desde capacidad cognitiva y logros académicos, hasta salud física y mental.

Como investigadores estamos totalmente de acuerdo con la definición del autor Caice, puesto que podemos deducir que esta dimensión socioeconómica está ligada a diversos factores que se presentan en la vida cotidiana de un individuo.

Estos factores se ven aún más reflejados cuando los individuos comparten una necesidad o un bien en común como es el caso de los habitantes de la vereda de Villa Restrepo ubicada en el municipio de Ibagué Tolima, Esta vereda ha sido reconocida por su diversidad de flora, fauna, gastronomía y demás categorizándola como un destino turístico emblemático del departamento del Tolima.

Cuando las sociedades acceden a estos destinos turísticos se debe contar con los recursos suficientes para solventar la demanda turística, lamentablemente la vereda se ve perjudicada por la ineficiencia del recurso hídrico, afectando no solo la integridad de los habitantes y su sector económico.

Por eso se presentaron los postulados de varios autores donde nos indicaron que el agua es un recurso primordial para sostenimiento de la comunidad.

Con base al artículo “Factores determinantes del consumo productivo de agua y sus efectos en la actividad económica” Publicado por los autores Castillo, et al. (2021). El agua se considera un bien económico, ya que su uso en combinación con otros factores de producción permite la realización de una actividad productiva. Su escasez significa que tiene usos alternativos y costos para quienes lo demandan. Por tanto, dado que el agua permite la producción de bienes y la provisión servicios de interrelacionados entre sí, su consumo por las distintas actividades económicas está determinado por la cantidad y calidad del agua disponible.

Al respecto, El autor Michael, H (2006) consideró que el agua se caracteriza por su esencialidad, es decir, es un insumo sin el cual no es posible completar el proceso de producción. En consecuencia, el agua es un insumo no sustituible ni intercambiable, condicionando así el desempeño de cualquier actividad o sector económico.

En este sentido, Corroboramos que la fuente principal de la actividad económica de la Vereda de Villa Restrepo depende directamente de la accesibilidad, eficiencia y gestión del recurso hídrico. Esta situación puede contraer repercusiones en el desarrollo productivo de la región impactando directamente el sector económico y su entorno social y turístico, es vital abordar esta problemática para mantener la vereda en un bienestar y crecimiento continuo.

Importancia del recurso hídrico para el desarrollo socioeconómico

Con base en las especificaciones mencionadas para este anteproyecto, nos pareció prudente abordar la importancia del recurso hídrico para el desarrollo socioeconómico, enfocado al desarrollo de la vereda de Villa Restrepo.

El desarrollo socioeconómico interfiere en el desarrollo sostenible de las comunidades, y la Comisión Brundtland se popularizó explícitamente y contextualizada en el documento "Nuestro Futuro Común" donde se define como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atenderlas" (ONU, 1987).

La Comisión Brundtland se centró en tres pilares del bienestar humano: las condiciones económicas, sociopolíticas y ecológicas/ambientales. Este concepto básico se desarrolló como apoyo a la implementación de medidas sólidas dirigidas a impulsar el desarrollo económico y social, en particular para los países en desarrollo y garantizar que la integridad del medio ambiente se mantenga para las generaciones futuras. Manulak, M (2022).

En concordancia la Organización de las Naciones Unidas especifica que el agua está en el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el desarrollo socioeconómico, El agua es un recurso vital a la hora de reducir la carga mundial de

enfermedades y para mejorar la salud, el bienestar y la productividad de las poblaciones, así como para la producción y la preservación de una serie de beneficios y servicios de los que gozan las personas. También está en el corazón de la vida y la salud de los ecosistemas, la producción de energía y alimentos, la regulación del clima, la igualdad de género y la reducción de la pobreza. (UNESCO, 2023).

Estos postulados nos amplían el conocimiento y nos ayudan a enfatizar que el recurso hídrico va más allá de una necesidad y que trasciende a la estabilidad y supervivencia del ser humano y sobre todo a las comunidades, así mismo para el desarrollo del ser humano, los animales y la naturaleza.

Al tener claro esta condición, el manejo racional del recurso hídrico contribuye al mejoramiento de la calidad de vida del hombre. Partiendo de esta premisa, se establece que la calidad del agua es uno de los aspectos que más influyen en las condiciones de vida de las poblaciones.

Marco legal

De acuerdo con las leyes, decretos y resoluciones a continuación se mostrarán aquellas que hacen referencia al agua potable, calidad de vida y desarrollo económico:

En la constitución política de 1991, en el artículo 365 establece el acceso al agua como un derecho fundamental, en el que el estado colombiano debe garantizar su prestación.

La Ley 9 de 1979 se conoce como código Sanitario Nacional donde un tema aborda el control de alimentos y bebidas, que contiene disposiciones sobre la calidad e higiene de los alimentos y bebidas para prevenir riesgos sanitarios.

Ley 142 de 1994 es la ley que regula el agua potable, con base en el servicio público de acueducto y alcantarillado, definiendo los derechos y deberes de los usuarios, como la responsabilidad de los que brindan el servicio. Además, también establece los principios para

garantizar el acceso universal al agua potable y saneamiento básico (Colombia, Función Pública).

El Decreto 1575 de 2007 establece las normas y requisitos técnicos para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano, la cual aborda aspectos como la potabilidad, los parámetros microbiológicos, físicos, químicos y radiológicos. Es fundamental para así poder asegurar la seguridad y salud de quienes consumen agua potable en el país (Colombia, Función Pública).

El Decreto Nacional 2590 de 2009 en el artículo 2 basado en los principios generales de la industria turística, en el ítem 12 con respecto a la calidad, priorizan la calidad de estos destinos y de los servicios turísticos en todas sus áreas, para poder aumentar la competitividad del destino y satisfacer la demanda nacional e internacional. (Colombia, Función Pública).

En el Plan de desarrollo y en normativas específicas, **el Decreto 475 de 1998** regula las normas de calidad del agua para el consumo humano (Alcaldía de Bogotá, 1998).

El Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT) y ministerio de protección social con base en **la resolución (2115) 22 de junio de 2007**. Esta resolución señala las características e instrumentos básicos, como la frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Con base en el marco legislativo, las leyes, decretos y resoluciones acordes al agua potable y desarrollo económico, podemos evidenciar que estas regulan, garantizan y propician que haya acceso universal al agua potable y saneamiento básico; además, asegurar la salud y seguridad en los que ya tienen agua potable de calidad, controlan y vigilancia en el consumo humano, establecen el agua como derecho fundamental. Finalmente, con respecto al desarrollo económico en cuanto al turismo de acuerdo con la calidad, priorizando esto para los servicios que ofrecen.

Estado del Arte

Se realizó un análisis del impacto ambiental de los sistemas productivos agropecuarios en la vereda Villarestrepo, ubicada en la cuenca del río Combeima, que abastece de agua a aproximadamente 540.000 personas y riega 7.000 hectáreas de cultivos en Ibagué (Tolima). Esta zona, caracterizada por su belleza natural y vocación agrícola y turística, presenta alta fragilidad ambiental. Las instituciones han realizado inversiones en estudios de riesgo y adquisición de terrenos para abordar estos problemas.

Mediante la caracterización socioeconómica de los productores y la identificación de impactos ambientales con la matriz de Leopold, se demostró que las actividades agrícolas, pecuarias, domésticas y turísticas están afectando negativamente el medio ambiente. Los principales problemas incluyen la degradación geomorfológica, la desprotección del suelo, la contaminación por plaguicidas y el deterioro de la calidad del agua.

La información obtenida permite desarrollar estrategias para la gestión integral del recurso hídrico y acciones para proteger los recursos naturales, garantizando que la comunidad pueda utilizar sus recursos sin comprometer la provisión de agua en la cuenca del río Combeima.

Weipeng, en su estudio sobre la filtración de arena en modos de flujo descendente y ascendente, investigaron cómo las características físico-químicas de las partículas turbias, así como la dirección del flujo de filtración, afectan sus comportamientos de migración y adhesión dentro de la unidad de filtración. En su artículo "Downflow and upflow sand filtration for removing turbid particles with diverse morphological and surface-charge characteristics: Comparisons of filtered water quality and head loss distribution" (2023), los autores argumentan que la dirección del flujo de filtración tiene un impacto significativo en la calidad del agua filtrada y en el desarrollo de la pérdida de carga. Para comprender

verdaderamente estos efectos, es esencial considerar cómo las partículas turbias, preparadas mediante la floculación de muestras de agua que contienen caolín y ácido húmico, interactúan con el medio filtrante.

Los resultados experimentales de la filtración de estas aguas floculadas revelaron que los modos de filtración descendente y ascendente tenían diferentes duraciones de filtración efectiva bajo condiciones idénticas de dosificación de PAC, y que la filtración ascendente condujo a aumentos más rápidos en la turbidez del agua filtrada en la etapa de ruptura en comparación con la filtración descendente (He et al., 2023).

Los investigadores subrayan que, durante la filtración descendente de 180 minutos, el tamaño promedio de las partículas turbias residuales aumentó, pero esto no ocurrió en la filtración ascendente. Además, a diferencia de la filtración descendente, la filtración ascendente tuvo una distribución más uniforme de la pérdida de carga en todas las capas del filtro. La facilidad de lavado a contracorriente difería entre los dos modos de filtración, reflejada en los tiempos requeridos para alcanzar una turbidez estable durante 10 minutos de lavado a contracorriente (He et al., 2023).

Este enfoque resalta cómo la dirección del flujo de filtración influye en la distribución de la resistencia al flujo, la eliminación de partículas turbias de mayor tamaño y la capacidad de retención de contaminantes del medio filtrante. Los autores concluyen que, basándose en análisis de SEM, FTIR y XPS para caracterizar la morfología superficial de las partículas coaguladas, la composición de elementos y los grupos funcionales, se desarrollaron una serie de modelos conceptuales para la eliminación de partículas mediante filtraciones descendentes y ascendentes. Estos modelos clarificaron los mecanismos de influencia de diferentes partículas turbias en la filtración, destacando las ventajas de la filtración ascendente, que incluyen una mejor distribución de la resistencia al flujo, una mejor

eliminación de partículas turbias de mayor tamaño y una mayor capacidad de retención de contaminantes del medio filtrante (He et al., 2023).

Hoy en día, la contaminación del agua es una de las principales problemáticas derivadas de la industrialización y el desarrollo tecnológico. Muchas fuentes de agua potable se ven afectadas por estas acciones, lo que ha llevado a la búsqueda de métodos de tratamiento más sostenibles. El uso de coagulantes-floculantes naturales es una estrategia emergente para mejorar la calidad del agua y reducir el uso de productos sintéticos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (Bravo, 2017).

En años recientes, ha crecido el interés por coagulantes naturales alternativos, como los que se extraen de las semillas de *Moringa oleífera*. Estos productos de origen natural son seguros y económicos, además de tener un menor impacto ambiental en comparación con compuestos como el sulfato de aluminio (Echeverría, 2017).

La efectividad de las semillas de *Moringa oleífera* al eliminar la turbiedad se ha evaluado de diversas formas. En Yucatán, México, se utilizaron semillas maceradas de *Moringa oleífera* en solución y suspensión para tratar aguas residuales de un rastro. Con un tiempo de exposición de 5 minutos, se logró una reducción de la turbidez del 25%, medida a través de la absorbancia (Morales, Méndez, & Tamayo, 2009).

Estas investigaciones resaltan el potencial de los coagulantes naturales no solo para mejorar la calidad del agua, sino también para ofrecer soluciones más sostenibles y seguras en el tratamiento de aguas contaminadas.

Dolores Sofía Toapanta Taipe y sus colegas, en su estudio sobre la eficiencia de la *Moringa oleífera* como floculante, investigaron cómo esta planta puede ser utilizada para el tratamiento de aguas residuales florícolas. En su trabajo "Evaluación de la eficiencia de la *Moringa oleífera* como floculante para el tratamiento de aguas residuales" (2020), los

autores argumentan que el uso de coagulantes naturales, como la *Moringa oleífera*, puede mejorar la calidad del agua tratada y reducir el impacto ambiental de los productos sintéticos. Para comprender verdaderamente estos efectos, es esencial considerar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual tratada con el floculante de moringa.

Los resultados experimentales revelaron que el floculante de moringa logró una remoción significativa de turbidez, coliformes fecales, fosfatos, DBO5 y color, con eficiencias de 90.83%, 79.77%, 71.84%, 65.84% y 62.79% respectivamente. La eficiencia promedio de remoción y ajuste de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fue del 67.71% (Toapanta Taipe, 2020).

Los investigadores subrayan que el uso de coagulantes naturales no solo es efectivo, sino también seguro y económico. Este enfoque resalta cómo la utilización de *Moringa oleífera* como floculante puede ofrecer una alternativa sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con los floculantes químicos tradicionales como el sulfato de aluminio, que puede tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente (Toapanta Taipe, 2020).

Este estudio, basado en análisis fitoquímicos y pruebas de tratabilidad del agua residual, demuestra que el floculante de moringa puede ser un sustituto viable de los floculantes tradicionales, proporcionando una solución segura y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados destacan la potencialidad de la *Moringa oleífera* en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la salud pública.

Núñez, en su estudio sobre la eficiencia de las semillas de *Moringa oleífera* como floculante, evaluó la remoción de turbidez en aguas residuales del río Neteapa, Honduras. En

su trabajo "Validación de la eficiencia de las semillas de Moringa oleífera como floculante en el tratamiento de aguas residuales del río Neteapa" (2007), Nuñez argumenta que la Moringa oleífera puede ser un floculante natural efectivo y seguro, capaz de reemplazar a los coagulantes químicos tradicionales.

Los resultados experimentales de Nuñez revelaron que la aplicación de diferentes dosis de semillas de Moringa oleífera en el agua residual logró una remoción de turbidez de hasta el 98%. Este estudio subraya que la Moringa oleífera no solo es efectiva, sino también una alternativa económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales (Nuñez, 2007).

Este enfoque resalta la importancia de explorar alternativas naturales en la coagulación y floculación, demostrando que las semillas de Moringa oleífera pueden ofrecer una solución viable y menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con los floculantes químicos tradicionales. El estudio también enfatiza la necesidad de continuar investigando y validando coagulantes naturales en diversas condiciones y tipos de aguas residuales.

Ernesto de Jesús Acevedo Picón y sus colegas, en su estudio sobre la eficiencia de las semillas de Moringa oleífera como floculante, investigaron cómo esta planta puede ser utilizada para el tratamiento de aguas residuales en acuíferos superficiales del departamento de Santander, Colombia. En su trabajo "Uso de semillas de Moringa (Moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio De Oro y Quebrada Floridablanca, Santander" (2019), los autores argumentan que el uso de coagulantes naturales, como la Moringa oleífera, puede mejorar la calidad del agua tratada y reducir el impacto ambiental de los productos sintéticos.

Los resultados experimentales revelaron que el floculante de moringa logró una remoción significativa de turbidez y color en diferentes concentraciones. Las eficiencias de remoción fueron de hasta el 93.9% para la turbidez y el 69.8% para el color, dependiendo de la concentración utilizada y del tiempo de reposo en el ensayo de jarras. En términos microbiológicos, la Moringa oleífera mostró una remoción limitada de coliformes fecales y totales, pero una remoción de *Pseudomonas aeruginosa* del 41.6% (Acevedo Picón, 2019).

Los investigadores subrayan que el uso de coagulantes naturales no solo es efectivo, sino también seguro y económico. Este enfoque resalta cómo la utilización de Moringa oleífera como floculante puede ofrecer una alternativa sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente en comparación con los floculantes químicos tradicionales como el sulfato de aluminio, que puede tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente (Acevedo Picón, 2019).

Este estudio, basado en análisis fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento, demuestra que el floculante de moringa puede ser un sustituto viable de los floculantes tradicionales, proporcionando una solución segura y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales sin acceso a plantas de tratamiento de agua potable. Los resultados destacan la potencialidad de la Moringa oleífera en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y a la salud pública.

En el artículo de investigación desarrollado por el Comité para el Desarrollo de la Investigación (Conadi) en 2014, titulado "Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos

térmicos", se presenta una metodología innovadora para la evaluación y caracterización de agentes naturales en el tratamiento del agua.

El propósito principal de esta investigación es evaluar y caracterizar agentes clarificantes y desinfectantes naturales derivados de semillas, hojas, cortezas, savia, raíces y frutas según su piso térmico (cálido, templado, frío). Esta investigación de tipo experimental y comparativa se lleva a cabo en el programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué, y tiene como objetivo proporcionar un método para que la población pueda manejar, conocer y determinar los agentes potenciales capaces de cumplir con las condiciones de clarificación y desinfección del agua.

Hasta el momento, se ha adelantado la caracterización de 16 semillas por pisos térmicos y por su respectiva función como coagulante o desinfectante. Los resultados preliminares indican que es posible identificar agentes naturales eficaces en la clarificación y desinfección del agua, que varían según las condiciones del piso térmico de origen.

Se espera que esta investigación produzca un banco de datos con diferentes tipos de agentes naturales que demuestren su eficacia y eficiencia en el tratamiento del agua. La investigación apunta a crear un compuesto natural que combine dos agentes, uno coagulante y otro desinfectante, ofreciendo así una solución integral para el tratamiento del agua en diversas comunidades.

El estudio subraya la importancia de continuar explorando agentes naturales específicos para cada piso térmico, para optimizar las técnicas de tratamiento del agua. Además, se recomienda que futuras investigaciones se enfoquen en la implementación práctica de estos agentes naturales en comunidades rurales, para evaluar su efectividad a largo plazo y su aceptación por parte de la población local.

El agua superficial es crucial como fuente de suministro, pero no toda es apta para consumo humano. Su tratamiento requiere procesos físicos y químicos que suelen incluir coagulantes como el sulfato de aluminio, eficiente pero perjudicial para la salud humana debido a su bioacumulación. Este estudio evalúa la eficiencia de coagulantes naturales como la Moringa oleífera, el cactus Opuntia, las algas marinas y el almidón de yuca, como sustitutos del sulfato de aluminio en sistemas discontinuos y continuos de clarificación de agua.

Evaluar la eficiencia de coagulantes naturales en la clarificación del agua para consumo humano como alternativa al sulfato de aluminio, tanto en sistemas discontinuos como continuos.

Se analizaron muestras de agua del río Cesar en periodos de alta y baja turbidez (lluvioso y seco). Las biomásas de los coagulantes naturales se pretrataron químicamente con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , NaOH y NaCl . Se realizaron ensayos tipo batch y en flujo continuo, midiendo variables como color, turbidez, OD, ST, conductividad, DQO y pH.

En la Fase I: Análisis de las Biomásas como Coagulantes Naturales

Ernesto de Jesús Acevedo Picón y sus colegas, en su estudio sobre coagulantes naturales, analizaron biomásas de Moringa oleífera, almidón de yuca, cactus Opuntia y algas marinas. Las biomásas fueron recolectadas, lavadas, secadas a 110°C por 24 horas, pulverizadas y tamizadas hasta obtener partículas de tamaño ≤ 1 mm (Martínez y González, 2012; Solís, Laines & Hernández, 2012).

En la Fase II: Análisis de los Pretratamientos Aplicados a los Coagulantes Naturales

Se aplicaron pretratamientos con soluciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , NaOH y NaCl para mejorar la eficiencia de coagulación de los coagulantes naturales. Las biomásas tratadas fueron secadas y pulverizadas nuevamente (Villanueva y Tapia, 2007).

En la Fase III: Determinación de Dosis Óptima y Eficiencia de Remoción en Ensayos Tipo Batch

Se realizaron 144 ensayos con diferentes dosificaciones para determinar las dosis óptimas y la eficiencia de remoción de turbidez y otros parámetros. Se utilizó un equipo de prueba de jarras siguiendo métodos estándar para simular las etapas de coagulación y floculación (Díaz, Arias, Gelvez, Maldonado, Laverde, 2003; Solís et al., 2012).

En la Fase IV: Procesos de Flujo Continuo mediante Unidades Secuenciales de Operación

Se realizaron ensayos de remoción de coagulantes naturales en flujo continuo, utilizando módulos cilíndricos de polietileno y evaluando factores como pretratamientos, dosificaciones y tiempos de retención. Se compararon los resultados con los obtenidos en el sistema batch.

La Moringa oleífera con pretratamiento de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mostró una remoción de turbidez de 88.26%, el almidón de yuca con NaOH alcanzó 79.73%, las algas marinas con CaCl_2 lograron 81.14% y el cactus Opuntia sin pretratamiento obtuvo 98.41%.

La Moringa oleífera y el almidón de yuca mostraron valores de turbidez de 37.50 NTU y 38.10 NTU respectivamente, mientras que el sulfato de aluminio presentó la menor turbidez con 18.67 NTU. La Moringa oleífera fue el coagulante natural más efectivo en flujo continuo con una eficiencia de remoción del 95.31%.

Los coagulantes naturales demostraron ser eficientes, seguros y económicos para el tratamiento del agua, generando menos lodos gracias a los mecanismos de adsorción y neutralización de cargas. La Moringa oleífera y el cactus Opuntia fueron los más efectivos, con el cactus mostrando la mayor eficiencia sin necesidad de pretratamiento. Los coagulantes

naturales presentan una buena alternativa para zonas rurales y periurbanas, donde los coagulantes químicos pueden no ser accesibles.

En el artículo de investigación titulado "Predicción confiable del uso del agua y análisis paramétrico utilizando modelos de IA explicables", desarrollado por [nombre del autor o grupo de investigación (2024)], se aborda un enfoque innovador para la gestión y monitoreo de la calidad del agua utilizando tecnologías avanzadas de inteligencia artificial (IA).

Este estudio enfatiza la importancia crítica de medir, controlar y monitorear la calidad del agua debido a su impacto en la salud física de las especies vivas y el medio ambiente. Los sólidos disueltos totales (TDS) son identificados como el principal contaminante presente en el agua, junto con otros contaminantes como potasio, sodio, cloruros, plomo, nitrato, cadmio y arsénico. La investigación propone la automatización de la estimación de la calidad del agua a través de modelos de Inteligencia Artificial Explicable (XAI), los cuales proporcionan transparencia y justificabilidad en los procesos de clasificación, a diferencia de los modelos de aprendizaje automático (ML) tradicionales de caja negra.

El estudio utiliza diversos modelos de ML, incluyendo Regresión Logística, Máquina de Vectores de Soporte (SVM), Bayes Naive Gaussiano, Árbol de Decisión (DT) y Bosque Aleatorio (RF) para clasificar la potabilidad del agua. El explicador SHAPLEY es empleado para generar representaciones de XAI como gráficos de fuerza, parches de prueba, gráficos de resumen, gráficos de dependencia y gráficos de decisión, explicando las características significativas y la justificación detrás de la estimación de la calidad del agua.

El clasificador de Bosque Aleatorio (RF) fue seleccionado por su rendimiento óptimo, alcanzando una precisión y una puntuación F1 de 0,9999, con una precisión y recuperación de 0,9997 y 0,998 respectivamente. Los hallazgos del estudio destacan la capacidad de los

modelos XAI para proporcionar una explicación clara y justificada de los parámetros más significativos que contribuyen a la potabilidad del agua y la estimación de impurezas.

Este trabajo representa una investigación emergente en el campo de la gestión de la calidad del agua, con el potencial de abordar desafíos futuros en la estimación y gestión de la calidad del agua. La integración de tecnologías de IA y XAI ofrece un enfoque transparente y justificable para la clasificación de la calidad del agua, subrayando su relevancia y aplicabilidad en el contexto actual y futuro.

En el seminario de investigación desarrollado por el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Tolima (2023), titulado "Evaluación de la calidad del agua en Villa Restrepo: Análisis fisicoquímico y microbiológico", se evaluó la calidad del agua suministrada a las viviendas de Villa Restrepo a través de métodos exploratorios y experimentales.

El propósito principal de este estudio es categorizar la calidad del agua en Villa Restrepo mediante la realización de ensayos de laboratorio, analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como turbiedad, color, pH, contenido de cloro y *Escherichia coli*. Estos análisis permiten comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), según la resolución 330 de 2017.

Los hallazgos de este artículo indican que el agua suministrada por la red de acueducto de Villa Restrepo presenta altos niveles de color, turbiedad y dureza total, superando los rangos establecidos por el RAS. Estos resultados reflejan las condiciones físicas deterioradas de las fuentes hídricas superficiales, como el río Combeima, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando se observan niveles elevados de turbiedad y color.

Las conclusiones del estudio subrayan que las características del agua, como el color, la turbiedad y la dureza total, exceden los máximos permitidos por la normativa vigente, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), resolución 330 de 2017. Esta situación destaca la necesidad urgente de implementar medidas de tratamiento para mejorar la calidad del agua suministrada a la comunidad.

Este estudio recomienda la adopción de tecnologías de tratamiento de agua adecuadas para reducir la turbiedad, el color y la dureza total. Además, sugiere la implementación de un sistema de monitoreo constante para asegurar que el agua distribuida cumpla con los estándares establecidos por el RAS. También se destaca la importancia de educar a la comunidad sobre prácticas adecuadas de manejo del agua para prevenir la contaminación de las fuentes hídricas.

En el artículo de investigación desarrollado por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí (2023), titulado "Eliminación de turbiedad en el agua mediante coagulantes naturales de semilla de durazno y haba", se explora el uso de coagulantes naturales extraídos de semillas de durazno (*Prunus persica*) y haba (*Vicia faba*) para tratar muestras de agua del río Portoviejo.

El propósito principal de este estudio es obtener coagulantes naturales a partir de las semillas de durazno y haba y evaluar su efectividad en la eliminación de la turbiedad del agua. Se llevaron a cabo ensayos para determinar el porcentaje de remoción de turbiedad y evaluar los efectos del pH en la acción coagulante de ambas semillas.

Los hallazgos de este artículo revelan que el coagulante natural obtenido de la semilla de durazno (*Prunus persica*) mostró un porcentaje de remoción de turbiedad del 89.07% a un pH de 4.74 y una concentración de 16.02 mg/l de biocoagulante al 10%. Por otro lado, el coagulante natural de la semilla de haba (*Vicia faba*) logró una remoción del 93.13% a un pH

de 9 y una concentración de 5 mg/l de biocoagulante al 5%. Ambos coagulantes se evaluaron mediante el método de prueba de jarra, con una alta eficiencia al reducir la turbidez del agua.

Las conclusiones del estudio destacan que tanto la semilla de durazno como la de haba actúan con eficacia en la reducción de la turbidez del agua, siendo alternativas viables y de bajo costo para su aplicación en el tratamiento de agua. Estos coagulantes naturales no solo son eficientes, sino que también presentan ventajas adicionales, como la baja producción de lodos y beneficios ambientales.

Este estudio recomienda la implementación de coagulantes naturales derivados de semillas de durazno y haba en el tratamiento de agua para reducir la turbidez. Además, sugiere realizar estudios adicionales para optimizar las condiciones de aplicación y evaluar su efectividad en diferentes tipos de aguas. La investigación resalta la importancia de promover el uso de coagulantes naturales como una alternativa sostenible y ecológica para potabilizar el agua.

En la investigación desarrollada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de coronel Portillo (EMAPACOPSA) (2023), titulada "Evaluación del polvo de endospermo de Moringa oleífera en la remoción de sólidos totales en suspensión y turbidez en aguas residuales domésticas", se evalúa el uso del polvo de endospermo de Moringa (*Moringa oleífera* Lam) en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El propósito principal de este estudio es evaluar la influencia del polvo obtenido del endospermo de Moringa en distintas dosis de solución para la remoción de sólidos totales en suspensión (STS) y turbidez en agua residual doméstica. El estudio se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) del sector 9, Distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, utilizando un método experimental a escala de laboratorio.

Los hallazgos de este artículo, obtenidos mediante el análisis estadístico ANOVA, indican que cualquiera de las tres dosis de solución del coagulante-floculante de Moringa puede ser empleada en el tratamiento de agua residual doméstica, logrando estadísticamente la misma remoción de sólidos totales en suspensión y turbidez. Para las pruebas se usaron 18 litros de muestra de agua residual doméstica.

Las conclusiones del estudio destacan que el polvo de endospermo de Moringa es efectivo como coagulante natural en la remoción de sólidos totales en suspensión y turbidez en aguas residuales domésticas. Este coagulante natural puede ser una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, proporcionando una solución eficaz y de bajo costo.

Este estudio recomienda la implementación del polvo de endospermo de Moringa como coagulante-floculante en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a su efectividad y beneficios ambientales. Además, sugiere realizar estudios adicionales para optimizar las dosis y evaluar su aplicación en diferentes condiciones de agua residual. La investigación también resalta la importancia de considerar coagulantes naturales en los procesos de tratamiento de aguas residuales como una alternativa sostenible y ecológica.

En el artículo de investigación desarrollado por el Instituto de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México (2023), titulado "Comparación de la eficiencia de *Opuntia ficus-indica* (Nopal) como coagulante para la clarificación de aguas", se analiza la efectividad de la planta de *Opuntia ficus-indica* en estado crudo y desecado como coagulante en la remoción de turbidez del agua.

El propósito principal de este estudio es comparar la eficiencia de *Opuntia ficus-indica* (cruda y desecada) como coagulante para la clarificación de aguas sintéticas con

turbidez inicial de 20, 40 y 60 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Se prepararon coagulantes en dos formas (Nopal) y se evaluaron diferentes dosis para determinar su efectividad en la remoción de la turbidez.

Los hallazgos de este artículo indican que la remoción de turbidez residual varió entre 76.45 % y 91.23 % para la *Opuntia ficus-indica* en forma cruda, y entre 53.63 % y 87.21 % para la forma desecada. La efectividad del coagulante aumentó con la mayor turbidez inicial (de 20 a 60 UNT). Las dosis evaluadas fueron de 3200, 3400, 3600, 3800 y 4000 mg/L para la forma cruda y de 48, 56, 64, 72 y 80 mg/L para la forma desecada.

Las conclusiones del estudio destacan que *Opuntia ficus-indica* es un coagulante eficiente para la clarificación de aguas, siendo más efectiva en su forma cruda que desecada. El aumento de la turbidez inicial mejora la eficiencia de la remoción de turbidez, lo que sugiere que este coagulante natural puede ser una alternativa viable para el tratamiento de aguas con diferentes niveles de turbidez.

Este estudio recomienda el uso de *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural en procesos de clarificación de aguas debido a su alta eficiencia y bajo costo. Además, se sugiere realizar estudios adicionales para optimizar las dosis y evaluar su aplicación en diferentes tipos de aguas y condiciones ambientales. La investigación también subraya la importancia de considerar coagulantes naturales como alternativas sostenibles y ecológicas en el tratamiento de aguas.

En el artículo de investigación desarrollado por la Universidad Mayor de San Andrés (2024), titulado "Evaluación de la eficiencia del mucílago de *Opuntia ficus-indica* como coagulante-floculante para la remoción de turbidez en aguas superficiales y sintéticas", se analiza el uso del mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el tratamiento de aguas para zonas rurales de Bolivia.

El propósito principal de este estudio es evaluar la eficiencia del mucílago obtenido de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante-floculante para remover la turbidez en aguas superficiales y sintéticas, en el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, que busca asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. El mucílago fue extraído con etanol al 96%, secado y pulverizado para su uso en las pruebas.

Los hallazgos de este artículo indican que el mucílago de tuna es un coagulante efectivo, especialmente en aguas con alta turbidez (>110 NTU). Para el agua de río, la dosis óptima fue de 35 mg/L, logrando una eficiencia de remoción de turbidez del $80.40 \pm 1.16\%$. Para el agua sintética con turbidez similar, la dosis óptima fue de 20 mg/L, con una eficiencia de $82.9 \pm 1.68\%$. En ambos casos, el pH del agua no sufrió modificaciones significativas.

Las conclusiones del estudio destacan que el mucílago de tuna es un coagulante-floculante eficiente y viable para el tratamiento de aguas en zonas rurales, especialmente aquellas con alta turbidez. La combinación de coagulación con una etapa de filtración podría permitir alcanzar los niveles de turbidez establecidos por las normativas para aguas de consumo.

Este estudio recomienda la implementación del mucílago de tuna como coagulante-floculante en procesos de tratamiento de agua en comunidades rurales de Bolivia, debido a su efectividad y bajo costo. Además, sugiere realizar estudios adicionales para optimizar las dosis y evaluar su aplicación en diferentes tipos de aguas y condiciones ambientales. La investigación resalta la importancia de promover métodos económicos y accesibles para el tratamiento del agua, acorde con los objetivos del ODS 6.

En el artículo de investigación desarrollado por Mwabi et al. (2011), titulado "Eficiencia de los sistemas de filtración casera en la remoción de microorganismos y

sustancias químicas en el tratamiento de agua", se estudian diversos métodos de desinfección de agua mediante sistemas de filtración casera.

El propósito principal de este estudio es evaluar la eficiencia de diferentes sistemas de filtración casera en la remoción de microorganismos y sustancias químicas del agua. Estos sistemas incluyen filtros de vela de cerámica (CCF), cubo (BF), bioarena (BSF), bioarena modificado (MBSF), poroso impregnado con plata coloidal (SIPP), matriz estructurada con carbón activado (FME), filtro xilema (FX) y filtros de membrana (FM). La investigación se enfoca en la facilidad de fabricación, uso económico y efectividad en mejorar la calidad del agua para consumo humano.

Los hallazgos de este artículo indican que los filtros caseros tienen una eficiencia superior al 90% en la remoción de microorganismos. Sin embargo, la eficiencia en la remoción de sustancias químicas varía según el tipo de filtro utilizado. Los filtros BSF reportaron mayores porcentajes de remoción de calcio, arsénico, magnesio y fosfatos, mientras que los filtros CCF lograron una mayor reducción de hierro. Los filtros SIPP fueron más efectivos en la eliminación de nitratos. Además, se identificó que factores como la limpieza, desinfección y almacenamiento seguro son críticos para mantener las tasas de filtración y evitar la contaminación, prolongando la vida útil de los filtros.

Las conclusiones del estudio destacan que los sistemas de filtración casera, cuando se utilizan adecuadamente, constituyen una fuente segura y económica de tratamiento de agua. Estos sistemas mejoran significativamente la calidad de vida de las comunidades rurales que no tienen acceso a fuentes de agua potable.

Este estudio recomienda la implementación de sistemas de filtración casera en comunidades rurales debido a su efectividad y bajo costo. Además, sugiere la necesidad de educar a las comunidades sobre la importancia de la limpieza, desinfección y

almacenamiento adecuado de los filtros para maximizar su eficiencia y vida útil. La investigación también promueve el desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras en los sistemas de filtración casera para aumentar su efectividad en la remoción de diferentes contaminantes del agua.

En el artículo de investigación desarrollado por la Universidad de Antioquia (2024), titulado "Diseño de un prototipo de filtro casero para la potabilización del agua de la comunidad de Carepa, Antioquia", se presenta un proyecto educativo cuyo objetivo es mejorar la calidad del agua consumida por la comunidad del municipio de Carepa.

El propósito principal de este proyecto es contribuir a la mejora de la calidad del agua en la comunidad de Carepa, Antioquia, a través del diseño e implementación de un prototipo de filtro casero. Se busca educar a la comunidad sobre la importancia del cuidado y preservación de las fuentes de agua, utilizando una metodología cualitativa que incluye trabajo pedagógico y actividades participativas.

Los hallazgos de este proyecto se centran en varios aspectos clave que abarcan desde el diagnóstico inicial hasta la evaluación final del impacto en la comunidad. En primer lugar, se realizó un diagnóstico exhaustivo de la calidad del agua en Carepa, identificando los contaminantes presentes y las fuentes de contaminación. A través de encuestas y la indagación documental, se evaluaron los conocimientos previos de la comunidad sobre la potabilización del agua y su manejo. Posteriormente, se llevó a cabo un taller práctico en el que la comunidad aprendió a construir y utilizar filtros caseros para la potabilización del agua. Se realizaron análisis de muestras de agua antes y después del uso de estos filtros, demostrando mejoras significativas en la calidad del agua. Finalmente, la evaluación del proceso de intervención indicó un aumento notable en la concientización y en las

competencias ambientales de la comunidad, subrayando el éxito y la efectividad de las actividades realizadas.

Las conclusiones del estudio destacan que la implementación de filtros caseros es una solución efectiva y accesible para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales como Carepa. Además, la intervención educativa fortaleció las competencias ambientales de los participantes, promoviendo una mayor conciencia sobre el cuidado del agua y el medio ambiente.

Este estudio recomienda continuar con programas educativos similares en otras comunidades rurales, enfocándose en la capacitación para la construcción y uso de filtros caseros. Asimismo, se sugiere realizar estudios a largo plazo para evaluar el impacto sostenido de estas intervenciones y explorar mejoras en los diseños de los filtros para aumentar su eficiencia. La educación ambiental debe ser un componente central en cualquier iniciativa de tratamiento de agua, para asegurar que las comunidades adquieran y mantengan prácticas sostenibles.

Metodología

Enfoque Mixto

Para desarrollar esta investigación con un enfoque mixto en el que aplicaremos métodos cualitativos para explorar experiencias, percepciones y significados asociados con la falta de agua apta para el consumo humano en la comunidad. También aplicaremos métodos cuantitativos donde recopilaremos datos sobre la disponibilidad del agua, tasas de enfermedades relacionadas con el agua y caracterización del agua.

El acceso al suministro de agua potable es un derecho fundamental a nivel mundial y un servicio básico vital en el territorio colombiano. Sin embargo, en pleno 2024 aún persiste una problemática crítica: la falta de este suministro en las poblaciones vulnerables,

especialmente en las áreas rurales como la comunidad de Villa Restrepo. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, p. 612). Esta investigación se centrará en analizar el uso de fitoquímicos en filtro en la vereda de Villa Restrepo para que el agua sea apta para el consumo humano.

Impacto en la salud: la investigación debe estudiar la comunidad de Villa Restrepo y analizar todos los temas de salud que este directa o indirectamente afectan la comunidad debido a la falta del suministro de agua potable. La escasez de agua segura y limpia aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. Además, la falta de acceso al agua potable dificulta la higiene personal y el saneamiento básico, lo que son fuentes de enfermedades críticas.

Impacto en la calidad de vida: Además, esta investigación resaltara los retos a los que se enfrenta los comerciantes de Villa Restrepo. La falta de suministro de agua vuelve compleja la realización de actividades cotidianas simples como cocinar, limpiar y mantener una buena higiene. Estos factores no solo afectan la salud también deteriora significativamente la calidad de vida de los habitantes.

Impacto económico: el agua potable es un recurso vital, y el acceso limitado a esta afecta directamente la productividad económica. Sin agua suficiente, las actividades agrícolas, la cría de animales y, especialmente, la principal fuente de ingreso que es el turismo se ven afectadas.

Además, los gastos de atención medica debido a enfermedades relacionadas por el consumo de aguas no seguras pueden afectar seriamente el presupuesto familiar.

Para ampliar este concepto en la investigación este enfoque mixto permitirá conocer la realidad subjetiva y dinámica de la comunidad, buscando describir con facilidad las situaciones o acontecimientos que viven realmente los comerciantes de Villa Restrepo, pues

nos enfocaremos en un área de interés que es la ineficiencia del recurso hídrico y qué repercusiones conlleva esta área.

Alcance

Propuesta de los elementos esenciales para lograr el mejoramiento de la calidad del agua del acueducto veredal agua villa en la vereda de Villa Restrepo mediante el uso de componentes naturales y fitoquímicos desde una perspectiva teórica, en la vereda de Villa Restrepo, para que el agua sea apta para el consumo humano, que es de suma importancia ya que esto es un desafío tanto el acceso a agua potable y el saneamiento básico en las zonas rurales no solo en el Departamento del Tolima si no en toda Colombia, debido al impacto directo en la salud de las familias afectadas y efectos tanto económicos como sociales. (Sierra, C. S., Rojas, D. M., & Morales, J. J. (2016)).

El alcance de nuestra investigación es descriptiva, al explicar Galarza (2020) se dirige al alcance descriptivo, porque nuestra investigación se enfoca en la comunidad de la Vereda de Villa Restrepo del municipio de Ibagué, Tolima; donde se profundiza el conocimiento de la realidad que enfrenta la comunidad con respecto a la ineficiencia del servicio de agua potable, donde se identifican y describen aspectos de la salud y calidad de vida relacionados con la falta de repercusiones del recurso hídrico, y las formas de conducta para poder contar con el consumo humano.

Población y muestra

Según el Tesorero del acueducto Acua Villa, la población de la investigación relacionada a los 120 beneficiarios del acueducto veredal Agua Villa de la Vereda de Villa Restrepo del municipio de Ibagué, Tolima, debido a la escasez de agua apta para el consumo humano, en el que La quebrada Cascada o La Palma suministra el agua al acueducto veredal Agua Villa, donde el acueducto tiene más de 100 años, y su estructura ya se encuentra

deteriorada, por lo que se necesitaría repararlo o realizar una nueva infraestructura, en el cual a esta agua cruda no le aplican ningún aditivo por lo que no es agua apta para el consumo humano, por lo que algunos usuarios compran agua en bolsa o botellón, u otros prefieren tomarla directamente del grifo.

Procedimiento

Revisión de la Literatura: Se buscaron estudios previos y artículos científicos sobre el uso de fitoquímicos en la purificación de agua y estudios sobre la calidad del río Combeima.

Identificación de Contaminantes: A partir de informes y estudios previos, se identificaron los principales contaminantes presentes en la Quebrada La Cascada o La Palmera.

Caracterización del agua: con base en la toma de muestra del agua cruda del acueducto acuaVilla, se realizó a través de un laboratorio la caracterización del agua tomando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Selección de Fitoquímicos: Basándose en la literatura revisada, se seleccionaron los fitoquímicos más prometedores para la remoción de los contaminantes identificados.

Formulación de la Hipótesis: Se desarrolló una hipótesis sobre la efectividad del filtro, describiendo cómo los fitoquímicos seleccionados interactúan con los contaminantes para mejorar la calidad del agua.

Diseño Teórico del Filtro: Se elaboró un esquema detallado del filtro, especificando los componentes naturales y fitoquímicos, así como el proceso de filtración.

Evaluación Teórica: Se realizó un análisis teórico de la efectividad del filtro propuesto, utilizando datos y modelos disponibles en la literatura científica.

Limitaciones: Este proyecto se basó en una propuesta teórica y no incluye la validación experimental del diseño del filtro.

Los resultados y conclusiones se basaron en datos secundarios y revisiones bibliográficas, sin pruebas empíricas directas.

Recolección de la información

La recolección de información se llevó a cabo primeramente a través de investigaciones de la población de la Vereda de Villa Restrepo, los impactos que genera la escasez de agua potable, que mostraron que la población en específico no cuenta con el agua potable, caracterización del agua del acueducto suministrado por la quebrada La Casada, a través de investigaciones del uso de fitoquímicos para el proceso de coagulación y floculación en filtros de agua y así se reflejaron las afectaciones o impactos que surgen por la escasez del agua apta para el consumo humano.

Instrumentos

Primero, se realizó una caracterización del agua en la Vereda Villa Restrepo a través del laboratorio AguasLab S.A.S., donde se determinaron sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. Este análisis permitió identificar las repercusiones que afectan la calidad del recurso hídrico, lo que ha llevado a la ineficiencia del agua apta para el consumo humano en la comunidad. En segundo lugar, se llevó a cabo una entrevista con el tesorero del acueducto Acua Villa, utilizando un banco de preguntas diseñado para obtener información relevante sobre la organización, funcionamiento y mantenimiento del sistema, así como sobre la manera en que se suministra el agua a la comunidad.

Resultados

Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua cruda del acueducto AcuaVilla de la Vereda de Villa Restrepo desde el grifo de la Señora Lucy Reyes, realizada por el laboratorio Aguaslab SAS el día 22 de Julio de 2024.

Tabla 1. Resultados Fisicoquímicos del agua cruda de la Vereda Villa Restrepo

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS						
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA	FECHA DE ANÁLISIS	TÉCNICA ANALÍTICA	METODO	VALOR REFERENCIA RESOLUCION 2115/ 2007	UNIDADES	RESULTADOS
PH	22-07-2024	Electrométrico	SM 4500 H+B	6,5 a 9,0	UNIDADES	7,7
COLOR	22-07-2024	Espectofotométrico	SM 2120 D	Menor ó igual= a 15	UPC	1
TURBIEDAD	22-07-2024	Nefelométrico	SM 2130 B	Menor ó igual= a 2	NTU	0,8
CLORUROS	22-07-2024	Titulométrico	SM 4500 CL-C	Hasta 250	mg/ L Cl	3
SULFATOS	22-07-2024	Turbidimétrico	SM 4500 SO42 E	Hasta 250	mg/ L SO4	10
FOSFATOS	22-07-2024	Colorimétrico	SM 4500 P D	Hasta 0,50	mg/ L PO4	0,03
NITRATOS	22-07-2024	Colorimétrico	SM 4500 NO2 B	Hasta 10	mg/ L NO2	0,3
NITRITOS	22-07-2024	Colorimétrico	SM 4500 NO2 B	Hasta 0,1	mg/ L NO2	0,002
HIERRO TOTAL	22-07-2024	Colorimétrico	SM 3500 Fc B	Hasta 0,3	mg/ L Fe	0,02
ALCALINIDAD TOTAL	22-07-2024	Titulométrico	SM 2320 B	Hasta 200	mg/ L CaCO3	40
DUREZA TOTAL	22-07-2024	Titulométrico	SM 2340 C	Hasta 300	mg/ L CaCO3	50

MANGANESO	22-07-2024	Colorimétrico	SM 3500 Mn-PAN	Hasta 0,5	mg/ L Mn	0,04
CONDUCTIVIDAD	22-07-2024	Electrométrico	SM 2510 B	Hasta 1000	mg/ L uS/cm	92

Nota: Esta tabla muestra los resultados fisicoquímicos de la muestra del agua cruda tomada en el grifo de la vivienda de la Señora Lucy Reyes el día 22 de Julio de 2024.

Los resultados del análisis de los laboratorios muestran una serie de parámetros que ayudaron a evaluar la calidad del agua de Villa Restrepo. La conductividad del agua es baja, con un valor de 92 $\mu\text{S/cm}$, lo que indica una cantidad mínima de sales disueltas y sugiere que el agua es de buena calidad en términos de salinidad. La dureza total, que mide la concentración de iones de calcio y magnesio, se encuentra en 40 mg/L CaCO_3 , clasificando el agua como blanda y reduciendo la probabilidad de depósitos en tuberías y electrodomésticos.

El contenido de manganeso es de 0.04 mg/L, un valor dentro de los límites aceptables que no debería afectar el sabor del agua ni causar manchas. La alcalinidad total se sitúa en 50 mg/L CaCO_3 , indicando una moderada capacidad del agua para neutralizar ácidos y mantener la estabilidad del pH. El hierro total, medido en 0.02 mg/L, está también dentro de los límites recomendados, minimizando el riesgo de manchas y afectación del sabor del agua.

El pH del agua es 7.7, ligeramente ácido, pero dentro de los rangos aceptables para el consumo humano. La turbiedad es de 0.8 NTU, un nivel bajo que sugiere una buena calidad visual del agua. Sin embargo, el color reportado es de 1 UPC, el color del agua es muy bajo, lo cual es positivo ya que sugiere la ausencia de materiales disueltos o particulados en cantidades significativas. Los niveles de cloruros y sulfatos son de 3 mg/L y 10 mg/L, respectivamente, ambos valores bajos que no presentan riesgo significativo.

Los fosfatos están en 0.03 mg/L, lo cual es aceptable y no debería causar problemas de salud. Los nitritos y nitratos tienen valores de 0.003 mg/L y 0.3 mg/L, respectivamente, ambos dentro de los límites seguros para el consumo humano.

*Tabla 2. Resultados Bacteriológicos agua cruda- Vereda Villa Restrepo*Tabla 2

RESULTADOS BACTERIOLÓGICO						
BACTERIOLOGICO	FECHA DE ANÁLISIS	TÉCNICA ANALÍTICA	METODO	VALOR REFERENCIA RESOLUCIO N 2115/2007	UNIDADES	RESULTADOS
COLIFORMES TOTALES	22-07-2024	Filtración Membrana	Sm 9222 B	0 U.F.C/100 ml	U.F.C/100 ml	6790 U.F.C/100 ml
ESCHERICHIA COLI	22-07-2024	Filtración Membrana	SM 9222 D	0 U.F.C/100 ml	U.F.C/100 ml	150 U.F.C/100 ml

UFC= unidades Formadoras de Colonias

Nota: Esta tabla muestra los resultados microbiológicos de la muestra del agua cruda tomada en el grifo de la vivienda de la Señora Lucy Reyes el día 22 de Julio de 2024.

No obstante, los parámetros microbiológicos presentan problemas significativos. La presencia de coliformes totales es alarmantemente alta, con 6700 UFC/100ml, señalando una grave contaminación biológica. Además, la detección de Escherichia coli a niveles de 150 UFC/100ml confirma la contaminación fecal del agua, representando un riesgo considerable para la salud de la comunidad. Estos resultados indican la necesidad de intervenciones urgentes para asegurar la potabilidad del agua y proteger la salud pública en Villa Restrepo.

Discusión

El análisis del agua de Villa Restrepo muestra una combinación de parámetros favorables y áreas críticas que requieren atención inmediata. La baja conductividad y dureza indica la salinidad y la formación de depósitos, beneficiosos para el uso doméstico. Los niveles de cloruros, sulfatos, fosfatos, nitritos y nitratos están dentro de los límites seguros, lo cual es positivo para la salud pública.

Sin embargo, el pH aunque ligeramente ácido, y el color indican que se deben realizar ajustes en el tratamiento del agua para mejorar su calidad estética y química. La turbiedad y el hierro total son aceptables, pero requieren monitoreo constante para mantener estos niveles bajos. La alcalinidad total proporciona una capacidad adecuada para neutralizar ácidos, asegurando estabilidad en el pH.

La alta concentración de coliformes totales y *Escherichia coli* es alarmante y requiere una intervención inmediata para evitar enfermedades transmitidas por el agua. Esto destaca la importancia de implementar medidas de desinfección utilizando fitoquímicos, como las semillas de moringa y el mucílago de nopal, que son alternativas sostenibles y efectivas. Estas soluciones no solo mejorarían la calidad del agua, sino que también fortalecerían la resiliencia de la comunidad al proporcionar métodos accesibles y ecológicos de tratamiento del agua.

Según los resultados como propuesta para la elaboración de un Filtro con Fitoquímicos a Base de Moringa para la Purificación de Agua, como objetivo es desarrollar un sistema de filtración utilizando semillas de moringa para tratar y purificar el agua,

eliminando contaminantes químicos y biológicos, y haciendo el agua apta para el consumo humano.

Las semillas de moringa (*Moringa oleifera*) han demostrado ser efectivas en la coagulación y eliminación de bacterias y otros microorganismos del agua. Sus propiedades coagulantes se deben a proteínas catiónicas que neutralizan las partículas coloidales cargadas negativamente, permitiendo su precipitación y posterior filtración.

Seguido a esto los materiales necesarios para el diseño del filtro sería:

Semillas de moringa, Mortero y mano o molino, tamiz o filtro fino, recipientes de plástico, arena fina y grava, carbón activado, filtros de algodón, contenedor para el filtro de 10 L (puede ser un tanque o balde grande), este proceso de purificación ira conformado por diferentes etapas.

Primera etapa, será la parte superior del filtro donde se debe vertir el agua a tratar en esta etapa se hará el procedimiento de aplicar (150mg/L) (Nuñez, J. (2007)) de moringa pulverizada para que esta inicie con el proceso de coagulación y desafección

La segunda etapa será de prefiltración estará conformada de dos capas una de grava (5-10 cm de espesor) esta ira en la segunda posición y otra capa de Arena fina (15-20 cm de espesor), la cual ira en la tercera posición estas capas de agregados tendrán como finalidad eliminar partículas grandes y reducir la turbiedad.

En la tercera etapa se tratarán contaminantes orgánicos para mejorar el sabor y color del agua. Esta etapa se realizará instalando en la cuarta posición una capa de Carbón activado (10-15 cm de espesor).

En la cuarta etapa se realizará una filtración final la cual estará conformada por dos capas una de Arena fina (15-20 cm de espesor), que está ubicada en la quinta posición y otra

de Grava (5-10 cm de espesor) que estaría ubicada en la sexta posición esto para eliminar cualquier tipo de partículas no deseadas.

Por último, en la quinta etapa llevara una capa superior de tela o filtro de algodón para evitar el paso de partículas grandes.

Ya al realizar el proceso de filtración se realizará de la siguiente manera:

Primero, para el procedimiento se prepara el agente coagulante (Semillas de Moringa), en el que se recolecta y prepara las Semillas, recolectando las semillas de moringa maduras, donde se procede a descascarar las semillas y triturarlas hasta obtener un polvo fino utilizando un mortero y mano o un molino. Con respecto a la dosificación para 10 litros de agua contaminada se debe utilizar aproximadamente 150 gramos por litro (Nuñez, J. (2007)), donde se prepara la Solución Coagulante disolviendo el polvo en un poco de agua limpia para formar una pasta.

Colocar estas capas en el contenedor de plástico de 10litros destinado para el filtro, asegurándose de que cada capa esté bien nivelada y compactada.

Segundo para el proceso de coagulación se añade la pasta de moringa preparada a 10 litros de agua contaminada, en el que se revuelve durante 1-2 minutos y luego suavemente durante 10-15 minutos. Luego se deja reposar el agua durante al menos 1 hora para permitir la sedimentación de las partículas coaguladas.

Para el proceso de filtración se vierte el agua pretratada a través del filtro casero, asegurando que pase lentamente por cada capa, en el que se recoge el agua filtrada en un recipiente limpio.

En la desinfección Final, para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos, es recomendable hacer una desinfección final del agua con cloro, limón (en proporción de 2

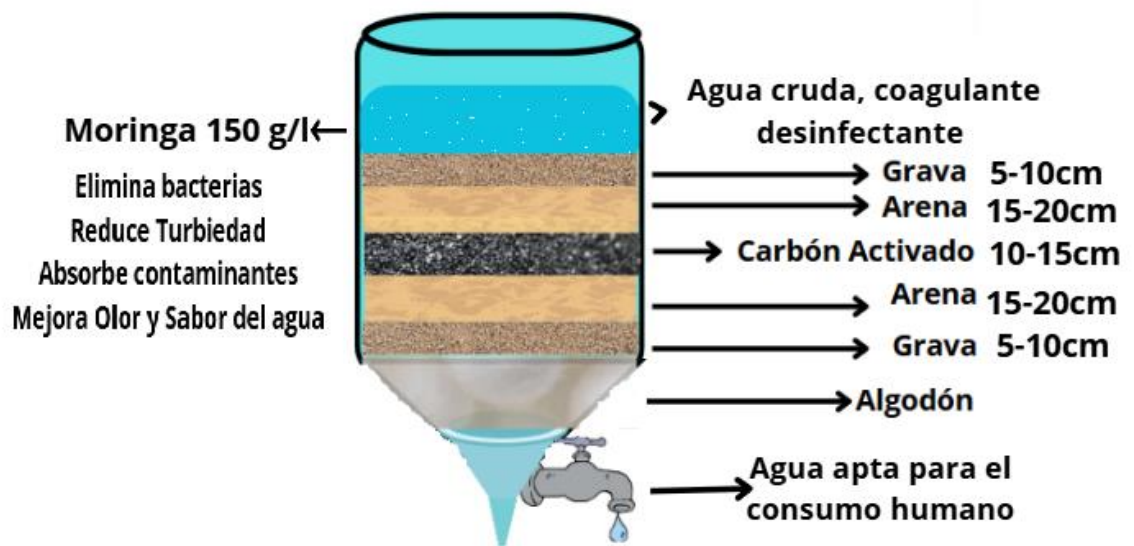
gotas de cloro por litro de agua) o mediante métodos de desinfección solar (dejar el agua filtrada en botellas transparentes bajo el sol al menos 6 horas).

Con respecto a la frecuencia de uso de cada componente del filtro, donde la grava y arena se deben cambiar cada 6 meses, el carbón activado cada 3 meses o cuando se observe una disminución en la efectividad del filtrado. El Filtro de Algodón cambiar y limpiar semanalmente.

Para la realización del monitoreo y mantenimiento se debe realizar pruebas periódicas de calidad del agua filtrada para asegurar que cumple con los estándares de agua potable. También se debe ajustar la cantidad de polvo de semillas de moringa si es necesario, basado en los resultados de las pruebas.

La implementación de un sistema de filtración utilizando semillas de moringa es una solución viable y efectiva para mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. Este método no solo es económico y fácil de implementar, sino que también aprovecha las propiedades naturales coagulantes y antimicrobianas de la moringa.

Ilustración 2. Diseño filtro



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la entrevista realizada al Tesorero Álvaro Dairo Vásquez Díaz del acueducto Acua Villa de la Vereda de Villa Restrepo de Ibagué, Tolima, en el que explicó que la asociación está compuesta por 120 usuarios y actualmente carece de presidente, aunque se espera que para septiembre se designe uno. Este acueducto, que fue construido hace más de 100 años, ha experimentado cambios de tuberías, pero su funcionamiento se basa en un sistema por gravedad, lo que provoca que la distribución de agua sea desigual para los usuarios. A lo largo de los años, han recibido escaso apoyo de las entidades gubernamentales.

Vásquez Díaz señala que el agua se obtiene de la quebrada La Cascada, y que la comunidad paga a una empresa privada, Gana Gana, una tarifa de 6 mil pesos mensuales. Considera que es necesario construir un nuevo acueducto, ya que el actual es muy antiguo y se encuentra en un estado de deterioro severo desde la represa, debido a la falta de mantenimiento. Además, hay quienes creen erróneamente que el agua es de uso gratuito y pertenece a la comunidad, lo que ha llevado a muchos a rechazar el servicio. Esto ha generado

que la población prefiera invertir en otros proyectos, como la construcción de vías y parques, en vez de priorizar el acueducto.

A pesar de que el agua puede parecer clara, que no se encuentre turbia se han registrado casos de gastroenteritis en usuarios que consumieron agua del grifo. Esta situación también impacta el turismo, ya que muchos restaurantes ofrecen limonada hecha con agua no tratada, lo que podría representar un riesgo para la salud. Por si fuera poco, la comunidad carece de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que significa que estas aguas van a parar directamente al río Combeima.

Recomendaciones

Para garantizar la calidad del agua en Villa Restrepo, es crucial implementar un sistema de monitoreo continuo que permita detectar cualquier cambio en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Este sistema debe incluir un registro detallado y análisis de datos, facilitando así la toma de decisiones basadas en evidencia. Adicionalmente, se recomienda el uso de fitoquímicos como semillas de moringa y mucílago de nopal, conocidos por su efectividad como coagulantes y desinfectantes naturales.

Capacitar a la comunidad en el cultivo y procesamiento de estos fitoquímicos promoverá prácticas sostenibles y autogestionadas. Se sugiere desarrollar y validar prototipos de filtros de agua que incorporen capas de grava, arena, carbón activado, moringa y nopal. Estos filtros deben ser evaluados en condiciones reales y ajustados según sea necesario para optimizar su desempeño.

La educación ambiental y sanitaria debe ser una prioridad, desarrollando programas educativos sobre la importancia de la calidad del agua y el uso de fitoquímicos para su tratamiento. Es fundamental involucrar a la comunidad en proyectos de monitoreo y

tratamiento del agua, fomentando así la responsabilidad y el cuidado del recurso hídrico. Finalmente, establecer alianzas con universidades, ONGs y agencias gubernamentales proporcionará el apoyo técnico y financiero necesario. Participar en redes de intercambio de conocimientos y experiencias sobre el uso de fitoquímicos en el tratamiento del agua enriquecerá el conocimiento y las prácticas locales.

Conclusión

El análisis realizado en la vereda Villa restrepo, ubicada en la cuenca del río Combeima y sus escorrentías como lo es la quebrada la cascada, revela que las actividades agrícolas, pecuarias, domésticas y turísticas son los principales contribuyentes a la degradación del recurso hídrico. Estas actividades han generado impactos negativos en los aspectos geomorfológicos, desprotección del suelo, y la capacidad de regulación hídrica de los suelos. Además, se ha evidenciado una contaminación significativa por plaguicidas y un deterioro general de la calidad del agua. Estos factores destacan la necesidad de implementar estrategias de gestión integral del recurso hídrico para proteger los recursos naturales y asegurar el suministro de agua limpia tanto para la comunidad local como para los habitantes del municipio de Ibagué (Ruiz Garcés, D. F. 2021).

La implementación de un sistema de filtración utilizando semillas de moringa es una solución viable y efectiva para mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. Este método no solo es económico y fácil de implementar, sino que también aprovecha las propiedades naturales coagulantes y antimicrobianas de la moringa. Las semillas de moringa contienen proteínas que actúan como agentes coagulantes naturales, ayudando a aglutinar y sedimentar partículas suspendidas en el agua, reduciendo así la

turbiedad y mejorando la claridad del agua. Además, estudios han demostrado que los fitoquímicos presentes en las semillas de moringa tienen propiedades antimicrobianas, capaces de eliminar patógenos y bacterias presentes en el agua, incluyendo *Escherichia coli* y coliformes totales.

El uso de moringa en sistemas de filtración no solo es beneficioso desde un punto de vista técnico, sino también desde una perspectiva ambiental y social. La moringa es una planta de rápido crecimiento que se adapta a diversas condiciones climáticas, lo que la convierte en una opción sostenible y accesible para comunidades rurales y urbanas. Además, la implementación de esta tecnología puede empoderar a las comunidades locales, proporcionándoles una herramienta eficaz y de bajo costo para mejorar la calidad del agua, reduciendo así la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y mejorando la salud pública.

Para optimizar la eficacia del sistema de filtración, es importante llevar a cabo un monitoreo continuo de los parámetros de calidad del agua antes y después del tratamiento, incluyendo pH, color, turbidez, conductividad, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, hierro total, alcalinidad total, dureza total y manganeso. Este monitoreo permitirá ajustar el dosaje de semillas de moringa según las condiciones específicas del agua a tratar, garantizando así un tratamiento efectivo y seguro.

Además, es fundamental promover la educación y la capacitación en el uso de moringa para el tratamiento del agua. Esto incluye la formación de la comunidad en técnicas de cultivo y recolección de semillas, así como en los procedimientos adecuados para su aplicación en el tratamiento del agua. La colaboración con instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales puede proporcionar el apoyo técnico necesario para desarrollar e implementar programas de capacitación efectivos.

Aunque resultados de la prueba de laboratorio indican que las características fisicoquímicas del agua todas cumplen con los estándares de calidad establecidos, hay problemas serios de contaminación bacteriológica, donde la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en niveles muy altos indica que el agua no es apta para el consumo humano sin tratamiento previo.

La investigación demuestra que la implementación de un sistema de filtración utilizando semillas de moringa es una solución prometedora para mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. Los resultados obtenidos evidencian la eficacia de la moringa como coagulante y agente antimicrobiano natural, ofreciendo una alternativa económica, accesible y sostenible para el tratamiento del agua. La adopción de esta tecnología puede tener un impacto significativo en la salud pública, especialmente en comunidades con acceso limitado a sistemas de tratamiento de agua convencionales. La combinación de monitoreo continuo de la calidad del agua, educación y capacitación de la comunidad y el uso de recursos naturales locales como la moringa, son integrales y sostenibles para abordar los desafíos de la calidad del agua. Este enfoque no solo mejora la seguridad del agua, sino que también promueve la autonomía y el empoderamiento de las comunidades en la gestión de sus recursos hídricos.

Anexos

Preguntas realizadas en la entrevista al tesorero Álvaro Dairo Vásquez del acueducto

Acua Villa:

1. Presentación:

- ¿Podría presentarse y describir su rol dentro del acueducto?

2. Descripción General:

- ¿Podría darnos una visión general de cómo funciona el acueducto?

Administración y Operaciones

3. Administración:

- ¿Cómo se gestiona administrativamente el acueducto?
- ¿Cuántos empleados trabajan aquí y cuáles son sus funciones principales?

4. Problemas Operativos:

- ¿Cuáles son los principales desafíos operativos que enfrentan diariamente?
- ¿Cómo afectan estos problemas a la distribución del agua?

Calidad del Agua

5. Procesos de Potabilización:

- ¿Por qué no se realizan procesos de potabilización del agua en este acueducto?

- ¿Qué obstáculos (financieros, técnicos, regulatorios) impiden la potabilización?

6. Salubridad:

- ¿Cómo garantizan que el agua sea al menos segura para usos no relacionados con el consumo humano?
- ¿Qué medidas de monitoreo de calidad del agua se implementan actualmente?

Problemas Financieros

7. Cartera y Pagos:

- ¿Cómo gestionan el cobro de los servicios del acueducto?
- ¿Existen problemas de morosidad? ¿Cómo los enfrentan?
- ¿Qué métodos de pago están disponibles para los usuarios?

8. Financiamiento:

- ¿Cómo se financia el acueducto? ¿Reciben apoyo gubernamental o de alguna otra entidad?
- ¿Qué estrategias utilizan para asegurar la sostenibilidad financiera del acueducto?

Mejoras y Futuro

9. Mejoras:

- ¿Qué mejoras se han implementado en los últimos años en el acueducto?
- ¿Cuáles son los planes futuros para mejorar la calidad y la distribución del agua?

10. Desafíos a Futuro:

- ¿Cuáles son los principales desafíos que ven en el futuro para el acueducto?
- ¿Qué se necesita para implementar un sistema de potabilización en el futuro?

Cierre

11. Comentarios Finales:

- ¿Hay algo más que le gustaría agregar que no hayamos cubierto?

Referencias

Acevedo Picón, E. D. (2019). Uso de semillas de moringa (*Moringa oleífera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander.

Alcaldía municipal de Ibagué. (2019). Plan de Desarrollo: Corregimiento 8 Villa Restrepo “Oportunidades Humanas y Desarrollo Sostenible”.
https://cimpp.ibague.gov.co/wp-content/uploads/2019/04/8_Villa_Restrepo.pdf

Arango. (2013). Editorial crisis mundial del agua página web Scielo.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000200001&script=sci_arttext

Auara, (12 de abril del 2023). El acceso a agua, un recurso esencial para el crecimiento económico página web. <https://auara.org/blogs/news/el-acceso-a-agua-un-recurso-esencial-para-el-crecimiento-economico>

Bohórquez, A, et al. (2023). Estudio y diseño de abastecimiento hidráulico de una planta de tratamiento de agua potable para el corregimiento de villa restrepo Ibagué tolima.
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/56f5159e-54db-4075-8faf-0b78050c3c84/content>

Botanica-online, (2022).Estudio de las ciencias naturales: ecosistemas de la tierra, funciones de las plantas y de los animales. Tomado de: Enciclopedia de la vida – Botanical-online

Bravo Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.

Calidad del agua para consumo humano. Tomado de:Calidad de Agua para Consumo Humano.pdf (saludcapital.gov.co)

Castillo, Valderrama y Chiatchoua. (04 de octubre del 2021). Artículo Factores determinantes del consumo productivo de agua y sus efectos en la actividad económica de México [web Scielo.](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212021000200505)
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212021000200505

Cayce J. Hook, (Enero del 2013). La condición socioeconómica y el desarrollo de las funciones ejecutivas, PDF, <https://www.encyclopedia-infantes.com/pdf/expert/funciones-ejecutivas/segun-los-expertos/la-condicion-socioeconomica-y-el-desarrollo-de-las-funciones>

Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería industrial, (029), 153-170.

Colombia. Función Pública. Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá: Los Ministerios. Tomada de:
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Colombia. Función Pública. Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Tomada de: Ley 142 de 1994 - Gestor Normativo - Función Pública (funcionpublica.gov.co)

Colombia. Función Pública. Ley 300 de 1996. Reglamentada por el Decreto Nacional 2590 de 2009. Tomada de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=8634>

Colombia. Función Pública. Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Tomada de: Ley 9 de 1979 - Gestor Normativo - Función Pública (funcionpublica.gov.co)

Colombia. Ministerio de vivienda (2020). Resolución 2115-2007. Tomada de: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

Constitución Política de Colombia, 1991. Artículo 365. Tomado de: Artículo 365 de la Constitución Política de Colombia (constitucioncolombia.com)

Correa, (s.f). Capítulo 2 importancia del recurso agua y algunas tecnologías destinadas a mejorar su calidad. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7788/NR40090.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=El%20recurso%20h%C3%ADrico%20es%20de,amplia%20diversidad%20de%20servicios%20ambientales.>

DANE. (2022). Situación de las mujeres rurales desde las estadísticas oficiales. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/oct-2022-nota-estadistica-mujer-rural-presentacion.pdf>

de Bogotá, A. (1998). Decreto 475 de 1998. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>.

Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Tolima. (2023). Evaluación de la calidad del agua en Villa Restrepo: Análisis físico-químico y microbiológico.

Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí. (2023). Eliminación de turbiedad en el agua mediante coagulantes naturales de semilla de durazno y haba.

Enciclopedia Significados. Qué es el PH. Tomado de: Qué es el pH: concepto, definición y escala (química) - Enciclopedia Significados

Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo (EMAPACOPSA). (2023). Evaluación del polvo de endospermo de Moringa oleífera en la remoción de sólidos totales en suspensión y turbidez en aguas residuales domésticas.

Fluence, (2024). Clarificación de aguas y efluentes. Tomado de: Clarificación de Aguas y Efluentes | Fluence (fluencecorp.com)

Fundación we are wáter, (05 de mayo del 2017). Turismo y agua, una relación difícil que debe ser modélica. página web. Turismo y agua, una relación difícil que debe ser modélica | WeAre Water

Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 11(2), 41-54.

Galarza, C. A. R. (2020). Los alcances de una investigación. *Ciencia América: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6.

Garay, J. (22 de marzo del 2023). En 2023, el 26% de la población mundial carece de agua potable. página web. En 2023, el 26% de la población mundial carece de agua potable | WIRED

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Capítulo 16. Ciudad de México, México: Editorial McGraw Hill Education. ISBN: 978-1-4562-6096-5.

H. Ramírez y J. Jaramillo, “Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos”. *Ingeniería Solidaria*, vol. 10, n.º 17, pp. 139-151, en.-dic., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.813> ó Arcila, H. R., & Jaramillo, J. (2014). Uso potencial de agentes clarificantes y desinfectantes de origen natural para el tratamiento integral del agua caracterizado por pisos térmicos. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 139-151.

Instituto de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México. (2023). Comparación de la eficiencia de *Opuntia ficus-indica* (Nopal) como coagulante para la clarificación de aguas.

Manulak, M. W. (2022). *The Brundtland Commission and the Seeds of Change. In Change in Global Environmental Politics: Temporal Focal Points and the Reform of International Institutions* (pp. 139–175). chapter, Cambridge: Cambridge University Press.

Michael, H. W., Peter, R., Ramón, L. M., & Luis, M. C. (2006). The economic conception of water. In *Water Crisis: Myth or Reality?* (pp. 61-92). Taylor and Francis.

Ministerio de Ciencia e Innovación, (2014). Colombia, el segundo país mas biodiverso del mundo. Tomado de: Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo | Minciencias

Miñan, M. (2024). Definición de floculos: ejemplos, que es, autores. Conceptopedia. Tomado de: Definición de Floculos: Ejemplos, Que es, Autores (conceptopedia.de)

Mwabi, J. K., et al. (2011). Eficiencia de los sistemas de filtración casera en la remoción de microorganismos y sustancias químicas en el tratamiento de agua.

Núñez, J. (2007). Validación de la eficiencia de las semillas de moringa (*Moringa oleífera*) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de río negro, río de oro y quebrada Floridablanca, Santander.

OMS.(2019). 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, según UNICEF y la OMS. Tomado de: 1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, según UNICEF y la OMS (who.int)

ONU, (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: nota del Secretario General. Tomado de: Report of the World Commission on Environment and Development : (un.org)

ONU, (2014). La escasez de agua. Tomado de: Escasez de agua 1 Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015 (un.org)

Organización Mundial de la Salud. (s.f). Agua y saneamiento. página web. <https://www.paho.org/es/.temas/agua-saneamiento>

Qué es molienda. Tomado de: Qué es Molienda (industriapedia.com)

Radio nacional de Colombia, (2023). Retos del acceso al agua potable y saneamiento básico: 7 departamentos en situación crítica. Tomado de: Acceso al agua potable: 7 departamentos de Colombia situación crítica (radionacional.co)

Real Academia Española, (2023). Página Web, <https://dle.rae.es/socioecon%C3%B3mico>

Real Academia Española, (2024), Físicoquímico, ca. Tomado de: físicoquímico, físicoquímica |Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE

Redacción Ibagué, (12 de julio del 2023). Tolima aumentó el número de habitantes sin acceso a agua potable página web. Tolima aumentó el número de habitantes sin acceso a agua potable (printfriendly.com)

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 84 ISSN 0121-5132. (2011).pp 7-17 Ospina, Ramírez. Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por

medio de fitoquímicos. Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos (ucc.edu.co)

Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud.

Ruiz Garcés, D.F (2021). Impacto del sistema de producción agrícola de la Vereda de Villa Restrepo en la cuenca del Río Combeima de Ibagué. Tomado de: Tesis Maestría Diego Ruiz F.pdf (umanizales.edu.co)

Sierra, C. S., Rojas, D. M., & Morales, J. J. (2016). Gestión del conocimiento en sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. *Omnia*, 22(1), 91-105.

Tamizado. Tomado de: Tamizado -Qué es, concepto, tipos, características y ejemplos (edu.lat)

Topanta Taipe, D. S. (2020). Evaluación de la eficiencia de la Moringa oleifera como floculante para el tratamiento de aguas residuales.

UNESCO, (22 de marzo del 2023). Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua). página web. Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua) | UNESCO

Universidad de Antioquia. (2024). Diseño de un prototipo de filtro casero para la potabilización del agua de la comunidad de Carepa, Antioquia.

Universidad Mayor de San Andrés. (2024). Evaluación de la eficiencia del mucilago de Opuntia ficus-indica como coagulante-flocular para la remoción de turbidez en aguas superficiales y sintéticas.