

Diseño de dispositivo para el tratamiento de aguas de consumo humano en las comunidades amazónicas de Warints y Yawi

Design of a device for the treatment of water for human consumption in the amazon communities of Warints and Yawi

Mauro Sebastián Salazar-Ramírez¹
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo - Ecuador
sebassss62@gmail.com

Telmo Jesús Moreno-Romero²
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo - Ecuador
tmoreno@esPOCH.edu.ec

Lidia del Rocío Castro-Cepeda³
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo - Ecuador
lidia.castro@esPOCH.edu.ec

Otto Fernando Balseca Sampedro⁴
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo - Ecuador
otto.balseca@esPOCH.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1103

V7-N3-1 (may) 2022, pp. 62-78 | Recibido: 24 de marzo de 2022 - Aceptado: 06 de mayo de 2022 (2 ronda rev.)
Edición Especial

1. Estudiante en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5143-0719>

2 Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

3 Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Recursos Naturales, Investigadora de la Facultad de Mecánica en la carrera de Mecánica
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>

4 Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Magister en Sistemas de Transporte de Petróleos y Derivados de la Escuela Politécnica Nacional. Docente de la Carrera de Mecánica del Área de Energía.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-0991>

Cómo citar este artículo en norma APA:

Salazar-Ramírez, M., Moreno-Romero, T., Castro-Cepeda, L., & Balseca Sampedro, O., (2022). Diseño de dispositivo para el tratamiento de aguas de consumo humano en las comunidades amazónicas de Warints y Yawi. 593 Digital Publisher CEIT, 7(3-1), 62-78 <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1103>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

Este artículo presenta el estudio de la disponibilidad de agua apta para el consumo humano y riego, a su vez el diseño de un prototipo de un dispositivo para el tratamiento del agua en las comunidades amazónicas, como una solución al problema de acceso al líquido vital. A partir del contexto actual de las comunidades se definen relaciones entre la economía, el tiempo y el aspecto socio cultural para generar mecanismos de accesibilidad e innovación; después de una profunda investigación se presenta el diseño de un prototipo de filtración compuesta para el tratamiento de las aguas de consumo humano en las comunidades amazónicas, basando la experiencia de investigaciones similares desarrollados en los últimos años en todo el mundo, se apuesta por el uso de tecnologías de filtración compuesta y biofiltros, este diseño es capaz de generar agua de calidad para el consumo humano a partir de las fuentes hídricas de aguas superficiales y aguas subterráneas presentes de las comunidades Warints y Yawi, una de las principales ventajas es su portabilidad en el punto de uso, además se detallan las utilidades y aspectos técnicos del diseño.

Palabras clave: biofiltración, agua, descontaminación, amazonía, diseño

ABSTRACT

This article presents the study of the availability of water suitable for human consumption and irrigation, as well as the design of a prototype of a device for water treatment in Amazonian communities, as a solution to the problem of access to vital liquid. Based on the current context of the communities, relationships between the economy, time and the socio-cultural aspect are defined to generate accessibility and innovation mechanisms; After an in-depth investigation, the design of a composite filtration prototype for the treatment of water for human consumption in Amazonian communities is presented, basing the experience of similar investigations developed in recent years throughout the world, it is committed to the use of composite filtration technologies and biofilters, this design is capable of generating quality water for human consumption from the water sources of surface water and groundwater present in the Warints and Yawi communities, one of the main advantages is its portability in the point of use, in addition the utilities and technical aspects of the design are detailed.

Key words: biofiltration, water, decontamination, amazon, design

Introducción

En la región Amazónica ecuatoriana existen múltiples necesidades y requerimientos con los cuales se puede garantizar un desarrollo sustentable para sus habitantes, sin embargo a lo largo de la historia se han suscitado numerosos eventos que han afectado este proceso de sobrevivencia para algunas minorías étnicas o grupos considerados como vulnerables; en el contexto actual debido al registro histórico que lamentablemente es parte del Ecuador y ante los escenarios políticos y sociales para estos habitantes pertenecientes a comunidades amazónicas la opción de lucha por la búsqueda de derechos humanos se ha convertido en el medio común para poder subsistir y mantener su legado cultural hasta los presentes días, de acuerdo con Cachipundo (2021), la problemática general dentro de estos grupos se debe al choque de múltiples realidades y causalidades de factores como el geográfico y el socioeconómico que han resultado en el surgimiento de necesidades para las crecientes generaciones que de manera directa inciden en el lento desarrollo del sector amazónico ecuatoriano.

Con el desarrollo de esta exploración, que parte del desarrollo del proyecto de investigación “CARACTERIZACIÓN Y GESTIÓN DE LOS SISTEMAS BIOFÍSICOS DE LAS COMUNIDADES WARINTS Y YAWI PARA LA GENERACIÓN DE CADENAS PRODUCTIVAS RESILIENTES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE” se han encontrado relaciones causales de este conflicto económico y socio cultural incluso llegando a la vulnerabilidad de derechos humanos relacionados con procesos de tratamiento de las aguas para el consumo humano, al entender la relación entre el bajo nivel de vida de los pobladores y la carencia de agua tratada de calidad para el consumo, se pretende aportar con soluciones que basen su aplicabilidad en la disponibilidad de los materiales y los procesos de manufactura necesarios para la implementación en el punto de uso.

Enfermedades y patologías relacionadas con el agua

El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2019) señala que las comunidades rurales representan el 83,0% de la población mundial que carece de acceso a una fuente de agua mejorada o tratada bajo un sistema de mejora de calidad del agua, y de modo paralelo pertenecen también al 71,0% de la población mundial que no cuenta con registros de saneamiento o procesos de tratamiento de aguas.

Según la OMS mundialmente a finales de 2017, más de 220 millones de personas requirieron la necesidad de un tratamiento preventivo como mecanismo de protección ante la esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada principalmente por el contacto y la proliferación de lombrices parasitarias dentro de las paredes del intestino delgado. Desde el punto de vista de Chu, Loeb y Ryberg (2019), estas patologías son contraídas por concentraciones elevadas de *Schistosoma* trematodo, producto de la exposición de los habitantes de poblaciones rurales con el agua infestada o carente de procesos de tratamiento.

García (2021) observa que varios de los ejemplos de enfermedades relacionadas con el agua necesitan de mecanismos para su transmisión, estos a su vez dependen del tipo de contacto que presenten las personas con aguas infectadas o no tratadas, en la tabla 1 se presentan una clasificación de las enfermedades infecciosas relacionadas con el agua.

Tabla 1

Clasificación de las Enfermedades Infecciosas relacionadas con el Agua (Cabezas, 2018)

Clasificación	Mecanismo	Ejemplos
Portadas o transportadas por el agua	Contaminación fecal	Cólera, tifoidea, enteropatógenos, VHA, VHE, enterovirus, parasitosis intestinal
Soportados por el agua	Organismos que parte de su ciclo de vida pasan en el agua	Fasciolosis, paragonimiosis, leptospirosis
Vinculados por el agua	Vectores biológicos que parte importante de su ciclo de vida se da en el agua	Malaria, dengue, zika, fiebre amarilla, chinkunguya
Lavadas por el agua	Relacionados a pobre higiene personal y al contacto con agua contaminada	Pediculosis, rickettsiosis
Dispersadas por el agua	Organismos que proliferan en el agua y entran por el tracto respiratorio	Legionelosis

Como opina Castillo (2021), una componente agravante a los problemas sanitarios en cuestión se presenta por una correlación con las variables económica y socio cultural de las comunidades amazónicas ecuatorianas, esto en consecuencia con los proyectos gubernamentales de explotación de recursos, implementados a lo largo de las últimas décadas.

El bajo nivel socioeconómico, el deficiente saneamiento básico, el consumo de agua insegura, los hábitos de higiene inadecuados, entre otros factores, hacen del área rural latinoamericana, asiática y africana una zona propicia para el desarrollo de enfermedades transmitidas por el agua.

Ding, Zhou, Cheng y Wang (2019) resaltan que, dentro de las múltiples patologías relacionadas con el agua, la enfermedad diarreica se destaca con aproximadamente 525.000 casos de mortalidad y 1.700 millones de morbilidad en niños menores de cinco años alrededor del mundo.

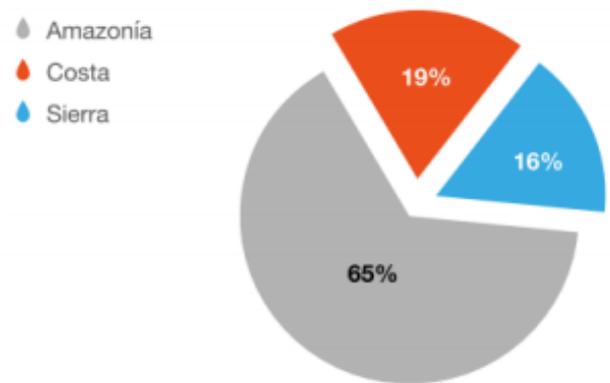
Según Vega (2019) para los habitantes de la Amazonía Ecuatoriana, dentro de los pacientes

diagnosticados el 88% de las enfermedades gastrointestinales se atribuyen al suministro de agua insegura, saneamiento deficiente y poca higiene conforme a las fuentes de la Organización Mundial de la Salud.

Aprovechamiento de recursos hídricos en Ecuador

Figura 1

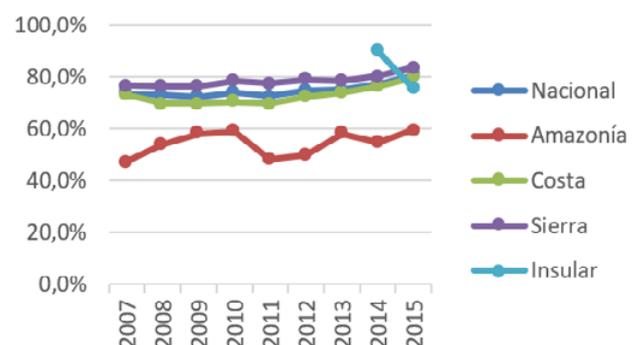
Composición porcentual de los recursos hídricos totales por región (SENAGUA, 2017)



Según la distribución mostrada en la Fig. 1, Burgos (2019) señala que el 65% de los recursos hídricos del Ecuador pertenece a la región Amazónica, además el promedio anual de los recursos hídricos subterráneos en el país es de 56,556 hm³ de los cuales 15,137 hm³ le corresponden a la región Costa, 8,381 hm³ a la Sierra y 33,037 hm³ a la Amazonía.

Figura 2

Niveles de cobertura de agua potable por región natural para el período 2007-2015 (INEC, ENEMDU. SIISE)



En referencia al contexto histórico del país y al reporte evaluado en la Fig. 2, para el último decenio se evidencia una mejora en la cobertura de la red de agua potable y alcantarillado en todas las regiones, principalmente en la región Amazónica, aun cuando sigue siendo la que registra los menores niveles respecto al resto de regiones.

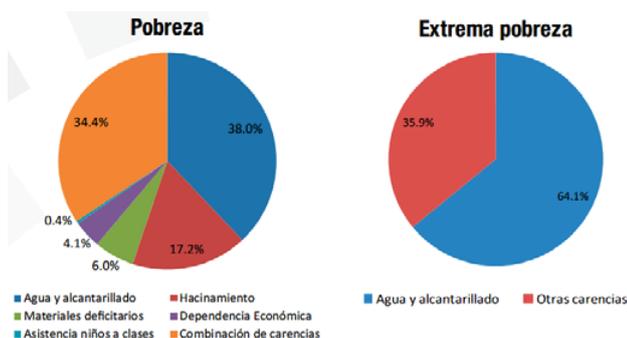
Según el (SIISE) Sistema Integral de Indicadores Sociales del Ecuador (2017), en el año 2015 el 80,4% de las viviendas en el Ecuador reciben agua potable procedente de una red pública. A nivel regional, la Amazonía es la que menor cobertura registra con un 59,5%, en contraste con los niveles de cobertura en la región Sierra que alcanza un 83,5% y la región Costa con 79,5%. En cuanto, a la región Insular de las Galápagos se ha registrado que 75,3% de la población contaban con el suministro de agua potable en el final de 2015.

Agua potable para erradicar la pobreza

Como una medida implementada por los gobiernos de Latinoamérica en las últimas décadas se han desarrollado políticas enfocadas a cubrir las necesidades básicas de la población como el acceso a la salud pública, la educación en los niños y jóvenes, el derecho a una vivienda digna entre otras, estas acciones han logrado mejorar paulatinamente la calidad de vida de las personas inmersas en las estadísticas de pobreza y pobreza extrema que son parte de la realidad de todo el continente.

Figura 3

Causales de pobreza y extrema pobreza en Ecuador (SENPLADES, 2014)



A partir de la distribución ilustrada en la Fig. 3 el componente de agua y alcantarillado representa el 38% de la pobreza por necesidades básicas insatisfechas NBI y el 64,1% de la extrema pobreza por NBI. Por lo tanto, la ampliación de estos servicios es una estrategia efectiva para reducir de manera efectiva los índices de pobreza en Ecuador según el informe de la Senplades (2014).

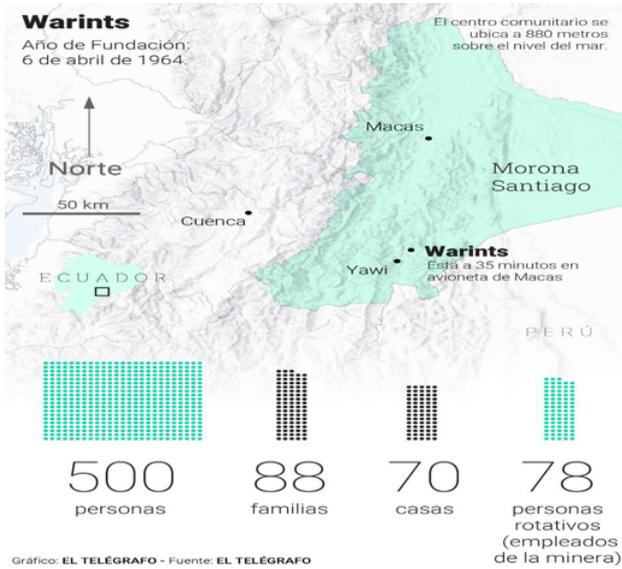
Comunidades Shuar de Warints y Yawi

En el corazón de la selva ecuatoriana, ubicados en la cordillera del Condor dentro de la provincia fronteriza de Morona Santiago se asientan los poblados de las comunidades Shuar de Warints y Yawi, la nacionalidad Shuar tiene presencia entre Ecuador y Perú con una estimación de 110 mil habitantes pertenecientes a 668 comunidades, de acuerdo con Nankamai (2014) su pueblo representa un legado ancestral de convivencia y respeto entre el hombre y la naturaleza.

Warints es una comunidad shuar ubicada sobre una explanada entre dos montañas de la Cordillera del Cóndor, en la provincia de Morona Santiago como se ilustra en la Fig. 4. Warints, que en shuar significa río rápido, es una población de 500 personas pertenecientes a 88 familias asentadas dentro de sus territorios. Como afirma Andrade (2020) sus habitantes son propietarios de más de 10.000 hectáreas, aunque la mayoría vive a lo largo de los 300 metros de la pista en un aproximado de 70 casas de donde 78 personas son empleadas rotativamente en la minería.

Figura 4

Ubicación de la Comunidad Shuar de Warints en la Amazonía Ecuatoriana (Andrade, 2020)

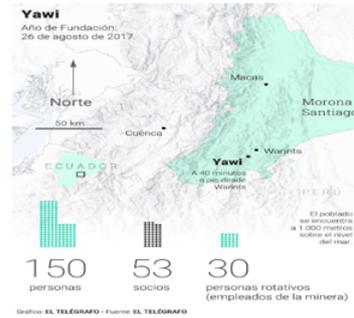


Yawi es una palabra que en idioma Shuar significa saladero, o espacio en el que los animales beben agua. Teniendo en cuenta a Cabrera (2020), este pueblo indígena se identifica al ser caminante por naturaleza y tradición, es una población de 150 personas de las cuales según su cosmovisión solamente 53 gozan de voz y voto para la toma de decisiones. Debido al modelo comunitario vigente Warintza, 30 personas son empleadas rotativamente en la minería.

Al ser una minoría étnica, su historia de lucha de derechos se ha visto influenciada por un estancado desarrollo humano dependiente de intereses particulares en la explotación de sus recursos naturales, como parte de la firma del convenio de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Salud Pública (MSP) y la compañía Lowell Mineral Exploration, en Octubre de 2020 se entregaron dos unidades de primer nivel de atención de salud de tipo container abastecidos con insumos médicos, donde el MSP asignará personal de salud para que preste atención permanente.

Figura 5

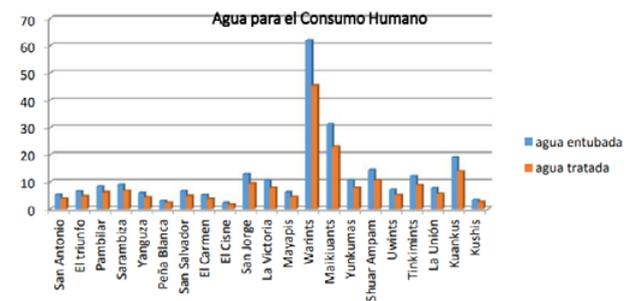
Ubicación de la Comunidad Shuar de Yawi en la Amazonía Ecuatoriana (Andrade, 2020)



En cuanto al tratamiento de las aguas en las comunidades amazónicas de Warints y Yawi, según el equipo consultor de la prefectura de Morona Santiago (2015) señala que referente al agua para el consumo humano en cada comunidad según la Fig. 5 predomina el agua entubada la misma que no cuenta con ningún tipo de tratamiento, es captada de fuentes como vertientes, quebradas o ríos, y conducida hasta las viviendas por tubería de plástico, y le sigue muy de cerca el agua tratada es decir, contaban con unidad de filtro, desarenador, tanque de reserva y sedimentador; sin embargo, no se le dio el debido proceso para un adecuado mantenimiento.

Figura 6

Tipos de abastecimiento de Agua para el consumo humano en las comunidades amazónicas (INEC, 2010)



De acuerdo con el reporte presentado por Cabrera y Andrade (2020) la realidad de los pobladores de las comunidades amazónicas de Warints y Yawi se relaciona con las falencias que presenta su modo de vida, las necesidades básicas insatisfechas de acceso al agua de

consumo equivalen a las múltiples enfermedades y problemas de economía que se vive en la comunidad. La problemática se agrava debido a la presencia de empresas extranjeras con interés de explotación de recursos naturales a través de acuerdos de minería, según datos del MSP (2020) el mayor porcentaje de pobladores en las comunidades son jóvenes entre adolescentes y niños que afrontan un escaso acceso al agua de calidad para el consumo.

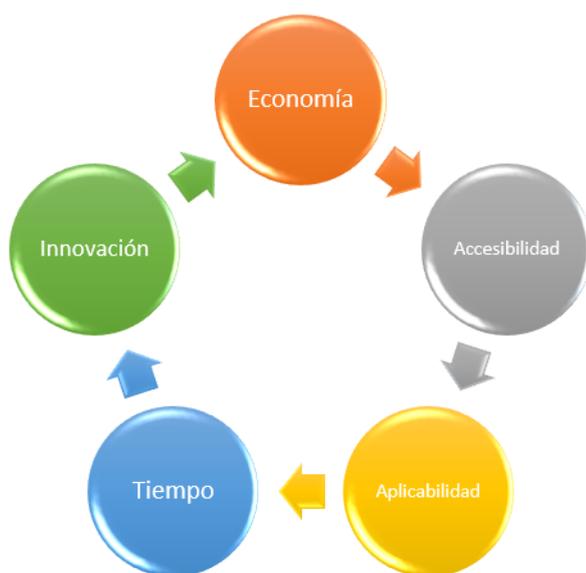
Método

Formulación y sistematización de la investigación

Se pueden comprender como causales primordiales a los índices de necesidades insatisfechas básicas de múltiples problemas que afrontan las comunidades amazónicas en realidades de pobreza, limitadas oportunidades y problemas relacionados con la vulnerabilidad sanitaria de niños, jóvenes, adultos y adultos mayores que en la actualidad sobreviven bajo la realidad de estas carencias y vulnerabilidades de derechos.

Figura 8

Variables inmersas en el contexto de la problemática



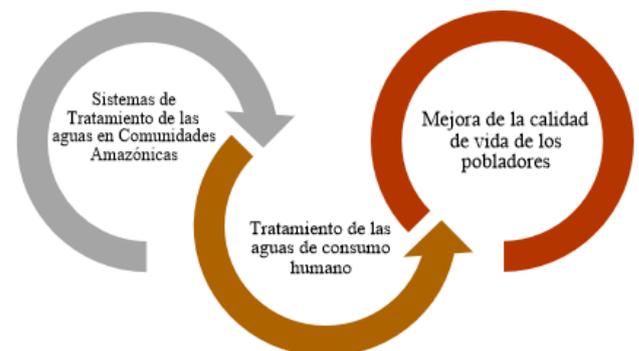
Con este acercamiento se percibe la relación de dependencia de las variables

mostrado en la Fig. 8, de acuerdo con Quintero (2017) se puede notar la necesidad de solventar las vulnerabilidades presentadas mediante propuestas que busquen una mejora en el nivel de calidad de vida de estas poblaciones de modo que se les garantice el derecho humano de acceso al agua de calidad para el consumo tomando en consideración los parámetros de sustentabilidad ambiental y el aprovechamiento de recursos naturales presentes en la zona, de modo paralelo se concibe la necesidad de una solución que base su efectividad en el uso de tecnología simple y duradera que se traduce en mantenimientos sencillos para los pobladores.

De este modo se delimita el problema del tratamiento de las aguas en dos componentes de análisis como se representa en la Fig. 9, de las cuales el tratamiento de las aguas a partir de fuentes hídricas para el consumo humano resulta como una propuesta de solución para la mejora de la calidad de vida de los pobladores debido al valor humanitario del proceso de saneamiento del agua.

Figura 9

Componentes del Tratamiento de las Aguas de consumo humano en las Comunidades Amazónicas



Al proyectar la solución en la satisfacción de las necesidades básicas de una comunidad se pretende contribuir de manera directa al desarrollo productivo de múltiples sectores relacionados con la presente carencia, el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pobladores se puede alcanzar al contribuir proactivamente a múltiples variables del problema socio económico y cultural de las comunidades amazónicas del Ecuador.

Tratamiento de aguas para el consumo humano

Desde el punto de vista de Salamanca (2016) para hablar de tratamiento de aguas para el consumo humano, debemos primero definir algunos elementos importantes como recurso conceptual en términos de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua, calidad del agua, contaminación y tratamiento del agua. Igualmente conocer cuales procesos se llevan a cabo entorno a su uso y cuales para los procesos de tratamiento.

Arellano (2012) resalta que los requerimientos de la calidad del agua varían de acuerdo con el uso que se les vaya a dar, por ejemplo, para agricultura, pesca, propagación de vida silvestre, usos recreativos o industriales específicos o generación de energía.

Mendoza (2018) enlista los principales contaminantes presentes en el agua mostrados en la Tabla 2:

Tabla 2

Clasificación de los contaminantes presentes en el agua. (Mendoza, 2018)

FÍSICOS	QUÍMICOS	G A S - EOSOS	BIOLÓGICOS
Color	Materia orgánica	Anhidrido carbónico	Bacterias
Olor y sabor	Acidez y alcalinidad	Metano	Hogos
Grasas y aceites	pH	Ácido sulfhídrico	Protozoos
Espumas	Nitrógeno		Algas
Radiactividad	Fósforo		Animales
Temperatura	Salinidad		Plantas
Sólidos disueltos	Metales pesados		Virus
Sólidos en suspensión	Detergentes		
	Compuestos tóxicos		
	Pesticidas		

Teniendo en cuenta a Rodríguez Monroy y Durán de Bazúa (2006) el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas,

físicas, biológicas o su composición como efecto de la presencia de organismos extraños o de naturaleza similar con los descritos en la tabla 2, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su uso en actividades domésticas, debiendo ser tratada si se requiere para el consumo humano, caso contrario, la población en general sufriría graves enfermedades.

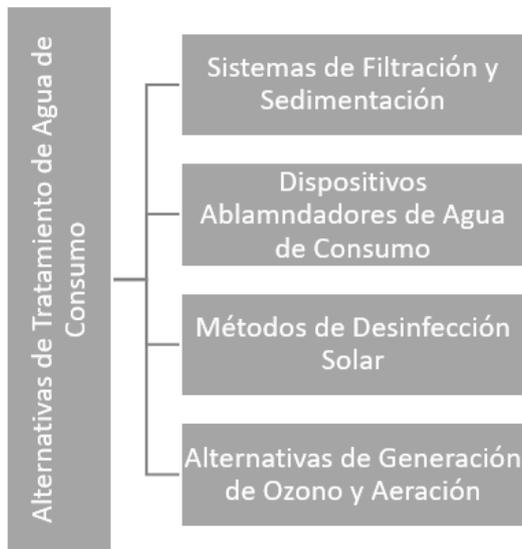
Saltos (2018) señala la importancia de mencionar que no se debe confundir los requerimientos de la calidad del agua con del uso y los segundos son cantidades establecidas por instituciones gubernamentales. los estándares de calidad del agua, los primeros están basados en la experiencia

En concordancia con el estudio presentado por Quintero (2017) las necesidades existentes en las comunidades amazónicas referentes al acceso al agua de calidad pueden satisfacerse con la implementación de soluciones que abarquen de modo significativo a la población, así como con el uso de tecnologías existentes o que basen su desarrollo en el aprovechamiento de materiales o recursos de la zona.

De acuerdo con Wesley (2016) existen muchas alternativas de tratamiento de las aguas para el consumo humano, de las cuales se resumen las alternativas más viables en la Fig. 10, a partir de los antecedentes resulta un análisis enfocado hacia variables que permitan atacar las necesidades de calidad y salubridad del líquido vital ya que a partir de estos procesos se definirán mecanismos de almacenamiento y distribución del recurso hacia las familias de las comunidades amazónicas.

Figura 10

Alternativas de Tratamiento para el Agua de consumo humano



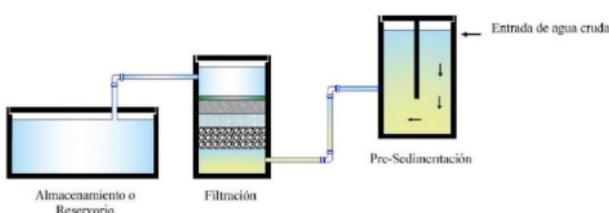
Sistemas de filtración para el tratamiento del agua de consumo humano

Desde el punto de vista de Mendoza (2018) la filtración es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso. Por ejemplo, cuando el agua pasa a través de lechos de arena, las partículas son retenidas en los espacios que hay entre los granos o en la superficie de estos en el proceso llamado adsorción.

Según Hurtado (2018) la implementación de un sistema de filtración garantizará la correcta aplicación y el aprovechamiento de recursos existentes que optimicen el diseño y su construcción para el uso de los pobladores de las comunidades Amazónicas del Ecuador, se presenta en la Fig. 11 el proceso empleado en la filtración, sus etapas y la línea de filtrado.

Figura 11

Proceso de Filtración (Rodríguez, 2017)



De modo paralelo Rodríguez (2017) afirma que para asegurar la correcta desinfección y la purificación del líquido se puede considerar como solución el uso de las tecnologías sustentables basadas en la filtración compuesta en donde a través de etapas de filtrado se logra remover ciertos contaminantes presentes en las tomas de agua para posteriormente almacenar el líquido en tanques comunes que también pudiesen ser derivados a subprocesos de desinfección con aditivos de naturaleza química como en el proceso de cloración que es ampliamente utilizado a nivel de la región y el país en general por las secretarías de administración de aguas y entes particulares que comercializan este recurso.

Cabe resaltar que los investigadores advierten de la necesidad de un sistema de sedimentación y pre filtrado en donde los sólidos de tamaño considerable son retenidos a través de mallas o trampas para alivianar la carga de contaminantes hacia los dispositivos de tratamiento para las aguas de consumo humano, la correcta implementación de estas etapas anteriores garantiza la eficacia de la solución.

Principio de filtración compuesta

García (2017) señala que la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas ofrece una opción para casos donde los usuarios no pueden conectarse a una planta de tratamiento, siendo de funcionamiento simple, mantenimiento sencillo, costos de operación, mantenimiento relativamente bajo y con resultados de calidad de agua relativamente altos, las mismas pueden estar conformadas por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua.

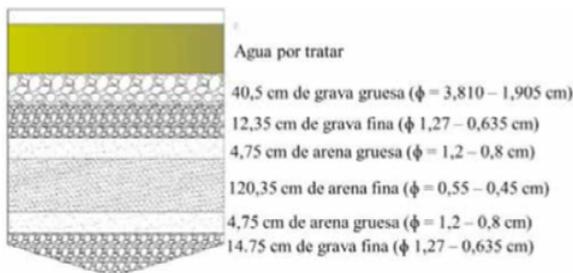
Como opina Jaramillo (2017) la filtración compuesta, se fundamenta en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava, filtros lentos de arena o filtros naturales que aprovechen los recursos de la zona, esta metodología beneficia principalmente a las comunidades rurales y pequeñas poblaciones, sin embargo, es poco conocido en la mayoría de los países, se intenta ampliar su aplicación y promover su desarrollo a través de proyectos comunitarios, particularmente en América Latina.

Biofiltración y filtración por gravas

De acuerdo con Torres (2017) la filtración compuesta requiere del mantenimiento de las capas biológicas usadas, así como de las gravas requeridas tal como se observa en la Fig. 12, el uso de materiales como planchas metálicas galvanizadas en conjunto de filtros orgánicos o de distinta naturaleza y proporción resulta en la versatilidad de un dispositivo para el mantenimiento de componentes y el aprovechamiento de los recursos de gravas presentes en las comunidades amazónicas.

Figura 12

Etapas de Filtrado por gravas (Mendoza y Vidal, 2018)



En referencia al empleo de la tecnología de biofiltros como afirma Pesantes (2016) la semilla de Moringa oleífera, debido a su origen natural se convierte en la mejor alternativa para la eliminación de la turbidez y bacterias que se encuentran suspendidas en el agua superficial y subterránea. Experimentos realizados con la semilla de Moringa oleífera han demostrado que elimina en un porcentaje alto los niveles de turbiedad y color.

Aguirre (2018) afirma que la Moringa oleífera es una alternativa ecológica que actúa como coagulante para la desinfección y eliminación de coliformes fecales presentados en el agua cruda de hasta un 100%, es decir, sin el uso adicional de químicos, la cáscara de la Moringa oleífera al contener mejores propiedades que filtros convencionales como los de rejillas contenedoras de sulfato de aluminio, por procedimiento natural estas semillas eliminan también la turbidez en porcentajes superiores al 90%, generando aguas con valores de turbidez menores a 5,80 NTU. Cabe señalar que estudios

científicos relacionan a los residuos del sulfato de aluminio con el desarrollo de la enfermedad del Alzheimer.

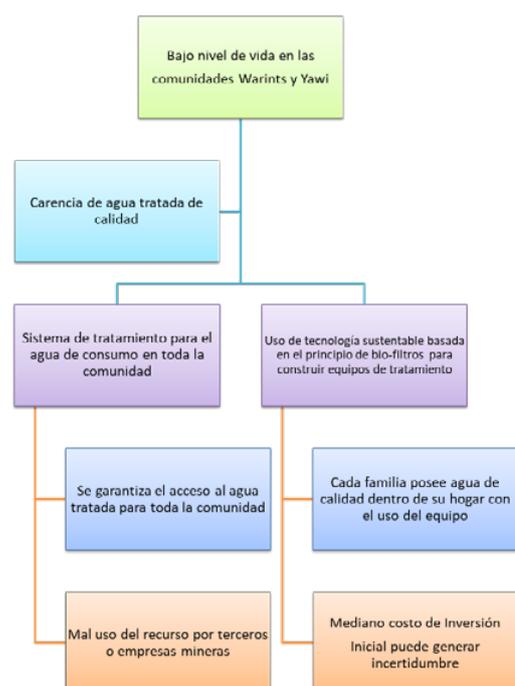
Metodología

La búsqueda de soluciones se basa en la aplicación de una metodología de sustentabilidad para las comunidades amazónicas en la cual, considerando ciertas variables como la economía, la accesibilidad, el principio físico o químico de solución, entre otras se definirán los mecanismos necesarios para el desarrollo de futuras investigaciones y trabajos afines.

Con la ayuda del esquema del problema mediante la herramienta del árbol de decisión se definen los mecanismos para el desarrollo del tratamiento de las aguas, en este análisis se consideran en forma individual los problemas de la carencia de agua tratada de calidad para el consumo humano, se resumen en la Fig. 13 algunas ideas de soluciones para ambas problemáticas en donde se aprovechan los recursos hídricos con responsabilidad ambiental.

Figura 13

Árbol de decisión para las alternativas de solución al Tratamiento de las Aguas en las comunidades amazónicas



De modo similar al trabajo desarrollado por Romero (2020) se propone la metodología de una evaluación cualitativa de cada uno de los sistemas de tratamiento de las aguas para el consumo humano para las comunidades amazónicas de Warints y Yawi, analizando factores ambientales, materiales, económicos y sociales con la ayuda de parámetros e indicadores definidos por la matriz de evaluación presentada a continuación en la Tabla 4

Dentro de los indicadores considerados se detalla paralelamente un índice de medida que genera una escala de valor para evaluar las múltiples alternativas mostradas en la Fig.14, de este modo se busca conocer la alternativa con mejores índices de calidad del agua, tiempo de implementación, así como materiales empleados.

Tabla 4

Matriz de evaluación cualitativa para las alternativas de Tratamiento de las aguas de consumo humano adaptada de Romero (2020)

INDICADORES	ÍNDICE DE MEDIDA		
Calidad del agua	1. Remoción de 2 contaminantes menor a 70%	2. Remoción de 3 contaminantes mayor a 70%	3. Remoción de contaminantes mayor a 90%
Materiales empleados	1. Uso de materiales complejos	2. Uso de materiales de fácil adquisición o manufactura	3. Uso de materiales naturales o de fácil adquisición
Disponibilidad	1. Materiales de difícil adquisición en el medio	2. Materiales que se pueden comprar con facilidad	3. Materiales naturales y disponibles en el medio
Costos de implementación	1. Requiere una inversión alta	2. Requiere una inversión media	3. Requiere una inversión baja
Capacidad de la solución	1. Solo puede ser implementado de manera individual	2. Solo puede ser implementado de manera colectiva	3. Puede ser implementado a modo individual y colectivo
Tiempo de implementación	1. Solución a largo plazo	2. Solución a mediano plazo	3. Solución a corto plazo
Método de manufactura	1. Uso de tecnología avanzada	2. Uso de tecnología simple con materiales complejos	3. Uso de tecnología con materiales comunes.

Bajo este modelo, de varias alternativas de solución para el tratamiento de las aguas para el consumo humano se observa la viabilidad de un sistema de filtración compuesta que aprovechando las tecnologías de filtrado por etapas se proyecta a suplir la demanda de agua de calidad en las comunidades amazónicas, además con el uso de biofiltros y gravas se pretende aprovechar los recursos presentes en el punto de uso con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Figura 14

Análisis de viabilidad de los sistemas de filtración para el tratamiento del agua de consumo mediante la técnica de radar



Se evidencia en la Fig.14 el análisis mediante la técnica de radar para los sistemas de filtración en las comunidades amazónicas que al ser evaluada cualitativamente resulta la alternativa adecuada para un uso de materiales de fácil adquisición, una baja inversión, un aprovechamiento de materiales de reciclaje como plásticos y sacos disponibles en el medio, entre otras ventajas que demuestran los indicadores.

Propuestas de diseño

En base a la organización de las ideas de consideradas en las etapas de delimitación, análisis y solución del problema se presentan los principales componentes de operación mecánica para la implementación de los sistemas sugeridos, así también se describen las particularidades referentes al diseño de cada uno de los prototipos a implementarse.

Tratamiento de las aguas para el consumo humano

Para implementar el sistema de tratamiento de agua de consumo que garantiza una calidad de agua apta para el consumo humano se pretende manejar etapas de procesos en donde partiendo de la toma o punto de captación de agua se genere en una primera instancia el filtrado a través de materiales naturales encargados de la remoción de contaminantes y disminución de turbidez que continuará en la desinfección y eliminación de agentes bacterianos y patógenos con la etapa de filtración por gravas que ofrece una capa biológica en función de la velocidad de filtrado de donde a su salida se conectara la línea de almacenamiento de agua tratada

Diseño del prototipo de filtración compuesta

La organización mundial de la Salud OMS recomienda para las actividades de consumo e higiene diarias de una persona 100 litros de agua, considerando también una proyección entre las comunidades amazónicas de Warints y Yawi para 1000 pobladores, se definen las variables del diseño.

La eficacia de los sistemas de filtración se concibe a partir de la velocidad de filtración y el área del módulo de filtración, se estima un valor de 0.5m/h adecuado para la formación de la biopelícula encargada de la remoción de agentes patógenos en la etapa de filtrado por gravas.

Se define el Área de Filtración por la ecuación de continuidad:

$$A_s = \frac{Q}{V_f}$$

De donde para asegurar un caudal regulable de 500 l/h se requiere un área de diseño de 1 m² y el valor estimado de 0.5 m/h para la velocidad en las líneas de filtración.

Con este dato se concibe la necesidad de un prototipo mostrado en la Fig.15 de dimensiones exteriores generales de 1x3x1.5

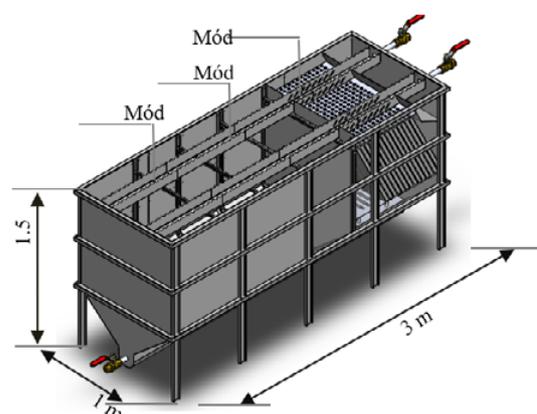
metros con capacidad de tratamiento para 36 mil litros de agua por día, esta capacidad se logra gracias al diseño portable de 3 módulos de filtración por unidad, que a su vez frente al escenario crítico planteado inicialmente requiere la implementación en campo de 3 unidades de filtración para suplir la demanda en las comunidades amazónicas con un estimado de 108 mil litros diarios de agua tratada para el consumo.

Dentro del sistema de filtración compuesta, el fluido pasará a través de segmentos definidos por perfiles de configuración cuadrada en los cuales se puede insertar componentes naturales para la filtración por etapas, así también se puede intercalar estos módulos de filtros según sea el diagnóstico en las muestras de la toma de las fuentes hídricas.

Debido a la naturaleza del diseño del prototipo enfocado hacia la filtración por etapas se concibe un diseño modular dotado de los componentes necesarios en la etapa de biofiltración y filtración por gravas, es así en función de la necesidad que para satisfacer la demanda del estudio de caso de las comunidades amazónicas de Warints y Yawi, objeto del presente documento, solamente se definen tres módulos por unidad, si la necesidad fuese mayor o menor para un posible trabajo similar se puede considerar una variante a partir del diseño propuesto.

Figura 15

Propuesta de Prototipo de Filtración Compuesta



Prefiltración y sedimentación

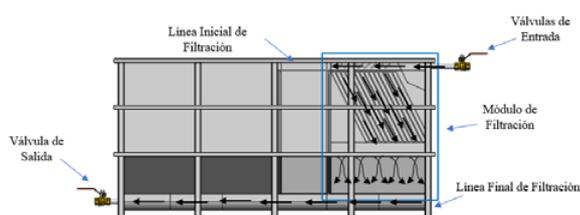
Para garantizar la eficacia del sistema de filtración por etapas se requiere de una cámara de sedimentación y prefiltración que remueva los sólidos suspendidos de gran tamaño, así también se puede optar por un estanque ecualizador compuesto por mallas o rejas ubicado entre la toma de captación y la línea inicial de filtrado del prototipo para preservar el buen estado del equipo y por ende su correcto funcionamiento.

Funcionamiento del sistema

Dentro del sistema de filtración compuesta, para cada módulo de filtración, como se ilustra en la Fig. 16 el líquido fluirá desde las válvulas de entrada hacia las líneas de filtrado que guían al fluido hacia los módulos de filtración en donde a través de segmentos definidos por perfiles de configuración cuadrada en los cuales se puede insertar componentes naturales para la filtración por etapas, el fluido irá mejorando su calidad y reduciendo sus contaminantes así como su turbidez, finalmente el agua se filtrará en la cámara de gravas tras lo cual fluirá por la válvula de salida al final de la línea de filtración.

Figura 16

Flujo del Agua dentro del Sistema de Filtración



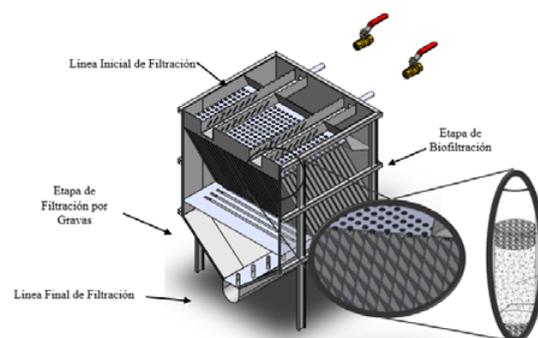
Diseño de etapas del módulo de filtración compuesta

Como se ilustra en la Fig. 15 el sistema es capaz de almacenar hasta tres módulos de filtración para la estructura mostrada en el prototipo, dentro de cada módulo se busca que el tratamiento contemple las etapas de biofiltración y filtrado lento por gravedad, para estos subprocesos se aprovecharán los recursos de la zona como los tipos de grava, arena y las semillas de Moringa oleífera.

Al basar el diseño en un sistema de filtración compuesta se definen dos etapas, según la Fig. 17, la primera etapa es la de biofiltración, la cual abarca la sección inicial de filtrado en donde se colocarán las semillas de Moringa oleífera a lo largo de los perfiles ilustrados, la segunda etapa de gravas controlará el paso del fluido a través de capas de arenas y gravas que aprovechando la velocidad de filtrado generarán la biopelícula encargada de la remoción de agentes patógenos.

Figura 17

Etapas del Módulo de Filtración Compuesta



En concordancia con el trabajo desarrollado por García (2017) se recalca que el costo de implementación, operación y mantenimiento del prototipo de filtrado es bajo, dado que los materiales como la arena, piedra y estopa de coco, se obtienen del mismo entorno y el mantenimiento puede ser realizado por las mismas familias de pobladores de las comunidades amazónicas.

Mantenimiento del sistema de filtración compuesta

Acorde con las variables de operabilidad del sistema Carrión (2020) registra la necesidad de garantizar la funcionalidad de los componentes de los sistemas de tratamiento bajo índices de criticidad para evitar el fallo de estos dentro del ensamble del conjunto, lo cual es logable al definir un plan de mantenimiento para el sistema de filtración.

Se presenta en la Tabla 5 un cronograma de trabajo para la ejecución de actividades enfocadas a un mantenimiento preventivo de los componentes del sistema de filtración

compuesta, las técnicas presentadas son muy básicas y sencillas de ejecutar, esto se logra al concebir desde el diseño un enfoque simple para el sistema sin el uso de energía o suministro pero aprovechando los recursos naturales presentes en las comunidades, el mantenimiento es una medida preventiva para garantizar el funcionamiento periódico de las unidades así como la calidad de agua obtenida gracias a las propiedades de las semillas de moringa y el medio granular ascendente en tamaño hacia el fondo del módulo.

Tabla 5

Propuesta de Mantenimiento del Sistema de Filtración adaptado de Carrión 2020

TÉCNICA	TIEMPO	REGISTRO
Limpieza de planchas galvanizadas	Cada mes	Desgaste superficial
Cambio de semillas y gravas	Mensualmente/ Cada 15 días según el flujo	Aspecto de las semillas
Inspección visual de fugas en válvulas o conexiones	Mensualmente/ registro inmediato	Desgaste superficial, fisuras
Muestreo y análisis de agua en las líneas inicial y final de filtración	Trimestralmente/ laboratorios asociados	Niveles de turbidez, remoción de contaminantes

Resultados y discusión

Para el tratamiento del agua para el consumo humano Se pretende lograr resultados de mejora en la remoción de contaminantes así como en la turbidez y otras propiedades que definen la calidad del agua, al usar biofiltros compuestos por semillas de moringa en trabajos similares como la investigación desarrollada por Mendoza (2017) se puede observar que según la Tabla 8, para aguas tratadas con la cáscara de la Moringa oleífera, los valores de pH y alcalinidad variaron durante el tratamiento del agua sintética con las diferentes concentraciones de Oleífera, en comparación con los valores presentados antes del tratamiento se ve una reducción para los valores de la turbidez NTU hasta en un 57%, mientras que el pH y la alcalinidad presentan

mejores en menor grado.

Tabla 8

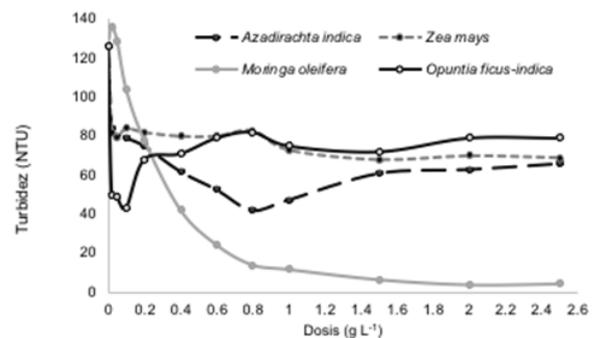
Parámetros fisicoquímicos de las aguas sintéticas tratadas con Moringa Oleífera tomado de Mendoza, 2017

Parámetros Fisicoquímicos	Valores para la Concentración Óptima		Valor Máximo Aceptable
	75 NTU	150 NTU	
Turbidez (NTU)	14,9 ± 3,0	8,5 ± 2,1	5(10)
Color (UC)	5 ± 0,0	5 ± 0,0	15(25)
pH	6,7 ± 0,3	7,5 ± 0,2	6,5 - 8,5
Alcalinidad (mg CaCO3/l)	58 ± 7,0	78 ± 2,0	

Referente a la turbidez según Aguirre (2018) se aprecia la efectividad en la disminución de esta propiedad ya que el estudio asevera que produjo una remoción de la turbidez y el color de 96.8 y 97.8% para el desarrollo experimental realizado en el cauce del río Magdalena de Colombia.

Figura 18

Comportamiento de la turbidez del agua río Magdalena tratada con coagulantes naturales tomado de Aguirre, 2018



Con la etapa de filtrado por gravas se pretende lograr índices de calidad semejantes a los mostrados en la Tabla 9 donde de acuerdo con García y Ávila (2021) esta técnica es capaz de mejorar significativamente los valores de turbidez, color, dureza total, alcalinidad, cloruros, nitratos y demás minerales como exponen los investigadores.

Tabla 9

Diferencias en los resultados de análisis de calidad de agua antes y después de tratamiento por gravas, tomado de García y Ávila 2021

Parameter	Results
Turbidity	Significat Difference (p<0,0001)
Color	Significat Difference (p<0,0001)
pH	No significant difference (p=0,7013)
TDS	No significant difference (p=0,8564)
Total hardness	Significant Difference (p=0,0004)
Alkalinity	Significat Difference (p<0,0001)
Sulfate	Significat Difference (p<0,0001)
Chlorides	Significant Difference (p=0,0033)
Nitrates	Significat Difference (p<0,0001)
Phosphates	Significat Difference (p<0,0001)
Iron	Significat Difference (p<0,0001)

Conclusiones

En el estudio se presenta el diseño de un prototipo de filtración compuesta para el tratamiento de las aguas de consumo humano en las comunidades amazónicas, basando la experiencia de investigadores en proyectos similares desarrollados en los últimos años en todo el mundo, se apuesta por el uso de tecnologías de filtración compuesta, biofiltros y filtración por gravas con las cuales se pretende entregar un valor agregado hacia el agua de consumo proveniente de fuentes superficiales o subterráneas, así también se evaluó el potencial de la solución en base a una matriz cualitativa de indicadores orientada al uso de recursos naturales, un corto tiempo de implementación para el desarrollo de una solución a largo plazo que se traduce en una gran accesibilidad de los materiales a emplear y un diseño en donde el mantenimiento necesario para su operación es mínimo, se pretende que este estudio sirva como una base para futuras investigaciones que se proyecten hacia la aplicación e implementación de estos equipos para la mejora de la calidad de vida de los habitantes de las comunidades amazónicas del Ecuador.

Referencias bibliográficas

Cachipundo Ulcuango, C. (2021). *Agua para la gente: experiencias de gestión comunitaria del agua en el Ecuador*. Editorial Abya-Yala.

Torres, A. (2020). *El agua, un recurso finito: análisis del informe de las Naciones Unidas "No dejar a nadie atrás"*(2019). Boletín Informativo del Grupo de Jóvenes Investigadores, 2.

Connor, R., & Koncagül, E. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015: Agua para un mundo sostenible*. Resumen ejecutivo.

Chu, C., Ryberg, E. C., Loeb, S. K., Suh, M. J., & Kim, J. H. (2019). *Water disinfection in rural areas demands unconventional solar technologies*. *Accounts of Chemical Research*, 52(5), 1187-1195.

García-Ávila, F., Avilés-Anazco, A., Sánchez-Cordero, E., Valdiviezo-González, L., & Ordonez, M. D. T. (2021). *The challenge of improving the efficiency of drinking water treatment systems in rural areas facing changes in the raw water quality*. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 141-149.

Sánchez, C. C. (2018). *Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú*. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 35, 309-316.

Ding, W., Zhou, J., Cheng, J., Wang, Z., Guo, H., Wu, C., ... & Wang, Z. L. (2019). *TriboPump: a low-cost, hand-powered water disinfection system*. *Advanced Energy Materials*, 9(27), 1901320.

PATIN LEMA, E. J. (2020). *"Estudio de calidad de agua y modelación hidráulico del sistema de distribución de agua potable en el circuito n° 9 de la ciudad de Jipijapa* (Bachelor's thesis, Jipijapa. UNESUM).

- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Díaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*. Revista Ciencia UNEMI, 9(20), 109-117.
- Burgos Pín, B. F. (2019). *Simulación y modelado de los procesos de potabilización para pequeños flujos de aguas subterráneas de consumo en una parroquia rural del cantón El Empalme* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
- Quintero Romero, A. F. (2017). *Incidencia del Banco de Desarrollo del Ecuador Banca Pública en el financiamiento de proyectos de agua potable y alcantarillado en el Ecuador durante el periodo 2008* (Bachelor's thesis, PUCE).
- Maldonado, A. M. L. (2014). Pobreza y desigualdad en el Ecuador: un balance de 7 años de Revolución Ciudadana. *REVISTA DE ANÁLISIS POLÍTICO DE LA DEFENSA DEL MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL DEL ECUADOR*, 22.
- Andrade, L., Cabrera, M., Almeida, C., Navas, E., (2020). *Warintza, el nuevo modelo de minería indígena*. El telégrafo, pp.3: 15-17.
- Prefectura de Morona Santiago. (2015). *Diagnostico Parroquia San Antonio_30-10-2015_23-47-33.pdf*, s. f.
- Salamanca, E. (2016). *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Módulo arquitectura CUC.
- Durán Moreno, A. (2015). *Introducción a la ingeniería ambiental*.
- Arellano, J. (2012). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Mexico, D. F.: Alfaomega.
- Mendoza Cevallos, M. G., & Saltos Intriago, C. A. (2018). *Sistema de abastecimiento de agua mediante procesos de filtración, ablandamiento y desinfección para zonas rurales de Manabí, Ecuador* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Eckenfelder, W. Wesley Jr. *Principles or Water Quality Management*. CBI Publishing Company, Inc. Copyright @ 2016. Boston, Massachusetts
- Graham, N.J.D. *Slow Sand Filtration*. Imperial College of Science and Technology. University of London. N.D.J Graham/Ellis Horwood Limited, Copyright 1988. Chichester, England.
- Mendoza, Á. C., Vidal, L. L., Hurtado, E., Maestre, R. B., & Acuña, R. S. (2018). *Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, Ecuador*. Revista Ciencia UNEMI, 11(28), 76-87.
- Vargas Rubiano, H. T., & Álvarez Hernández, A. C. (2020). *Diseño hidráulico y sanitario de una planta de tratamiento para agua potable en la Finca Avícola Buena Vista (Cáqueza-Cundinamarca)*.
- García Loayza, K. A. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable aplicando la tecnología de filtración en múltiples etapas*.
- J. Rodríguez Baquerizo, J. Córdova Rizo, M. Baquerizo Cabrera y J. Rodríguez Santos, (2017) «*Parámetros básicos que determinan la calidad del agua subterránea para uso agrícola*,» Universidad de Guayaquil, p. 1,
- Jaramillo Tomaselli, M. G. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para zona rural mediante el sistema de filtración en múltiples etapas*.
- P. A. Estrella Pesantes, *Evaluación de filtro de arena usando moringa oleífera, para remoción de turbidez en agua de Río Daule*, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016

- J. J. Feria Díaz, S. Bermúdez Roa y A. M. Estrada Tordecilla, (2014) «*Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú**,» Producción + Limpia, vol. 9, n° 1, p. 2.
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). *Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia*. Información tecnológica, 29(3), 59-70.
- Ardila, Solkarine. 2020. “*Revisión Bibliográfica Sistemática De Tratamientos De Agua Potable De Bajo Costo, Para Comunidades Pequeñas Y Descentralizadas.*” Universidad Militar Nueva Granada.
- Carrión-Mero, Paúl, Josué Briones-Bitar, and Emily Macías-Núñez. 2020. “*Technical Alternatives Analysis for Water Supply in the Rural Parish of Limonal, Ecuador.*” WIT Transactions on Ecology and the Environment 241:183–95.