

**Elaboración de un sistema de potabilización de agua con radiación UV-C, para vivienda
rural dispersa**

Jennifer Constanza Suárez Hernández



Ingeniería Civil, Facultad de ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2023

**Elaboración de un sistema de potabilización de agua con radiación UV-C, para vivienda
rural dispersa**

Jennifer Constanza Suárez Hernández

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de ingeniera civil

Luis Efrén Ayala Rojas-Director



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2023

Tabla de contenido

GLOSARIO	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
ALCANCE.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	19
MARCO REFERENCIAL	20
MARCO CONCEPTUAL.....	20
<i>Coliformes</i>	20
<i>Virus</i>	20
<i>Parásitos</i>	20
<i>Antracita</i>	21
<i>Arena Sílice</i>	21
<i>Carbón activado</i>	21
<i>Luz Ultravioleta UVR</i>	21
<i>Agua cruda</i>	22
<i>Agua potable</i>	22
<i>Calidad del agua</i>	23
<i>Vivienda rural dispersa</i>	23
MARCO TEÓRICO.....	23
<i>Proceso de filtración</i>	23

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	4
<i>Potabilización del agua</i>	25
<i>Desinfección del agua por medio de radiación UV-C</i>	26
MARCO NORMATIVO.....	26
<i>Informe Nacional de Calidad del agua para consumo humano INCA 2021</i>	26
<i>Decreto 1575 de 2007</i>	27
<i>Resolución 2115 de 2007</i>	27
<i>Resolución 330 de 2017</i>	27
<i>Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio</i>	27
ANTECEDENTES.....	28
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN PURIFICADOR DE AGUA MEDIANTE RADIACIÓN UV Y CÁMARA DE ELECTRODIÁLISIS ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA USUARIO RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE YOPAL (CORTES & RODRÍGUEZ, 2022).....	29
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO EN ZONAS RURALES DE COLOMBIA (CURE & GÓMEZ, 2020).....	29
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CON INCLUSIÓN DE TANQUE DE LUZ UV EN EL MUNICIPIO DE RÁQUIRA (AMAYA, 2020).....	30
CAPÍTULO I. DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR	32
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
MUESTREO	32
VARIABLES.....	32
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	33
CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	35
FASE I	35
<i>Caracterización de la vivienda rural dispersa</i>	35

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	5
<i>Toma de muestra 1</i>	40
FASE II	42
<i>Determinación de materiales</i>	42
<i>Prueba de los materiales filtrantes</i>	43
<i>Determinación del sistema de filtración</i>	46
FASE III	47
<i>Construcción del sistema de potabilización</i>	47
<i>Pruebas de funcionamiento sistema UV-C con filtro de gasa y carbón activado</i>	56
REDISEÑO DEL SISTEMA	59
<i>Determinación de materiales</i>	59
<i>Construcción del sistema de potabilización</i>	61
<i>Pruebas de funcionamiento sistema UV-C con filtro de antracita, arena sílice y carbón activado</i>	63
<i>Toma de muestra 1 y 2 y verificación de condiciones</i>	64
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
RESULTADOS MUESTRA DE AGUA 1	68
<i>Determinación del IRCA</i>	70
RESULTADOS MUESTRA DE AGUA 2	72
<i>Determinación del IRCA</i>	74
COSTO DEL PROYECTO	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	84

Lista de Figuras

Imagen 1.	35
Imagen 2.	36
Imagen 3.	37
Imagen 4.	38
Imagen 5.	38
Imagen 6.	39
Imagen 7.	39
Imagen 8.	42
Imagen 9.	44
Imagen 10.	44
Imagen 11.	45
Imagen 12.	45
Imagen 13.	47
Imagen 14.	47
Imagen 15.	48
Imagen 16.	49
Imagen 17.	49
Imagen 18.	50
Imagen 19.	50
Imagen 20.	51
Imagen 21.	51
Imagen 22.	51
Imagen 23.	51

Imagen 24.....	53
Imagen 25.....	53
Imagen 26.....	55
Imagen 27.....	57
Imagen 28.....	58
Imagen 29.....	60
Imagen 30.....	60
Imagen 31.....	61
Imagen 32.....	61
Imagen 33.....	62
Imagen 34.....	63
Imagen 35.....	64
Imagen 36.....	70
Imagen 37.....	71

Lista de Tablas

Tabla 1	33
Tabla 2.	41
Tabla 3.	54
Tabla 4.	54
Tabla 5.	55
Tabla 6	57
Tabla 7.	66
Tabla 8.	67
Tabla 9	67
Tabla 10.	68
Tabla 11.	70
Tabla 12.	72
Tabla 13.	74
Tabla 14.	75

Lista de Gráficas

Gráfica 1.	15
Gráfica 2.	22
Gráfica 3.	40

Glosario

ANASCOL. Laboratorio instrumental acreditado y autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social para la realización de análisis de agua para consumo humano.

DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

INCA. Informe de calidad del agua para consumo humano.

INS. Instituto Nacional de Salud.

IRCA. Índice de riesgo para la calidad del agua potable.

PDET. Programas de desarrollo con enfoque territorial.

UV-C. luz ultravioleta tipo C.

UVR. radiación ultravioleta.

PDET. Programas de desarrollo con enfoque territorial.

WASH COLOMBIA. Agua saneamiento e higiene. Prestador de servicios de manejo de información a organizaciones humanitarias y de desarrollo en Colombia.

Resumen

En el presente proyecto, se da a conocer el proceso de diseño e implementación de un sistema de potabilización de agua con desinfección UV-C, utilizado en una vivienda rural dispersa con una fuente de abastecimiento natural sin tratamiento.

Para la elaboración del sistema, se tuvo en cuenta que los materiales de filtración tuvieran características de efectividad, economía y accesibilidad para este tipo de viviendas. Ello, de acuerdo con las condiciones de lejanía o disponibilidad de productos químicos, los cuales pueden ser factores que desfavorecen la instalación de este tipo de elementos en viviendas rurales.

También, se procuró el uso de materiales reciclables con características duraderas y resistentes, durante las pruebas iniciales de los filtros y en los tramos posibles del sistema. Ello, con el propósito de entregar como resultado un sistema de potabilización responsable con el medio ambiente y económico.

Palabras clave: Potabilización, desinfección UV-C, vivienda rural, sostenible.

Abstract

In this project, the development process and results of a water purification system with UV-C disinfection are presented, used in a dispersed rural home with a natural supply source without treatment.

For the development of the system, it was taken into account that the filtration materials had characteristics of effectiveness, economy and accessibility for this type of housing. This, in accordance with the conditions of remoteness or availability of chemical products, which may be factors that disfavor the installation of this type of systems in rural homes.

Also, the use of recyclable materials with durable and resistant characteristics was sought during the initial tests of the filters and in the possible sections of the system. This, with the purpose of delivering as a result an environmentally responsible and economical water treatment system.

Introducción

La potabilización del agua, consiste en una serie de procesos por medio de los cuales se retira material particulado, bacterias, virus, parásitos y cualquier otro microorganismo, con el fin de transformarlo en un recurso hídrico apto para el consumo humano.

De acuerdo con las memorias de la conferencia realizada por la Organización de las naciones unidas sobre el agua 2023, la intervención de la República de Colombia dio a conocer que:

En Colombia 12 millones de personas tienen acceso inadecuado al servicio de agua potable, esto representa 25% de la población del país y 3.2 millones de personas no tienen acceso, siendo especialmente crítica esta situación en el sector rural. Cerca de 1.5 millones de personas realizan sus necesidades fisiológicas al aire libre y solo se tratan 52% de las aguas residuales. (p. 1)

Teniendo en cuenta que, la problemática de accesibilidad al agua potable se encuentra más concentrada en los sectores rurales del país y que las intervenciones por parte del estado pueden implementarse de manera progresiva en un mediano y largo plazo, con el presente proyecto se pretende materializar una alternativa eficiente para la potabilización del agua en viviendas rurales dispersas, por medio de un sistema de filtración y desinfección con radiación ultravioleta tipo c (UV-C).

La radiación ultravioleta UVC ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de agua para consumo humano, como una alternativa de desinfección. El riesgo asociado al uso de este tipo de luz es la exposición directa a la vista o a la piel, lo cual causa lesiones que se pueden evitar con los elementos de protección adecuados (gafas con filtro UV y guantes). Este tipo de riesgos son controlados, sin embargo, no es el caso de la desinfección con cloro.

Según menciona (Rossel et al., 2020) “la principal desventaja de la cloración es la generación de subproductos tóxicos que han sido identificados como potencialmente cancerígenos” (p. 3). Además de ello, menciona que “la luz UVC desinfecta el agua potable sin la necesidad de almacenar o manejar reactivos químicos peligrosos y, por su corto tiempo de contacto (del orden de segundos o minutos), lo cual reduce el tamaño de los tanques de tratamiento y con ello el costo”, a diferencia de la cloración. (p. 3)

Durante la realización del sistema de potabilización, se implementó el uso de materiales respetuosos con el medio ambiente, garantizando procedimientos sostenibles en la mejora de la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales del país.

Por ello, la pregunta de investigación que abordó el presente proyecto fue ¿Un sistema de desinfección de agua cruda basado en el uso de la radiación UVC, favorece la disminución del contenido de coliformes totales, E. coli y normalización de los parámetros fisicoquímicos alcalinidad total, acidez, temperatura, turbidez, fosfatos y nitratos para el cumplimiento con los valores máximos permitidos establecidos en la resolución 2115 de 2007?

Planteamiento del problema

Según los datos más recientes del plan nacional de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico rural (2020), “el porcentaje de cobertura del servicio de acueducto en zonas urbanas es del 97.9%, mientras que en el rural alcanza solamente el 73.3%” (p. 16).

Debido a la falta de servicio de acueducto, el uso de fuentes hídricas no apropiadas se hace más frecuente en zonas rurales, sobre todo en viviendas dispersas. Cuando se hace referencia a fuentes no apropiadas, se habla de aguas no aptas para el consumo, que puedan contener algún tipo de microorganismo perjudicial para la salud. Según la Organización mundial de la salud OMS (2017), “una proporción significativa de las enfermedades diarreicas se podrían prevenir a través del acceso al agua potable”, además de informar que “estas patologías son la segunda causa de muerte en niños menores de cinco años y una de las principales causas de desnutrición a nivel mundial”.

Este tipo de enfermedades se puede producir por fuentes de aguas contaminadas con microorganismos escherichia coli (e. coli), el cual está integrado como un organismo indicador para la determinación del índice de riesgo para la calidad de agua potable IRCA.

Según la resolución 2115 (2007), se especifica que el agua para consumo humano debe contener 0 UFC/100 cm³ de coliformes totales y esterichia coli, por la técnica de filtración por membrana. Sin embargo, según el informe de calidad del agua para consumo humano INCA (2020), “la concentración media del microorganismo e. coli en áreas rurales es de 2,527 UFC/100 ml y en áreas urbanas es del 1,032 UFC/100 ml” (p. 41), es decir, mayor que el permitido por la normativa.

Al revisar los datos más recientes del boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano (2023), para el mes de agosto “se realizó en análisis a 2893 muestras de agua

provenientes de 878 prestadores de servicio de agua potable en todo el país”. Los resultados arrojaron que el 6.2% de los prestadores de agua potable tienen un IRCA catalogado con un nivel de riesgo inviable y los departamentos más afectados son Caldas, Antioquia, Córdoba y Tolima.

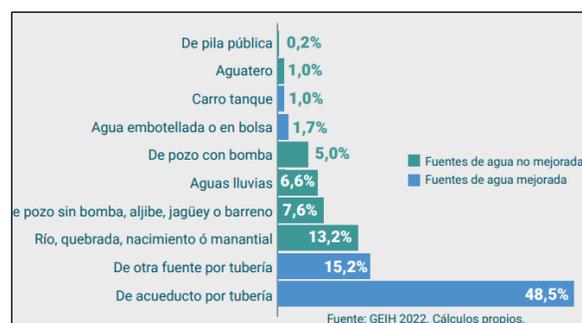
Además de ello, si se refiere específicamente a las viviendas rurales, se debe aclarar que el abastecimiento de agua no solo se realiza por medio de acueductos que conducen el agua a cada vivienda por medio de una red de tuberías, también existen viviendas que se abastecen por medio de fuentes hídricas como pozos subterráneos, nacederos, manantiales, aguas lluvias, que pueden tener o no, algún tipo de mejoramiento.

Es necesario aclarar que, al referirse a aguas con algún tipo de mejoramiento no quiere decir que necesariamente sea agua apta para el consumo humano, porque no cuenta con las características que le permita cumplir con lo dispuesto en la resolución 2115 de 2007.

La siguiente gráfica fue elaborada por WASH Colombia de acuerdo con los datos de la Gran encuesta integrada de hogares, realizada por el Departamento Nacional de estadística DANE. En ella se muestra los porcentajes de acceso al agua por parte de las viviendas rurales del país.

Gráfica 1.

Porcentajes de acceso al agua potable por parte de las viviendas rurales del país.



Nota. Porcentajes de acceso al agua potable por parte de las viviendas rurales del país [Fotografía], WASH COLOMBIA, 2021, r4v <https://www.r4v.info/sites/default/files/2023->

03/20230322%20An%C3%A1lisis%20del%20acceso%20a%20agua%20en%20Colombia%20desde%20diferentes%20metodolog%C3%ADas_VF.pdf.

De acuerdo con lo anterior, es evidente los retos que se deben asumir frente a la accesibilidad del agua potable, principalmente en las zonas rurales donde las estadísticas son más desfavorables. Es por ello, que en el presente proyecto se propone un sistema de potabilización eficiente y más económico que los encontrados hoy en día en el mercado, contribuyendo así, a mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales del país y con la posibilidad de mejorarlo y replicarlo para generar un mayor beneficio.

Objetivos

Objetivo General

Elaborar un sistema de potabilización de agua eficiente, con radiación UV-C para una vivienda rural dispersa.

Objetivos Específicos

Conocer el estado actual del agua que llega a la vivienda, por medio de la medición de parámetros de eficiencia en el ensayo de calidad del recurso hídrico y determinación del índice de riesgo para la calidad del agua IRCA.

Utilizar la información de los ensayos previos para modelación de un sistema de potabilización con implementos sustentables y materiales filtrantes adecuados.

Construir el sistema de potabilización con desinfección UVC, de acuerdo con la documentación revisada y realizar pruebas del sistema.

Realizar la búsqueda de una vivienda rural dispersa para la instalación del sistema de potabilización.

Evaluar el sistema de potabilización con radiación UV-C, por medio de la medición de los parámetros de eficiencia: Coliformes totales, E. coli, acidez total, alcalinidad total, color aparente, fosfatos, nitratos, turbiedad, conductividad, olor/sabor, pH y temperatura, en el ensayo de calidad del agua y determinación del índice de riesgo para la calidad del agua IRCA, previo a su funcionamiento.

Alcance

La realización del proyecto contempló el diseño y elaboración del sistema de potabilización para una vivienda rural dispersa y resultados de eficiencia del elemento. A continuación, se enumera el alcance para cada una de las etapas:

Etapas de diseño:

- Esquematización inicial del sistema.
- Elección de materiales filtrantes y pruebas de funcionamiento.
- Búsqueda de la vivienda rural dispersa y toma de muestra de agua 1.

Etapas de elaboración:

- Elaboración de 2 filtros para sedimentos y disminución considerable de características físicas, químicas y microbiológicas del agua.
- Elaboración del filtro de desinfección con luz ultravioleta UV-C.
- Ensamble del sistema, pruebas de funcionamiento y toma de muestra 2.

En la subetapa de ensamble del sistema, pruebas de funcionamiento y toma de muestra 2, se tuvo en cuenta el rediseño del sistema por ineficiencia en algún filtro, para la cual se debió reestructurar el filtro en las etapas de diseño y elaboración.

Etapas de pruebas de eficiencia:

- Ensayo de calidad del agua con medición de los parámetros de eficiencia:
Coliformes totales, E. coli, acidez total, alcalinidad total, color aparente, fosfatos, nitratos, turbiedad, conductividad, olor/sabor, pH y temperatura.
- Determinación del IRCA para las muestras de agua 1 y 2.

Justificación

El agua potable más allá de ser un servicio público, es un derecho imprescindible para cualquier ser humano, es por ello que, en el gobierno y en las políticas que se establezcan por medio de sus distritos, municipalidades y entidades, recae la responsabilidad de realizar los esfuerzos necesarios y destinar los recursos pertinentes para asegurarle este derecho a cada ciudadano.

Contrario a lo dispuesto anteriormente, hoy en día el acceso al agua potable no es generalizado, ya que, según las estadísticas, informes nacionales, entre otros, específicamente las zonas rurales del país cuentan con sistemas de potabilización ineficientes o inexistentes. Esta carencia en la potabilización generalizada del agua para el consumo, se puede ver representada en enfermedades que pueden llegar a ser mortales o tener efectos importantes en la salud de los seres humanos.

El uso de la luz ultravioleta para sistemas de potabilización ha sido un recurso muy eficiente para la desinfección del agua. Utilizando las longitudes de onda adecuadas, se logra la destrucción de casi la totalidad de los microorganismos que se encuentran en el agua, lo cual permite brindar un recurso apto para el consumo.

De acuerdo con lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo el diseño, elaboración y pruebas de calidad del agua de un sistema de potabilización para vivienda rural dispersa, en el cual se utilizará la luz ultravioleta UV-C para la desinfección y entrega de un recurso apto para el consumo dentro de la vivienda. El proyecto también contempló la utilización de materiales sustentables, contribuyendo con el aprovechamiento de los recursos y la sostenibilidad ambiental.

Marco referencial

A continuación, se presenta una revisión de los fundamentos conceptuales, teóricos y normativos concernientes a la potabilización de agua en viviendas rurales dispersas y el uso de la luz ultravioleta tipo C para el proceso de desinfección.

Marco conceptual

Coliformes

Son un tipo de bacteria que se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas (Arcos, et al., 2005, p 72). La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. (Prescott L, 1996, como se cita en Arcos, et al., 2005.p 72)

Virus

Están presentes únicamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados. Más de 140 virus patógenos entéricos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua, cuando son eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis (Arcos, et al., 2005, p 74).

Parásitos

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste) (Arcos, et al., 2005, p 75).

Antracita

Según Gomez (2008)

La antracita es el carbón mineral más evolucionado. Se forma, como todos los carbones minerales, por un proceso lento (millones de años) de transformación de plantas. Es el ultimo en la escala de carbonificación y el que más temperatura y presión necesita para formarse. Es de color negro brillante, el más denso y duro de los carbones, con alto contenido en carbono (más del 95%). (p. 1)

La antracita es un material utilizado en los lechos filtrantes para la retención de partículas contenidas en el agua, y así mismo, ayuda en el proceso de clarificación de la misma.

Arena Sílice

Jauregui (2022) menciona que la arena sílice también es utilizada para el proceso de filtración de agua gracias a que “contiene granos uniformes, no se degrada, y es resistente a las impurezas que existen en el agua como solventes, ácidos, compuestos orgánicos y contaminantes” (p. 1).

Carbón activado

Según Gomez (2008)

El carbón activo es un material de carbón poroso, con poros tan pequeños que no pueden verse a simple vista. Se obtiene a partir de residuos vegetales, carbón mineral, fibras y otros materiales orgánicos, mediante procesos de carbonización y activación. (p. 2)

Luz Ultravioleta UVR

Según (Mishra, 2020, citado en Wilches et al., 2021, p. 4)”la radiación ultravioleta es la radiación del espectro electromagnético con longitudes de ondas comprendidas entre los 10 nm y

400 nm. La UVR cuenta con dos clasificaciones que difieren en el rango de longitudes de onda, según el área de conocimiento”. A continuación, se muestra la gráfica de clasificación de la luz ultravioleta:

Gráfica 2.

Clasificación de los tipos de luz UV

Clasificación convencional o en ciencias de la tierra	Longitud de onda	Clasificación astrocientífica	Longitud de onda
UVA	320-400 nm	UV cercana (NUV)	300-400 nm
UVB	280-320 nm	UV media (MUV)	200-300 nm
UVC	200-280 nm	UV lejana (FUV)	100-200 nm
		UV extrema (EUV)	10-100 nm

Nota. La imagen referencia los tipos de luz UV y sus respectivas longitudes de onda. Tomado de “Luz ultravioleta C: una alternativa contra la pandemia (Wilches)” 2021.

A lo largo de millones de años, las bacterias y los virus se han adaptado a la luz UVA y UVB. Mientras que la luz UV-C, la cual es producida artificialmente debido a que buena parte de la solar es absorbida por el oxígeno atmosférico, ha demostrado ser muy efectiva contra las bacterias y los virus. (Buonanno et al., 2013, citado en Wilches et al., 2021, p. 4).

Agua cruda

“Es el agua de origen natural que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento”. (Bravo & Lozano, 2015, p. 45).

Agua potable

Según Bravo y Lozano (2015) “es aquella que cumple con las características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas en las condiciones que señala una normativa, de manera que no presente ningún riesgo para la salud humana, ni cause rechazo por parte del consumidor, pudiendo ser empleada sin restricción. (p. 45).

Calidad del agua

“Es el conjunto de características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas que debe tener el agua, para conferirle un uso determinado” (Bravo & Lozano, 2015, p. 45).

Vivienda rural dispersa

Según la definición del Ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2021) “es la unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida del campo y no hace parte de centros poblados rurales ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre”. (p. 1).

Marco teórico

Proceso de filtración

El método de la filtración es uno de los tratamientos físicos que se le realiza al agua para la remoción de partículas con un tamaño considerable. Según (Arellano, 2011) “la filtración es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso” (p. 32). También, menciona que el proceso de filtración se puede dividir según los siguientes parámetros:

- Flujo rápido o lento: Dependiendo de la cantidad de flujo por unidad de área
- Material granular utilizado
- Filtros por gravedad o presión
- Dirección del flujo de agua ascendente o descendente

Filtración granular rápida

De acuerdo con lo mencionado por Arellano (2013) “el medio granular de un filtro rápido es más uniforme que el de un filtro lento; esto con el objetivo de reducir las pérdidas de presión a través del lecho filtrante y poder operar con una carga hidráulica mayor” (p. 32).

Material granular utilizado

Para la elaboración de los filtros finales, se utilizó antracita, arena sílice y carbón activado, por ello, a continuación, se da a conocer el funcionamiento de estos materiales dentro del proceso de filtración.

Filtración con carbón antracita y arena

Para el proceso de filtración de agua es comúnmente utilizada la combinación de antracita y arena sílice, ya que aparte de las propiedades mencionadas anteriormente, estos dos elementos generan una buena retención de sedimentos, mayor a los filtros de arena única porque funcionan por más tiempo antes de realizar una limpieza.

Para Yoe y Getting (2006), el uso de medios de doble capa (arena y antracita) mejora considerablemente el proceso de filtración en cuanto a calidad del agua filtrada y producción del agua; la antracita realiza la retención de las partículas más grandes que llegan al filtro y la arena se encarga del pulimento. (p. 17).

Filtración con carbón activado

Para el tratamiento de agua, el carbón activado cuenta con dos propiedades muy importantes. Según Chipile (2017), “la primera consiste en que atrapa todo tipo de contaminantes orgánicos en sus paredes, dejando un agua prácticamente libre de estos compuestos y la segunda,

es que destruye el cloro libre residual que no ha reaccionado después de que dicho compuesto haya realizado una acción desinfectante”. (p. 27).

De acuerdo a lo mencionado por Chipile (2017), El proceso de adsorción del carbón activado se da de la siguiente manera “los contaminantes se difunden en los poros, se adhieren a las superficies interiores de los poros, y se quedan atrapados allí por materia orgánica natural que bloquea los poros durante la vida operativa del filtro”. (p. 29).

Filtración por gravedad

“Es el proceso por el cual se hace pasar el agua por un filtro y el proceso se realiza por efectos de la gravedad”. (Arango, 2013, p. 64).

Según lo citado anteriormente, el presente proyecto se enmarca en un sistema de filtración rápido que utiliza materiales granulares para un flujo uniforme, de acuerdo a la eficiencia de los mismos y a la necesidad de no generar pérdidas de presión dentro del sistema. Además de ello, el sistema se maneja por gravedad y es de flujo ascendente y descendente, de acuerdo a las diferentes etapas de filtración.

Potabilización del agua

Es una de las alternativas disponibles para adecuar la calidad del agua a las normas propias del uso. Hoy en día, el agua al salir de la planta reúne una serie de características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y relativas a sustancias tóxicas o radiactivas, reguladas por ley, que permiten su consumo público y que garantizan un agua potable de calidad (Morato et al., 2006, p 21).

Desinfección del agua por medio de radiación UV-C

De acuerdo con lo descrito anteriormente, luz ultravioleta inactiva microorganismos en un rango de los 265nm, radiación emitida por la luz ultravioleta tipo C.

Según Armero et al., (2021), en cuanto a la luz UVC, nos dice que:

“Los fotones emitidos con longitud de onda a los 265nm consiguen modificar o dañar el material genético que contienen los microorganismos, tanto el ADN como el ARN. El material genético está compuesto por varios ácidos nucleicos o bases nitrogenadas (timina, citosina, adenina y guanina), de manera que siempre siguen una secuencia que les permite contener toda la información necesaria para reproducirse. La luz UV, a la longitud de onda mencionada, es absorbida por los ácidos nucleicos de tal forma que crean dímeros o moléculas dobles, las cuales obstruyen la secuencia del ADN o ARN, impidiendo su reproducción y su supervivencia.

Mediante la irradiación UV-C se puede conseguir la inactivación de una gran variedad de microorganismos, más del 99.99% si se aplica correctamente. (p. 41)

Marco normativo

Informe Nacional de Calidad del agua para consumo humano INCA 2021

Anualmente, el Instituto Nacional de Salud como administrador del SIVICAP remite información a instituciones involucradas con la calidad del agua potable como Ministerios de Salud y Protección Social y Vivienda, Ciudad y Territorio, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, entre otras para que cada una en el marco de sus competencias realice los análisis y acciones correspondientes. (INCA, 2021).

Decreto 1575 de 2007

Decreto 1575 de 2007 [con fuerza de ley]. Por medio del cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano. 9 de mayo de 2007.

Resolución 2115 de 2007

Resolución 2115 de 2007 [Ministerio ambiente, vivienda y desarrollo territorial y ministerio de protección social]. Por la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 04 de julio de 2021.

Resolución 330 de 2017

Resolución 330 de 2017 [Ministerio de vivienda, ciudad y territorio]. Por la cual se adopta el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. 08 de junio de 2017.

Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio

“El Manual presenta los procedimientos de toma, preservación, transporte y recepción de las muestras en el laboratorio, para el cumplimiento de la normatividad vigente sobre la calidad del agua para consumo humano”. (Instituto Nacional de Salud [INS], 2011).

Antecedentes

Las condiciones actuales en cuanto a la potabilización de agua en las zonas rurales del país, es el resultado de la disminuida inversión que se ha hecho a lo largo del tiempo por parte del gobierno. Según el plan nacional de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico (2020), “solo el 4% de los recursos asignados al sector de agua potable y saneamiento básico se ejecuta en la zona rural” (p. 17). Sin embargo, actualmente, la fase II de este plan se encuentra en vigencia, con el objetivo de lograr la cobertura total de agua potable en las áreas rurales del país, priorizando los municipios incluidos en los programas de desarrollo con enfoque territorial PDET.

Según Tejada, J. (2015) en su libro Potabilización del agua “el agua potable es aquella que cumple con las características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas en las condiciones que señala una normativa” y así determinar su viabilidad para el consumo humano.

Dentro del sistema de potabilización de agua, se encuentra el proceso de desinfección, en el cual se retira o inactiva los virus, bacterias, protozoos y demás microorganismos que contenga el líquido, entregando un recurso hídrico apto para el consumo humano. Es allí donde se utiliza el sistema de radiación UV-C el cual puede ser implementado tanto en sistemas individuales como en plantas de tratamiento de agua potable. Así mismo, con este sistema se puede abaratar costos, debido a la reducida exposición del líquido a la luz, entre otras características que analizarán más adelante.

Dentro de la búsqueda de trabajos previos se ha encontrado una amplia bibliografía, sin embargo, a continuación, se nombran los estudios e investigaciones más relevantes para el desarrollo del proyecto.

Diseño y construcción de prototipo de un purificador de agua mediante radiación uv y cámara de electrodiálisis alimentado por energía solar fotovoltaica para usuario residencial de la ciudad de Yopal (Cortes & Rodríguez, 2022)

En este proyecto, se realizó los ensayos pertinentes para obtener el conteo de microorganismos y metales pesados en el agua y se determinaron las técnicas a utilizar para su tratamiento.

Se construyó un sistema purificador de agua, con una lámpara germinicida cuya potencia es de 8 watts y un voltaje de 12 v y una cámara de electrodiálisis, alimentadas por un sistema fotovoltaico. Este sistema fue eficiente, ya que combinó la electrodiálisis para reducir las concentraciones de metales pesados en el agua como el cadmio y el níquel, los cuales pueden llegar a desarrollar distintos tipos de enfermedades mortales en seres humanos y el sistema de radiación UV-C, para la inactivación de los microorganismos en el agua.

Una vez se puso en marcha el sistema, se evaluaron los metales pesados y microorganismos que predominaban en la muestra antes de la instalación del mismo, los cuales eran níquel y cadmio (metales pesados) y gyarda y cryptos poridium (microorganismos). Los resultados fueron conformes después del tratamiento.

Análisis de alternativas para la potabilización de agua lluvia para uso doméstico en zonas rurales de Colombia (Cure & Gómez, 2020)

En este trabajo se hizo una revisión de los sistemas de potabilización más utilizados a nivel nacional e internacional, así como técnicas desarrolladas e implementadas en los últimos años. A partir de esta revisión se seleccionaron las alternativas más eficientes para implementar en las zonas rurales de Colombia, las cuales fueron:

- Filtración y desinfección con membranas.
- Filtración con arena, grava y carbón activado. Desinfección con gotas de hipoclorito de sodio.
- Filtración con disco de arcilla arena y cascarilla de arroz. Desinfección con hipoclorito de sodio en pastillas.

Según la investigación de (Cure & Gómez, 2020) se determinó que “la luz ultravioleta como proceso de desinfección mostró resultados eficientes, aunque de un consumo eléctrico que no está disponible en todas las zonas rurales del país”.

A raíz de ello, se realizó la revisión de la accesibilidad al servicio eléctrico para las zonas rurales del país. Según las estadísticas de la encuesta nacional de calidad de vida, para el 92.9% de los centros poblados y rural disperso, cuentan con acceso al servicio de energía eléctrica (DANE, 2020).

Estudio de factibilidad para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable con inclusión de tanque de luz UV en el municipio de Ráquira (Amaya, 2020)

En este proyecto de grado se realizó el diseño de un tanque de desinfección, para la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Ráquira. El sistema de desinfección se diseñó para la PTAP futura del municipio, ya que actualmente, se cuenta con dos plantas de tratamiento de agua potable, una convencional y otra compacta, pero las instalaciones se encuentran bastante deterioradas.

Según (Amaya, 2020) la actual planta de tratamiento “está diseñada para suministrar agua a 140 usuarios y en la actualidad cuenta con más de 650 usuarios” (p. 36).

El dimensionamiento del tanque de desinfección UV, se realiza determinando proyección de población y estimación de consumos. Además, se estimó una dosis de UV de $21 \text{ Mw}^*\text{s}/\text{cm}^2$, con una separación cada 30cm, de acuerdo a lo estipulado por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos EPA.

Capítulo I. Diseño metodológico preliminar

Tipo de investigación

Debido a que el proyecto contempló la recolección de muestras en la vivienda rural dispersa antes y después de elaborado el sistema de potabilización, el tipo de investigación que se desarrolló fue experimental. Se debió realizar análisis de calidad del agua para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas, de acuerdo a lo contemplado en la Resolución 2115 de 2007 [Ministerio ambiente, vivienda y desarrollo territorial y ministerio de protección social], por la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 04 de julio de 2021.

Muestreo

Se contempló la toma de dos muestras de agua para la ejecución del proyecto:

- Muestra 1: muestra de agua en el punto de abastecimiento de la vivienda rural dispersa.
- Muestra 2: muestra de agua, tratada con el sistema de potabilización.

Variables

Los parámetros de eficiencia que se evaluaron dentro de los análisis de calidad del agua fueron los siguientes:

Acidez, alcalinidad total, Ecoli, coliformes totales, conductividad, color aparente, olor, pH, temperatura, turbidez, fosfatos y nitratos.

Capítulo II. Descripción de la metodología

En este capítulo se presenta la operacionalización de los objetivos y los procesos y procedimientos que se llevaron a cabo para la obtención de los resultados.

La metodología se describe en 4 fases de trabajo, de acuerdo a los objetivos planteados para la realización del proyecto:

Tabla 1

Fases del proyecto y descripción de actividades.

Fase	Objetivo específico	Descripción
Fase I	Conocer el estado actual del agua que llega a la vivienda, por medio de la medición de parámetros de eficiencia en el ensayo de calidad del recurso hídrico y determinación del índice de riesgo para la calidad del agua IRCA.	Caracterización de la vivienda donde se instalará el sistema de potabilización.
Fase II	Utilizar la información de los ensayos previos para modelación de un sistema de potabilización con implementos sustentables y materiales filtrantes adecuados.	Determinar los materiales necesarios para la elaboración de cada uno de los elementos que componen el sistema de potabilización Determinar el sistema de filtración.

Fase III	Construir el sistema de potabilización con desinfección UVC, de acuerdo con la documentación revisada y realizar pruebas del sistema.	Elaborar cada una de las piezas que componen el sistema individual de potabilización y ensamblaje. Pruebas de funcionamiento del sistema de potabilización. Toma de muestra 1 y 2 para ensayo.
	Fase IV	Realizar los ensayos de características físicas, químicas y microbiológicas de la muestra 1 y 2, para determinar el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano IRCA.
		Comparar los valores obtenidos, con los permitidos, de acuerdo a lo estipulado en de resolución 2115 de 2007. Evaluar la eficiencia de la radiación UV-C en el sistema. Documentación de los resultados obtenidos y conclusiones.

Nota. La tabla muestra la manera como se llevará a cabo la operacionalización de los objetivos. Elaboración propia.

Capítulo III. Desarrollo de la metodología

Fase I

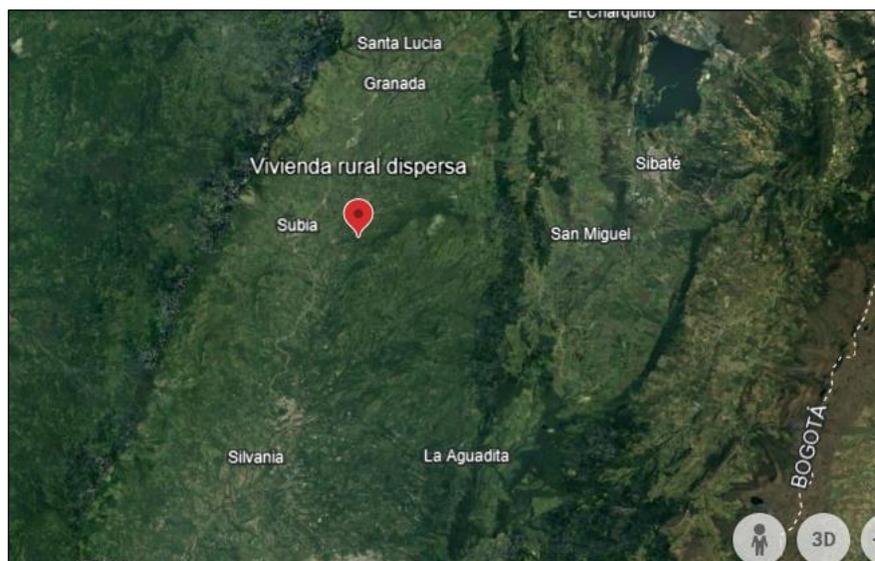
Caracterización de la vivienda rural dispersa

Es necesario mencionar que la información y/o documentación en internet de la vereda escogida para el proyecto es escasa, por ende, la caracterización se realiza de acuerdo a lo evidenciado en las visitas de campo y de información de fuentes secundarias encontradas en internet, como Google earth.

Para el presente proyecto, se realizó la búsqueda de una vivienda rural dispersa que contara con la necesidad de un sistema de potabilización de agua para el consumo de sus habitantes. Para ello, se localizó una vivienda en la vereda Jalisco a 1.5 horas del municipio de Silvania, en el departamento de Cundinamarca.

Imagen 1.

Localización vivienda rural dispersa.



Nota. Se referencia la ubicación espacial de la vivienda. Tomado de Google Earth (2023).

Vivienda

La vivienda rural dispersa se encuentra ubicada dentro de una finca de 4.3 hectáreas en la vereda Jalisco del municipio de Silvania – Cundinamarca. Las dimensiones son de la vivienda son de 7x10 metros y cuenta con 2 habitaciones, 1 cocina, 1 baño y una sala-comedor.

Imagen 2.

Vivienda rural dispersa



Nota. La imagen hace referencia a la vivienda rural dispersa de la cual se tomaron las muestras de agua para la realización del proyecto. Elaboración propia.

Habitantes

En la vivienda habita una familia de 4 personas de edades entre los 20 y 40 años. Sus principales actividades son: adecuación de terrenos para siembras, cultivo, ordeño y elaboración de productos derivados de la leche.

Producción agrícola

Según lo menciona la monografía “Sylvania, mi municipio, mi cultura” (2014), “Jalisco es una vereda netamente campesina, donde su comunidad ha logrado consolidar su economía durante décadas, basada en la producción agrícola. Son tierras productoras de gran tonelaje de mora. Es

uno de los lugares más fríos del municipio, donde por épocas el ambiente se mantiene nublado”, (p, 26).

La finca se dedica a la producción de mora la mayor parte del año, aunque también se cultiva arveja y cebolla en menor cantidad.

Clima

En cuanto al clima, se encuentra a una altura de aproximadamente 2713 m.s.n.m, según las elevaciones de Google maps, lo cual la hace una zona fría la mayor parte del día, además de presentarse nubosidad con frecuencia.

Abastecimiento

La finca se abastece de agua por medio de una reserva hídrica ubicada aguas arriba, a una distancia de 339 metros horizontales. Esta reserva hídrica se alimenta por medio de un nacedero que se encuentra al costado norte de la reserva.

Imagen 3.

Fuente de abastecimiento vivienda rural dispersa.



Nota. La imagen hace referencia a la fuente hídrica que abastece la vivienda rural dispersa. Elaboración propia.

El agua de la fuente se observa bastante contaminada, turbia y con capas vegetales en la parte superior. Además de ello, se observa que la zona aledaña a la reserva es utilizada para ganado, lo cual posibilita la presencia de heces arrastradas por la lluvia hacia la reserva.

Imagen 4.

Zonas aledañas a la fuente hídrica



Nota. La imagen hace referencia a las zonas aledañas a la fuente hídrica de abastecimiento, en la cual se encuentra ganado. Elaboración propia.

Imagen 5.

Transporte de agua hacia la vivienda rural dispersa



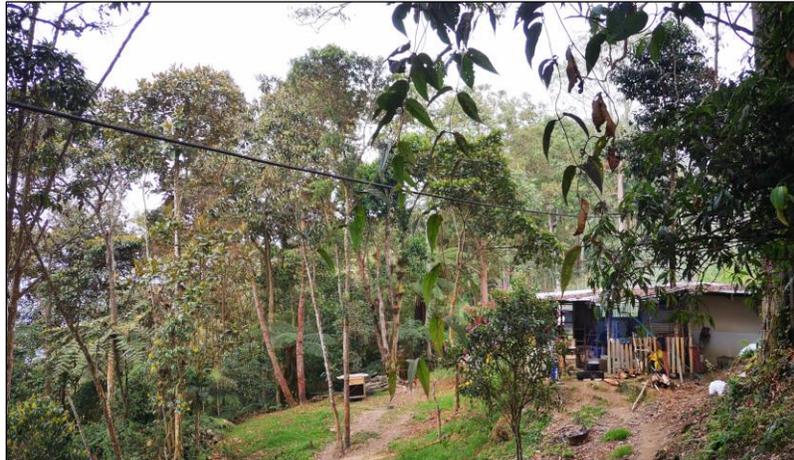
Nota. La imagen hace referencia al punto de conexión, para transportar el agua desde la fuente hídrica hasta la vivienda, por medio de una manguera. Elaboración propia.

La manguera de conducción se conecta hacia la fuente y se transporta por medio de zanjas.

Cuando llega a la finca, es transportada por los troncos de los árboles hasta llegar a la zona del lavadero, el cual es el único punto de abastecimiento de agua para la vivienda.

Imagen 6.

Transporte de agua hacia la vivienda rural.



Nota. La imagen hace referencia a la manera como llega el agua a la vivienda rural, por medio de una manguera que se coloca en entre los tallos de los árboles.

Imagen 7.

Conexión de agua hacia la vivienda rural.



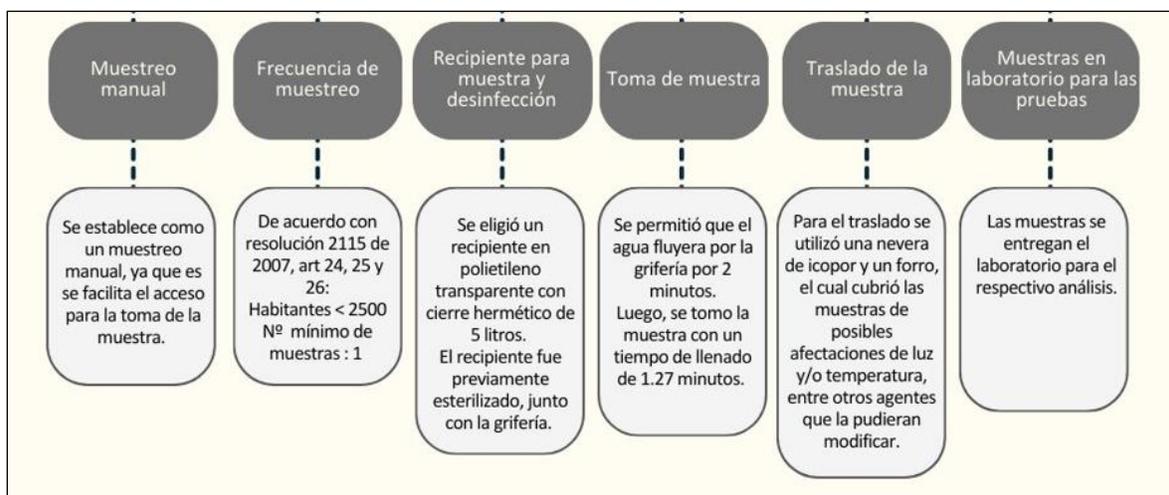
Nota. La imagen referencia el punto de llegada de agua a la casa. Elaboración propia.

Toma de muestra 1

Para la toma de la muestra, se siguió el procedimiento estipulado por el Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio del Instituto Nacional de Salud INS. A continuación, se esquematiza el procedimiento a seguir de acuerdo con lo estipulado en el manual:

Gráfica 3.

Procedimiento para toma de muestra.



Nota. La gráfica muestra el procedimiento realizado para la toma de muestra de agua, de acuerdo al manual del Instituto Nacional de Salud (2011). Elaboración propia.

Para la toma de muestra, se elaboró una ficha técnica para la caracterización del punto de toma de la muestra 1, el cual se entregó junto con las muestras de agua para el respectivo análisis:

Tabla 2.

Ficha técnica para toma de muestra 1.

FICHA TÉCNICA PUNTO DE TOMA DE MUESTRA	
Municipio: Silvania	Departamento: Cundinamarca
Vereda: Jalisco	
Nombre: Vivieda rural - Propietario: Miryam Coronado	
Empresa prestado de servicio SI ___ NO <u>X</u>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	
Dirección: N/A	Sector: N/A
Georreferenciación (coordenadas elipsoidales)	Coordenadas planas (origen nacional)
Latitud: 4° 29'31" N	Norte: 2054504.464m
Longitud: 74° 24'00" W	Este: 4844737.164 m
Altitud: 2711 m.s.n.m	
Observaciones:	
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	
REGISTRO FOTOGRÁFICO	
Punto de referencia	Punto de toma

Nota. La tabla muestra la ficha técnica elaborada para la toma de la muestra de agua 1. Elaboración propia.

Se tomaron muestras de agua del nacedero y del punto de agua de la vivienda, sin embargo, el agua que se caracterizó, fue la obtenida en el punto de agua de la vivienda.

Imagen 8.

Recolección de muestra de agua de la vivienda.



Nota. La imagen referencia las muestras de agua tomadas en la vivienda rural dispersa. Elaboración propia.

La muestra de agua se tomó el día 9/10/2023 y la entrega de la muestra de agua en el laboratorio para el respectivo análisis, se realizó el día 11/10/2023.

Fase II

Determinación de materiales

De acuerdo con la investigación previa que se realizó sobre filtros residenciales, su funcionamiento y materiales filtrantes que tuvieran características tales como: economía, manejabilidad y accesibilidad en zonas rurales, se determinó la elaboración de dos filtros y una etapa de desinfección:

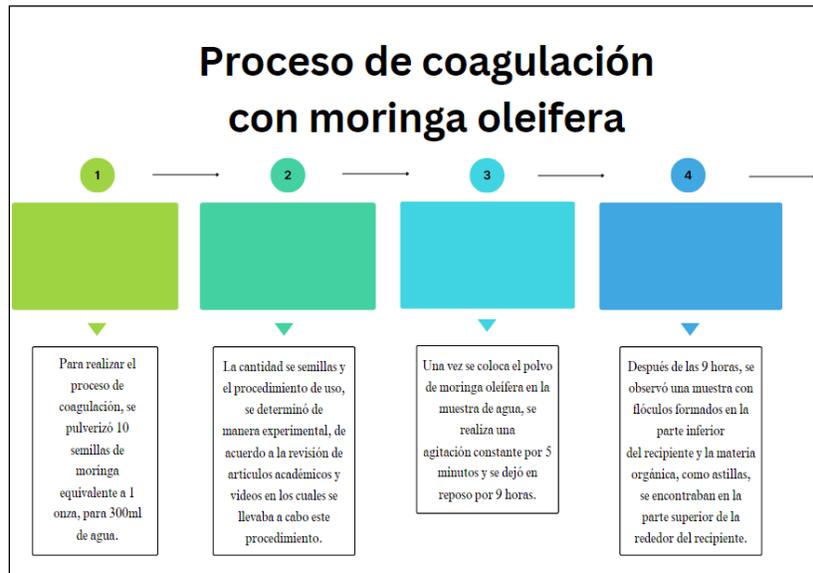
- Primer filtro: Gasa quirúrgica, para el atrapamiento de partículas de mayor tamaño.
- Segundo filtro: En carbón activado para tratamiento de partículas de menor tamaño, como algunas bacterias, impurezas, toxinas y mejoramiento del sabor, olor y turbidez.
- Etapa de desinfección: Luz UV-C para desinfección y entrega de agua potable.

Prueba de los materiales filtrantes

Inicialmente, se realiza una prueba a los materiales filtrantes seleccionados, para determinar de manera visible, su capacidad de retención de materia orgánica. Para ello, se tomó una muestra de agua de un acuario, la cual contenía gran cantidad de materia orgánica y microbiológica. Debido a la gran cantidad de materia orgánica y turbidez que se tenía en la muestra, se decidió realizar un proceso de coagulación, donde se utilizaron semillas de moringa oleífera, las cuales actúan como un coagulante orgánico natural. A continuación, se muestra el procedimiento:

Imagen 9

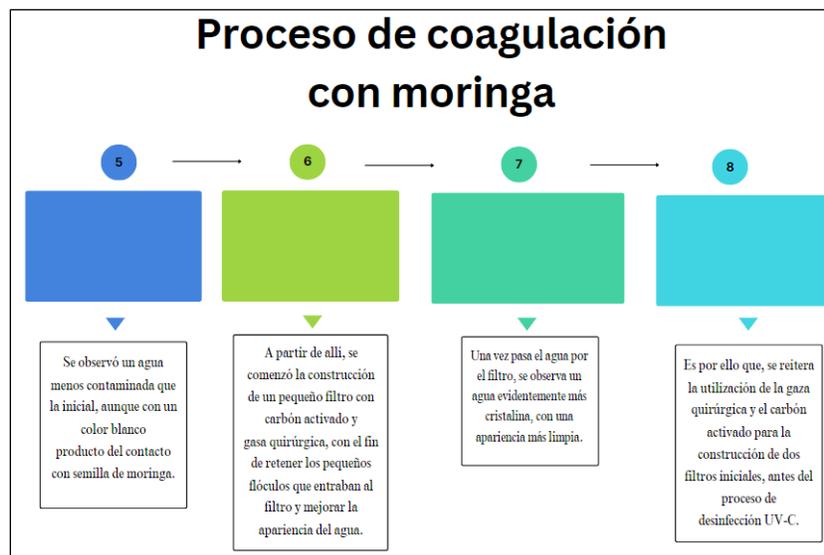
Proceso de coagulación con moringa oleifera



Nota. La imagen muestra el proceso de coagulación realizado con moringa para retiro de partículas del agua. Elaboración propia.

Imagen 10

Proceso de coagulación con moringa



Nota. La imagen muestra el proceso de coagulación realizado con moringa para retiro de partículas del agua. Elaboración propia.

Imagen 11.

Filtro casero.



Nota. La imagen hace referencia a un filtro casero que se realizó para las pruebas de materiales filtrantes. Elaboración propia.

Imagen 12.

Prueba del filtro casero.



Nota. La imagen hace referencia a las pruebas de los materiales filtrantes. Elaboración propia.

El proceso de coagulación con semillas de moringa oleífera se realizó de una manera simplificada, debido a que el 40% de la semilla está compuesta por un tipo de grasa que no tiene efecto coagulante y por ende debe ser retirado con otros procedimientos de laboratorio, sin embargo, se utilizó para simular el efecto que tienen los materiales elegidos para los filtros (gasa quirúrgica y carbón activado), extremando las condiciones con un agua altamente contaminada.

También se debe tener en cuenta que, si la fuente hídrica abastecedora de una vivienda donde se desee colocar este tipo de filtros, cuenta con una gran cantidad de sedimentos que causen taponamiento a los filtros iniciales, debe realizarse un tratamiento anterior para retirarlos, por ejemplo, la coagulación.

Determinación del sistema de filtración

Una vez se fijaron los materiales a utilizar, se procedió a determinar de manera experimental, la disposición más factible de los filtros, para el adecuado tránsito del agua por cada uno de ellos.

Inicialmente, se experimentó con una estructura tipo embudo que funcionaría por gravedad, hecha con botellas recicladas, gaza quirúrgica y tela tipo malla. Sin embargo, cuando se conformaron las capas de material, se evidenció que el flujo del agua no era el indicado para el funcionamiento del sistema, además, se observó que el material siempre iba a circular por una misma área, quedando material por fuera de uso.

A partir de allí, se determinó que, en la estructura de filtros el material y el agua debían tener un contacto 100%, por ello, se estudió el funcionamiento de los sistemas actuales de purificación doméstica, en los cuales, la presión de entrada hace que el agua filtre el material y llegue a un conducto que lo dirige hacia la siguiente etapa de filtración. Se tomó en cuenta el funcionamiento de estos sistemas de purificación, para aplicarlos a un sistema por gravedad, con un flujo de agua más lento que un sistema por presión.

Imagen 13.

Determinación de disposición del sistema para la filtración.



Nota. La imagen hace referencia a las pruebas de disposición de filtros para el paso del agua por los diferentes materiales. Elaboración propia.

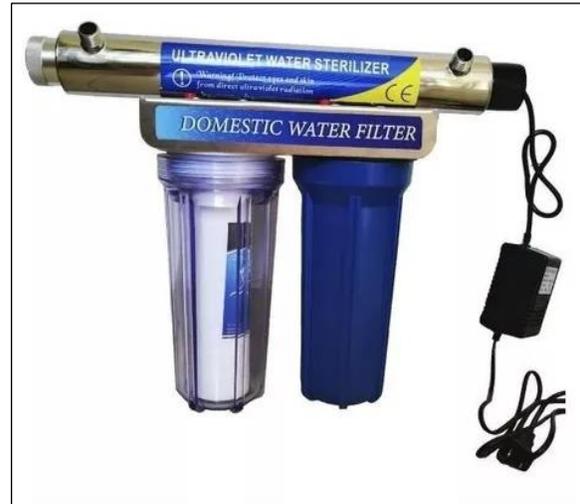
De acuerdo con lo anterior, se decide construir un sistema de filtración por gravedad, que cuenta con mayor facilidad en cuanto al tránsito del agua, ya que se encapsuló el material por medio de una malla, permitiendo el ascenso y descenso del agua y una filtración obligatoria por todo el material, para llegar al conducto que lo transporta al siguiente filtro.

Fase III***Construcción del sistema de potabilización***

Una vez definidos los materiales y el sistema de filtración por gravedad, se procede a construcción de cada uno de los elementos que componen el sistema de potabilización.

Imagen 14.

Sistema de purificación de agua existente en el mercado.

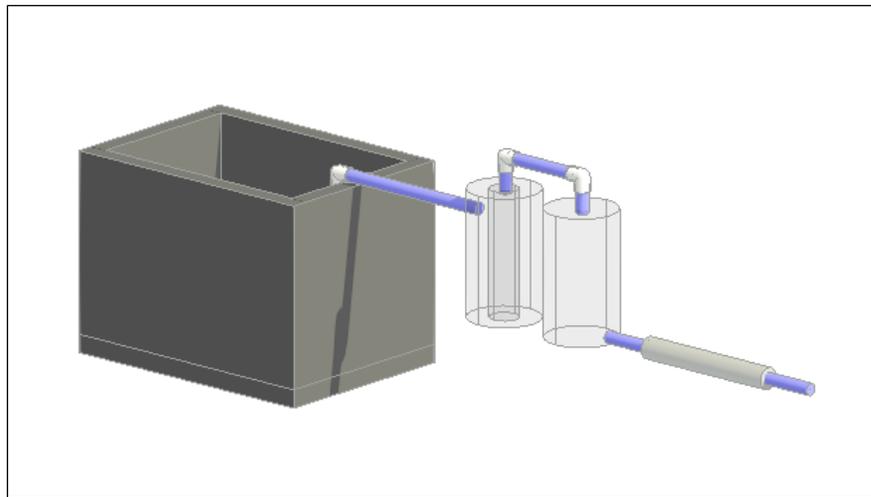


Nota. Purificador de agua UV2 DWS+[Fotografía], por Aquatec eco-systems, (s.f), <https://aquatec-ecosys.com/producto/purificador-de-agua-uv/>.

A continuación, se presenta el esquema inicial, sobre el cual se comenzó a materializar la propuesta:

Imagen 15.

Esquema inicial del sistema de potabilización.



Nota. La imagen hace referencia al primer esquema que se realizó para la elaboración de los filtros. Elaboración propia.

Filtro de sedimentos y carbón activado

Para la elaboración de estos dos filtros, se utilizaron dos recipientes de plástico reciclable, dentro de los cuales se encuentra un contenedor elaborado en malla galvanizada, que encapsula el material filtrante. Al contenedor en malla se le colocó un forro en tejido tipo malla para prevenir la salida de los pequeños granos de material, cuando el agua este transitando.

En la parte inferior del contenedor en malla, se colocó una tapa plástica reciclada, que ayudó a darle más firmeza al elemento.

Imagen 16.

Contenedor en malla acerada.



Nota. La imagen hace referencia al contenedor de material filtrante que se diseñó para el proyecto. Elaboración propia.

Imagen 17.

Contenedor con tejido en malla.



Nota. La imagen referencia el tejido en malla que se le colocó al contenedor para brindar protección al material filtrante. Elaboración propia.

Por el medio de la malla galvanizada, pasa la tubería de $\frac{1}{2}$ "', la cual se encuentra perforada con pequeños orificios, para que permita la entrada de agua que ya ha pasado por el material filtrante y así mismo, transporte el agua al siguiente filtro. La tubería se encuentra forrada con un tejido tipo malla, con el objetivo de prevenir paso del material hacia el interior del tubo y un posible taponamiento del conducto.

Para el filtro de gasa, el material envuelve la tubería de tal manera que el agua deba transitar por el filtro para salir por la tubería.

Imagen 18.

Tubo perforado para transporte de agua entre filtros.



Nota. La imagen hace referencia a la perforación y posterior mallado que se le realizó a la tubería, para el paso del agua hacia el siguiente filtro. Elaboración propia.

Imagen 19.

Filtro en gasa quirúrgica.



Nota. La imagen hace referencia al filtro de gasa elaborado, para retención de partículas del agua.

En el caso del carbón activado, la tubería perforada se encuentra cubierta con tejido tipo malla y embebida directamente en el material para que el agua también pase por el material filtrante para entrar a la tubería perforada.

Para la entrada y salida de agua del sistema, se utilizaron flanches para tanque de agua, ya que estos permitieron hermetizar los oficios abiertos para la conexión hacia y entre los filtros.

Las demás conexiones para la conducción de agua entre los filtros, se realizó con tubería y codos de ½”.

Para el sistema se determinó una tubería de ½”, debido a necesidad de generar presión dentro de cada uno de los conductos, que permitieran una adecuada circulación del agua a lo largo del sistema.

Imagen 20.

Contenedor de material filtrante terminado



Nota. La imagen hace referencia al contenedor de filtro terminado y sellado para la colocación de los respectivos recipientes. Elaboración propia.

Imagen 21.

Contenedor del filtro dentro del recipiente.



Nota. La imagen hace referencia al recipiente en el cual se colocaron los contenedores de filtro y la instalación de flanches para tanque, para la entrada y salida de agua del recipiente. Elaboración propia.

Imagen 22.

Materiales para filtros del sistema de potabilización.



Nota. La imagen hace referencia a los materiales filtrantes utilizados en el sistema de potabilización. Elaboración propia.

Imagen 23.

Ensamble de filtros de gasa y carbón activado.



Nota. La imagen hace referencia al ensamble del sistema de filtros y carbón activado, dentro del sistema de potabilización. Elaboración propia.

Desinfección con luz UV tipo C

La lámpara UV tipo C utilizada para la elaboración del proyecto, fue la lámpara germicida con referencia TUV 8W G8 T5 marca PHILIPS. La ficha técnica del elemento se muestra en el anexo A.

De acuerdo con la ficha técnica, la lámpara maneja una longitud de onda de 253.7nm, lo cual está dentro del rango germicida de la luz UV.

Debido a la peligrosidad de la exposición o contacto con la luz ultravioleta tipo C, se hizo necesario un material resistente que tuviera la capacidad de albergar la luminaria y de conducir el agua, para la correcta desinfección del líquido. Para ello, el material más apropiado fue la tubería PVC presión.

Para este filtro se escogió un diámetro de tubería de 1 ½". Esta tubería tiene un diámetro interno de 38.1 mm, la cual permite la instalación de la luminaria que tiene un grosor de 16mm y dejó un espacio de 22mm, suficiente para la circulación del agua.

A la tubería se le instaló algunos accesorios como tee, para la entrada y salida del líquido y tapones para darle soporte a la luminaria. Así mismo, se realizó la conexión del filtro y se le dio soporte con el mismo adaptador de la luminaria.

Imagen 24.

Lámpara uv-c para la elaboración del filtro de desinfección.



Nota. La imagen hace referencia a la lámpara uv-c comprada para la elaboración del proyecto. Elaboración propia.

Imagen 25.

Filtro de desinfección UV-C elaborado.



Nota. La imagen hace referencia al filtro de desinfección UV-C elaborado. Elaboración propia.

Tiempo de desinfección

Para determinar el tiempo que debía estar expuesta el agua a la luz UVC, se tuvo en cuenta lo expuesto en la tesis presentada por Quezada (2023) “Evaluación de la eficiencia de la radiación UV-C en la eliminación de Escherichia coli y bacterias aéreas mesófilas en masas de agua, empleadas en enlatados de pescado”, en la cual el profesional expuso una comparación entre diferentes muestras de agua contaminadas con este microorganismo patógeno y con diferentes tiempos de exposición a la luz UVC.

Una de las conclusiones más relevantes de esta tesis para el presente proyecto, es que se demostró que a partir de los 4 segundos de exposición se logra un 100% de eliminación de colonias de Escherichia coli, en aguas altamente contaminadas como lo son las de las plantas procesadoras de pescado Quezada (2023).

Según lo expuesto anteriormente, se tomó como recomendación que el agua circulara por un periodo de mínimo 4 segundos por el sistema de desinfección UVC. Para ello, se calculó el

área y la velocidad de paso por el filtro de desinfección UVC, para determinar en caudal máximo que debía circular por el sistema para un tiempo de 4 segundos de exposición, con las siguientes fórmulas:

$$A = \pi r^2$$

Donde

A= área de la sección del filtro de desinfección. (m²)

r= radio de la sección. (m)

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

v= velocidad de flujo dentro del sistema. (m/s)

d= distancia menor del recorrido del flujo. (m)

t= tiempo necesario para la desinfección 4 seg.

$$Q = A * v$$

Donde:

Q= caudal (m³/s)

Los datos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 3.

Cálculo de área del filtro de desinfección UVC.

Parámetro	Valor	Unidad
Radio	0.0381	m
Área	0.00456	m ²

Nota. La tabla referencia el área del tubo-filtro UVC por donde transita el agua. Elaboración propia.

Tabla 4.

Cálculo de velocidad de agua del filtro de desinfección UVC.

Parámetro	Valor	Unidad
Distancia	0.2	m
Tiempo	4	seg
Velocidad	0.05	m/seg

Nota. La tabla referencia a la velocidad de paso del agua por el tubo-filtro UVC. Elaboración propia.

Tabla 5.

Cálculo del caudal para tiempo de exposición de 4 segundos por luz UVC.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	0.000228	m ³ /seg
	0.228	l/seg

Nota. La tabla referencia al caudal máximo para que el agua transite durante 4 segundos por el tubo-filtro UVC. Elaboración propia.

De acuerdo con los cálculos realizados, se debía manejar un caudal máximo 0.228 l/seg para asegurar que el agua transitará 4 segundos por el filtro de desinfección UVC.

Armado del sistema de potabilización con desinfección UV-C

Una vez terminados cada uno de los filtros, se procedió al ensamble del sistema y se realizó la primera prueba, para evidenciar el correcto funcionamiento de cada una de las partes.

Imagen 26.

Sistema de potabilización ensamblado.



Nota. La imagen hace referencia al sistema de potabilización terminado, para la posterior toma de muestra. Elaboración propia.

Pruebas de funcionamiento sistema UV-C con filtro de gasa y carbón activado

La primera prueba del sistema se realizó con agua potable con el objetivo de limpiar todo el sistema de residuos que pudieran quedar durante la elaboración de cada una de las partes.

Antes de realizar las pruebas, se procedió a la esterilización de los envases que se utilizaron para la recolección de la muestra.

A continuación, se inyectó agua al sistema por medio de una manguera y un embudo hecho con botellas recicladas a 2.00m de altura aproximadamente, realizando una simulación de entrada desde un contenedor elevado. El agua se inyectó de manera constante para no generar cambios de presión. En el sistema.

El resultado fue óptimo, debido a que no se presentaron filtraciones de agua por ninguno de los elementos y se observó un tránsito adecuado del agua por cada una de las etapas de filtración y desinfección.

A continuación, se muestra evidencia de los resultados obtenidos, simulando un sistema de abastecimiento por gravedad.

Imagen 27.

Pruebas de funcionamiento al sistema de potabilización con filtro de gasa y carbón activado.



Nota. La imagen hace referencia a las pruebas de funcionamiento del sistema de potabilización conformado por filtros de gasa y carbón activado y luz UV-C. Elaboración propia.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento inicial del sistema y con el agua de la vivienda rural en la zona de pruebas, se procede a tomar la muestra de agua tratada y toma de tiempos.

Inicialmente, se tenía contemplado realizar una prueba con un flujo de agua lento para verificar la respuesta de los filtros e ir aumentando la velocidad.

A continuación, se muestran los tiempos de paso del agua por cada uno de los filtros:

Tabla 6

Tiempos registrados para el sistema de potabilización.

Filtro	Tiempo de entrada al filtro	Tiempo de salida del filtro
Filtro de gasa	2 segundos	1 minuto 40 segundos
Filtro de carbón activado	1 minuto 46 segundos	3 minutos 26 segundos
Filtro UV-C	-	4 minutos 02 segundos

Nota. La tabla hace referencia al tiempo registrado para la entrada y salida de agua de cada uno de los filtros. Elaboración propia.

Para la entrada al filtro UV-C no se estableció un tiempo de entrada, debido a que no se puede observar la entrada del agua hacia el mismo.

Para el llenado de la botella de 2.0 litros de agua, el sistema de potabilización tuvo un funcionamiento durante un tiempo de 13:03 min, teniendo un flujo de agua lento.

Una vez envasada el agua, se observó un agua sin sedimentos visibles, sin embargo, el agua aún se visualizaba con un grado de turbiedad alto, con un color amarillo un poco más claro que el agua sin tratamiento, sin embargo, era notorio aún.

Imagen 28.

Muestra de agua tratada 1.



Nota. La imagen hace referencia a la toma de muestra de agua después de su paso por el sistema de potabilización. Elaboración propia.

Al realizar esta observación, se determinó que el sistema de potabilización no estaba cumpliendo una función eficiente en alguno de los filtros y por ello, se debía mejorar el funcionamiento en este proceso. A demás de ello, se consideró necesario mejorar los tiempos de

flujo en el sistema, de tal forma que se pudiera obtener mayor cantidad de agua potable en un menor tiempo de circulación. Por consiguiente, se determinó que no se debían realizar las pruebas de calidad del agua con este resultado.

Rediseño del sistema

Para el rediseño del sistema, se tuvieron en cuenta materiales filtrantes que tuvieran mayor capacidad de retención que el escogido anteriormente (gasa quirúrgica).

Además de ello, se realizó una búsqueda para el uso de nuevos tejidos que fueran semipermeables para mayor retención de partículas en el filtro.

Se decide mantener el carbón activado debido a la gran capacidad de adsorción que tiene en los sistemas de potabilización de agua.

Determinación de materiales

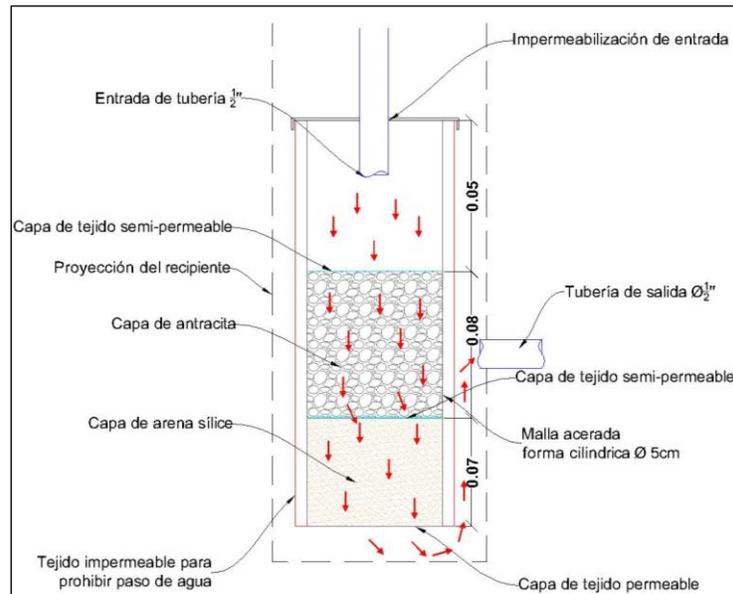
De acuerdo con lo anterior, se determinan los siguientes materiales para el rediseño del sistema:

- Primer filtro: Capa de arena sílice, capa de carbón antracita y tejido semipermeable para mayor retención de sedimentos de menor tamaño.
- Segundo filtro: En carbón activado para tratamiento de partículas de menor tamaño, como algunas bacterias, impurezas, toxinas y mejoramiento del sabor, olor y turbidez.
- Etapa de desinfección: Luz UV-C para desinfección y entrega de agua potable.

A continuación, se muestran los esquemas para el nuevo diseño de filtros del sistema:

Imagen 29.

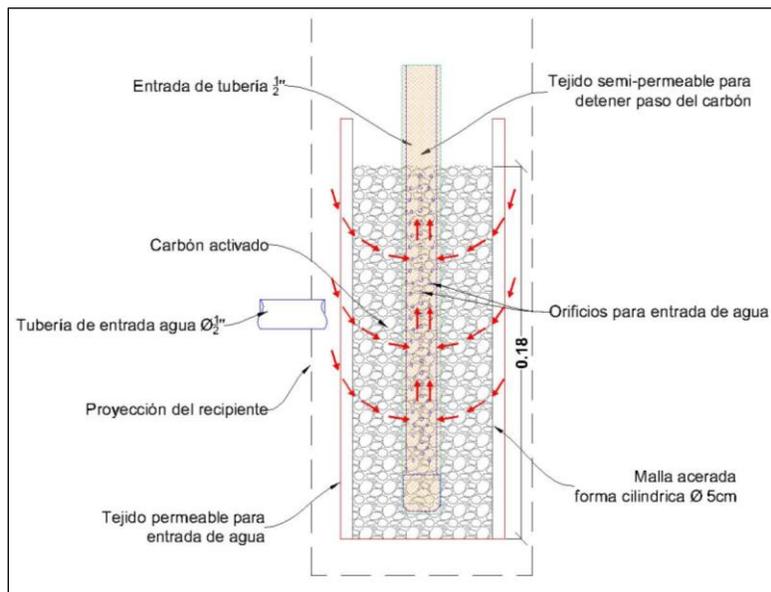
Esquema para filtro de antracita y arena sílice.



Nota. La imagen hace referencia al diseño del filtro y el paso del agua por el mismo. Elaboración propia

Imagen 30.

Esquema para filtro de carbón activado.



Nota. La imagen hace referencia al diseño del filtro de carbón activado y paso del agua por el mismo. Elaboración propia.

Construcción del sistema de potabilización

Para el nuevo diseño del sistema de potabilización, solo se realizó el cambio del filtro de gasa por un filtro de arena sílice y antracita. Este cambio incluyó una reorganización de las tuberías, solo para este filtro.

El filtro de carbón activado se mantuvo de la misma forma, sin alterar su entrada y salida.

Filtro de carbón antracita y arena sílice

Para la elaboración de este filtro, se determinó que el agua entraría por la parte superior del envase plástico. Al entrar al envase, el agua tuvo contacto con el primer material filtrante (antracita), para la retención de partículas mayores y luego con la arena sílice, la cual permite el paso del agua por todo el material y una mayor retención de partículas más pequeñas.

Imagen 31.

Materiales para elaboración de los filtros: antracita, arena sílice y carbón activado, para el sistema de potabilización.



Nota. La imagen hace referencia a los materiales filtrantes utilizados en el sistema de potabilización. Elaboración propia.

Imagen 32.

Filtro de antracita y arena sílice terminado.



Nota. La imagen hace referencia al filtro de antracita y arena sílice elaborado y sellado para el funcionamiento correcto. Elaboración propia.

Para el funcionamiento de este filtro fue necesario impermeabilizar el contenedor en malla, ya que este contaba con un tejido permeable. Para ello, se impermeabilizó el contenedor con vinipel, menos el fondo, ya que, por allí saldría el agua filtrada.

Este filtro se manejó con flujo descendente, ya que el agua entraba por la parte superior del recipiente plástico y salía filtrada por la parte inferior.

Una vez el agua salió filtrada, la presión que se mantuvo dentro del recipiente, transportó el agua al siguiente filtro de carbón activado, el cual no sufrió ninguna modificación.

Armado del sistema de potabilización con desinfección UV-C

Una vez rediseñado el filtro inicial, se procedió al ensamble del sistema y las respectivas pruebas de funcionamiento.

Imagen 33.

Ensamble del sistema de potabilización con filtro de antracita, arena sílice y carbón activado.



Nota. La imagen hace referencia al sistema de potabilización con el filtro de antracita y arena sílice. Elaboración propia.

Pruebas de funcionamiento sistema UV-C con filtro de antracita, arena sílice y carbón activado

Al igual que con el filtro anterior, las pruebas de funcionamiento inicial se realizaron con agua potable para comprobar un correcto flujo del agua, teniendo en cuenta que se realizó una nueva configuración y disposición de tuberías. La proyección de altura también se realizó a 2.00m para la simulación de un tanque elevado.

Una vez se realizó pruebas del funcionamiento inicial, se desarmó el sistema para la esterilización de todas sus partes, haciendo una limpieza más profunda de los elementos.

Imagen 34.

Esterilización y desinfección de elementos.



Nota. La imagen hace referencia al proceso de lavado y desinfección de los elementos que componen el sistema, para la toma de muestra de agua. Elaboración propia.

A continuación, se procede al armado nuevamente e instalación del sistema para la toma de muestra 2 y registro de tiempos.

El proceso de inyección de agua al sistema, se realizó con el mismo embudo y manguera que para la prueba anterior del sistema, a una altura de 2.00m aproximadamente, realizando una simulación de entrada desde un contenedor elevado.

Imagen 35.

Toma de muestra 2 sistema de potabilización con filtro de antracita, arena sílice y carbón activado



Nota. La imagen hace referencia al proceso de toma de muestra 2 con el sistema a de potabilización conformado por filtros de antracita, arena sílice y carbón activado y luz UV-C. Elaboración propia.

Toma de muestra 1 y 2 y verificación de condiciones

Para la toma de la muestra 2 se siguen las mismas instrucciones del Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio del Instituto Nacional de Salud INS.

- Se realiza una previa esterilización y desinfección de todos los elementos y recipientes que tuvieron contacto con el agua.
- Se realiza un muestreo manual.
- Se toma una muestra equivalente a 1.5 litros de acuerdo a los artículos 24, 25 y 26 de la resolución 2115 de 2007, el día 10/10/2023.
- Se guardó la muestra en una nevera de icopor y se cubre con un forro para prevenir la entrada de luz y/o cambio de temperatura o cualquier agente que pueda modificar sus propiedades iniciales.

- Se traslada al laboratorio de calidad del agua para el respectivo análisis el día 11/10/2023.

La información de la toma de cada una de las muestras y tiempos de transporte, se evidencian en el Anexo B. Informe y resultados de análisis de calidad del agua y los respectivos formularios en los cuales se especifica horas de toma de cada muestra, horas de análisis, medición de parámetros, entre otros.

Se tuvo en cuenta que las muestras de agua se debían tomar menos de 24 horas antes de realizarse el análisis, por recomendación del laboratorio.

A continuación, se muestra la ficha técnica para la caracterización del punto de toma de la muestra 2, que también se entrega con las muestras:

Tabla 7.

Ficha técnica toma de muestra 2.

FICHA TÉCNICA PUNTO DE TOMA DE MUESTRA	
Municipio: Soacha	Departamento: Cundinamarca
Vereda: N/A	
Nombre: Vivieda urbana	
Empresa prestado de servicio SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	
Dirección: Transversal 29 n° 26-56	Sector: Ciudad verde
Georreferenciación (coordenadas elipsoidales)	Coordenadas planas (origen nacional)
Latitud: 4° 36'17" N	Norte: 53240228.969 m
Longitud: 74° 15'54" W	Este: 121394873.901 m
Altitud: 2558 m.s.n.m	
Observaciones:	
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	
	
REGISTRO FOTOGRÁFICO	
	
Punto de referencia	Punto de toma

Nota. La tabla hace referencia a la ficha técnica de la toma de muestra de agua 2, después del proceso de potabilización.

En cuanto a los tiempos de paso del agua por cada uno de los filtros, se registró la siguiente información:

Tabla 8.

Tiempos registrados para el sistema de potabilización.

Filtro	Tiempo de entrada al filtro	Tiempo de salida del filtro
Filtro de antracita y arena sílice	2 segundos	24 segundos
Filtro de carbón activado	30 segundos	52 segundos
Filtro UV-C	-	1 minuto 1 segundos

Nota. La tabla hace referencia a los tiempos registrados de entrada y salida de agua por cada uno de los filtros. Elaboración propia.

Para el llenado de una botella de 1.5 litros previamente esterilizada, se tuvo que esperar un tiempo de 1:47 minutos, teniendo en cuenta un flujo de agua moderado, con el objetivo de tener un buen proceso de filtración suficiente para la remoción de partículas y organismos del agua.

A continuación, se realizó el cálculo del caudal durante la toma de muestra 2, teniendo en cuenta que para el llenado de la botella de 1.5 litros, se registró un tiempo de 1:47 minutos, desde que entró el agua a la botella, hasta que se llenó.

A continuación, se muestran los resultados:

Tabla 9

Cálculo del caudal durante el funcionamiento del sistema de potabilización.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen	1.5	litros
Tiempo	107	seg
Caudal	0.014	l/seg

Nota. La tabla hace referencia al caudal obtenido durante la toma de muestra de agua 2. Elaboración propia.

El tiempo de filtrado es óptimo, ya que el caudal obtenido durante el funcionamiento del sistema (0.014 /seg), es menor que el caudal máximo (0.228 l/seg) con el cual se asegura un tránsito del agua durante 4 segundos por el filtro UVC.

Análisis y Discusión de Resultados

A continuación, se dan a conocer los resultados del análisis de calidad del agua realizado a las muestras 1 y 2 de agua. Los análisis fueron realizados por el laboratorio ANASCOL, el cual se encuentra autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social. Estos análisis fueron costeados con recursos propios por parte del estudiante.

Resultados muestra de agua 1

Tabla 10.

Resultado de análisis de calidad del agua, muestra 1

Análisis de calidad del agua				
Fecha: -				
Muestra: muestra de agua 1				
Tipo de muestra: Agua cruda X Agua tratada _____				
Ubicación: Cundinamarca-Silvania-Vereda Jalisco				
Parámetro	Unidades	Técnica analítica	Resultados	Valor aceptable según Res. 2115 2007
Acidez	mg/L CaCO ₃	SM 2310B	15.9	No especifica
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	SM 2320B	<5	200
E. coli (coliformes fecales)	UFC/100 mL	UNE EN ISO 9308 1 2014	72	0
Coliformes totales	UFC/100 mL	SM 9222D	4	0
Conductividad	uS/cm	SM2510 B	40	1000
Color aparente	UPC	SM2120B	5	15
Olor	-	Organoléptica	Aceptable	Aceptable
pH	-	SM 4500 H.B	5.01	6,5-9,0
Temperatura	°C	SM2550 B	18.2°	No especifica
Turbidez	UNT	SM 2130 B	<2.00	2
Fosfatos	PO ₄ -1	SM4500 PE	<0.15	0.5
Nitratos	NO ₃	SM 4500 NO D	<2.22	10

Nota. La tabla hace referencia al resultado de análisis de calidad del agua para la muestra 1, de acuerdo al informe de laboratorio. Elaboración propia.

A continuación, se muestra el reporte enviado por el laboratorio, para la muestra de agua 1, sin embargo, el informe completo se encuentra en el anexo B.

Determinación del IRCA

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros analizados, se procedió a obtener el resultado del IRCA, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 13 de la resolución 2115 del 2007.

Se procedió a asignar el puntaje de riesgo por no cumplir con los valores aceptables determinados en la mencionada resolución.

Tabla 11.

Cálculo del IRCA para muestra de agua 1

Parámetro	Cumplimiento	Puntaje de riesgo según Res. 2115 de 2007	Puntaje de riesgo asignado
Acidez	SI	-	-
Alcalinidad total	SI	1	0
E. coli (coliformes fecales)	NO	25	25
Coliformes totales	NO	15	15
Conductividad	SI	-	-
Color aparente	NO	6	0
Olor	SI	-	-
pH	SI	1.5	1.5
Temperatura	-	-	-
Turbidez	NO	15	0
Fosfatos	SI	1	0
Nitratos	SI	1	0
Total		65.5	41.4

Nota. La tabla hace referencia al cálculo del IRCA para la muestra de agua 1, según lo estipulado en el artículo 13 de la resolución 2115 de 2007. Elaboración propia.

El cálculo del IRCA se realiza con la siguiente ecuación:

Imagen 37

Ecuación para el cálculo del IRCA.

$$IRCA (\%) = \frac{Spuntajes \ de \ riesgo \ asignado \ a \ las \ características \ no \ aceptables}{Spuntajes \ de \ riesgo \ asignados \ a \ todas \ las \ características \ analizadas} * 100$$

Nota. La ecuación hace referencia a la ecuación con la cual se calcula el IRCA. IRCA por muestra [Ecuación], Resolución 2115 de 2007, MINAMBIEMTE <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>.

Para la muestra de agua 1, el IRCA da un resultado de 63.35 catalogado como ALTO, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Imagen 38.

Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Nota. La imagen hace referencia a la clasificación de la muestra según resultado del IRCA. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra y el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse [Imagen], Resolución 2115 de 2007, MINAMBIEMTE <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>.

Resultados muestra de agua 2**Tabla 12.**

Resultado de análisis de calidad del agua, muestra 2

Análisis de calidad del agua				
Fecha: -				
Muestra: muestra de agua 2				
Tipo de muestra: Agua cruda _____ Agua tratada X				
Ubicación: Cundinamarca-Silvania-Vereda Jalisco				
Parámetro	Unidades	Técnica analítica	Resultados	Valor aceptable según Res. 2115 2007
Acidez	mg/L CaCO ₃	SM 2310B	< 10	No especifica
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	SM 2320B	6.27	200
E. coli (coliformes fecales)	UFC/100 mL	UNE EN ISO 9308 12014	4	0
Coliformes totales	UFC/100 mL	SM 9222D	<1	0
Conductividad	uS/cm	SM2510 B	70	1000
Color aparente	UPC	SM2120B	5	15
Olor	-	Organoléptica	Aceptable	Aceptable
pH	-	SM 4500 H.B	6.32	6,5-9,0
Temperatura	°C	SM2550 B	18.2°	No especifica
Turbidez	UNT	SM 2130 B	<2.00	2
Fosfatos	PO ₄ -1	SM4500 PE	<0.15	0.5
Nitratos	NO ₃	SM 4500 NO D	<2.22	10

Nota. La tabla hace referencia al resultado de análisis de calidad del agua para la muestra 2. Elaboración propia.

A continuación, se muestra el reporte enviado por el laboratorio, para la muestra de agua

2.

Determinación del IRCA

Se procedió a asignar el puntaje de riesgo respectivo para cada parámetro:

Tabla 13.

Cálculo del IRCA para muestra de agua 2

Parámetro	Cumplimiento	Puntaje de riesgo según Res. 2115 de 2007	Puntaje de riesgo asignado
Acidez	SI	-	-
Alcalinidad total	SI	1	0
E. coli (coliformes fecales)	NO	25	25
Coliformes totales	NO	15	0
Conductividad	SI	-	-
Color aparente	NO	6	0
Olor	SI	-	-
pH	SI	1.5	1.5
Temperatura	-	-	-
Turbidez	NO	15	0
Fosfatos	SI	1	0
Nitratos	SI	1	0
Total		65.5	26.5

Nota. La tabla hace referencia al cálculo del IRCA para la muestra de agua 2, según lo estipulado en el artículo 13 de la resolución 2115. Elaboración propia.

Para la muestra de agua 1, el IRCA da un resultado de 40.4 catalogado como NIVEL DE RIESGO ALTO.

Costo del proyecto

A continuación, se presenta la relación de costos del proyecto:

Tabla 14.

Costos del proyecto

Costos del proyecto				
Lampara UV-C	1	Unid	\$	55,000.00
Recipientes reciclables	2	Unid	\$	6,000.00
Tubería	1.5	metro	\$	15,000.00
Flanches para tanque	4	Unid	\$	60,000.00
Malla acerada	0.25	m ²	\$	10,000.00
Tejido impermeable	0.25	m ²	\$	3,000.00
Tejido permeable	0.25	m ²	\$	3,000.00
Tapas recicladas	4	Unid		-
Uniones de tubería	7	Unid	\$	21,000.00
Manguera	3	metros	\$	12,000.00
Carbón activado	500	gramos	\$	7,500.00
Antracita	250	gramos	\$	2,000.00
Arena sílice	250	gramos	\$	2,000.00
Silicona	1	Unid	\$	1,000.00
Soldamax PVC	1	Unid	\$	3,000.00
Limpiador PVC	1	Unid	\$	3,000.00
Total			\$	203,500.00

Nota. La tabla hace referencia al costo de los materiales con los cuales se elaboró el sistema de potabilización con desinfección UVC. Elaboración propia.

El sistema de potabilización tuvo un costo de \$203.500 lo cual se considera económico, ya que los sistemas de purificación con dos etapas de filtración y luz UVC que actualmente se encuentran en el mercado, tienen costos superiores a los \$600.000.

Conclusiones y recomendaciones

Se determinó un sistema de filtración granular por gravedad, debido a la alta probabilidad que existe de que en una vivienda rural dispersa se abastezca de agua por gravedad, si embargo, el filtro también puede ser adaptado para un sistema de filtración por presión.

Inicialmente, para los filtros se utilizó gasa quirúrgica y carbón activado, pero los resultados no fueron óptimos. Por lo tanto, se realizó el cambio a filtros de arena sílice y antracita y se mantuvo el filtro de carbón activado.

Durante la elaboración del sistema, se procuró el uso de la mayor cantidad de elementos reciclables, lo cual hace de este un proyecto responsable con el medio ambiente.

Se realizaron los cálculos pertinentes para que la desinfección UVC fuera eficiente. Para ello, se determinó un caudal máximo de circulación de 0.228 l/seg, basados en la recomendación del autor (Quezada, 2023) de un tiempo de exposición mínimo de 4 segundos.

Para la toma de muestras de agua, se tuvo en cuenta lo dispuesto en el manual del Instituto Nacional de salud, en cuanto a esterilización y desinfección de recipientes, toma de la muestra, frecuencia y transporte al laboratorio.

De acuerdo con lo resultados obtenidos, para el análisis de calidad de agua de la muestra 1, el IRCA calculado se catalogó con NIVEL DE RIESGO ALTO, debido a la carga microbiológica y pH que contenía la muestra. Se pudo verificar que el agua contenía E. Coli y coliformes totales, además de presentar un pH fuera de los rangos aceptables, de acuerdo con lo establecido en la resolución 2115 de 2007.

Para la muestra de agua 2 se obtuvo un IRCA calculado de 40.4 catalogado como NIVEL DE RIESGO ALTO. Se pudo verificar que la muestra contiene E. Coli y un pH fuera de los rangos aceptables, de acuerdo con la mencionada resolución.

Se pudo observar una disminución de 68 UFC/ml de E. Coli entre la muestra 1 y 2, lo cual evidencia la eficiencia del sistema de potabilización, aunque no se haya logrado llegar a 0 UFC/ml, valor aceptable en la resolución 2115 de 2005.

Se considera que la causa mas probable por la cual no se pudo llegar a 0UFC/ml, en E. Coli, fue debido a que el tiempo de exposición no fue suficiente para el tipo de lámpara que se manejó, es decir, se debe manejar un caudal más bajo que el de 0.228 l/seg, para una lámpara de 30cm de largo.

Con la muestra de agua 2 se logró obtener un pH de 6.32, valor que, aunque no cumple con lo estipulado en la resolución 2115 de 2007, se encuentra cercano al cumplimiento (6.5-9), por tanto, se reitera la necesidad de una circulación más lenta del agua por el sistema.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que se logró construir un sistema de potabilización con radiación UVC eficiente, el cual logra entregar un agua de mejor calidad a los habitantes de una vivienda rural dispersa.

El sistema de potabilización con desinfección UVC cumple con la condición de economía establecida al inicio del proyecto, ya que el costo total del elemento fue de \$203.500. Esto de acuerdo con los precios que se manejan hoy en día de los filtros de 2 etapas con desinfección UVC, los cuales tienen costos mayores a los \$600.000.

Se recomienda establecer un caudal de agua menor al utilizado en este proyecto (0.228 l/seg), con el objetivo de lograr mayor eficiencia en la normalización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, conforme a lo establecido en la resolución 2115 de 2007.

El sistema de potabilización se ha elaborado como un primer prototipo para contribuir con la problemática del agua potable en los sectores rurales del país. Por tanto, tiene la

posibilidad de ser mejorado y replicado, de acuerdo con los resultados que presentan en este informe, los cuales se consideran eficientes para un modelamiento inicial.

Lista de Referencia o Bibliografía

- Amaya Silva, B. A. (2020). Estudio de factibilidad para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable con inclusión de tanque de luz UV en el municipio de Ráquira. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24714>
- Arango, A. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Revista lasallista de investigación*, (), 61-66.
http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/184/1/61_%2066%20biofiltraci%c3%b3n.pdf
- Arcos Pulido, M. del P., Ávila de Navia, MSC, S. L., Estupiñán Torres, MSC, S. M., & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69–79. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Arellano, J., Guzmán, J. (2011). *Ingeniería Ambiental*. Alfaomega.
<https://es.scribd.com/document/431858458/Ingenieria-ambiental-Javier-Arellano-Diaz-LIBROSVIRTUAL-pdf>
- Armero Martínez, A., Esteban Vicente, I., & Capuz-Rizo, S. F. (2021). Desarrollo de un módulo acoplable a un sistema de distribución de aire acondicionado para desinfección del mismo mediante radiación UV.
- Bandera, W., Méndez, J. y Wilches, j. (2021). Luz ultravioleta C: una alternativa eficiente contra la pandemia. *Boletín de Malarología y salud ambiental*, (61), 3-13.
<file:///D:/Users/J%20E%20N%20N%20I%20F%20E%20R/Downloads/208-909-1-PB.pdf>

Bravo, G., Lozano, W. (2015). *Potabilización del agua, principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.

<https://books.google.com.co/books?id=3uk0DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Carbotecnia. (2018). *Ficha técnica arena sílice*.

<https://carbotecnia.info/PDF/medfiltrantes/arena-silica-20x45.pdf>

Chipile, D. (2017). *Carbón activado granular, en la mejora de la calidad del agua potable*.

[Tesis de grado]. Universidad privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12672>.

Colombia preside plenaria en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua 2023.

MinVivienda. (2023, 24 marzo). <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/colombia-preside-plenaria-en-la-conferencia-de-las-naciones-unidas-sobre-el-agua-2023>

Decreto 1575/07, mayo 9, 2007. Ministerio de medio ambiente vivienda y desarrollo territorial. (Colombia).

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007#:~:text=El%20objeto%20del%20presente%20decreto,consumo%2C%20exceptuando%20el%20agua%20envasada.>

Díaz, Y. L. M. (s/f). *DANE - Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2020*. Gov.co.

Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2020>

Gómez Borrego A. (2008). *La baraja del carbón*. Consejo superior de investigaciones científicas

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/8587/1/La%20baraja%20del%20carbon.pdf>

- Gómez Ortega, W. F., & Cure Zapata, S. C. (2020). Análisis de alternativas para la potabilización de agua lluvia para uso doméstico en zonas rurales de Colombia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15410/13/CureSara_2020_PotabilizacionAguaLluvia.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (2023). *Boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano* (2023, agosto). <https://www.ins.gov.co/Paginas/Inicio.aspx>
- Instituto Nacional de Salud. (2011). *Instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2020). *Plan nacional de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico rural*. Minvivienda. (2020, diciembre). <https://minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/plan-nacional-apsbr.pdf>
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2020). *Vivienda rural dispersa*. Minvivienda. (2020, diciembre).
- Morato, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A y Pastor R. (2016). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista lasallista de investigación*, (3), 19-29. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/185710/art-laSallista-2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quezada, B. (2023). *Evaluación de la eficiencia de la radiación UV-C en la eliminación de Escherichia coli y bacterias aéreas mesófilas en masas de agua, empleadas en enlatados de pescado*. [Tesis de grado]. Universidad estatal península de Santa Helena. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9671>

Rodríguez Rincón, J. F., & Cortes López, S. F. (2023). Diseño y construcción de un purificador de agua mediante radiación UV y cámara de electrodiálisis alimentado por energía solar fotovoltaica para usuario residencial de la ciudad de Yopal (Casanare).

<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7403>

Rossel Bernedo, L. J., Universidad Privada San Carlos - Puno, Perú, Ferro Mayhua, F. P., & Ministerio de Salud del Perú, Región de Salud Puno, Salud Chucuito. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(1), 68–77. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.537>

Tejada, B., & Alejandro, J. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Universidad Piloto. <https://books.google.com.co/books>

Resolución 2115/21, julio 4, 2021. Ministerio de medio ambiente vivienda y desarrollo territorial y Ministerio de protección social. (Colombia). https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

Resolución 330/17, junio 8, 2017. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (Colombia). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>

Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2020). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano*.

<https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>

World Health Organization: WHO. (2017, 2 mayo). *Enfermedades diarreicas*.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>

Yohe, T. L. y T. M. Getting. (2006). *White Paper: The Effect of Low Uniformity Coefficient*

Anthracite on Dual Media Filtration. Estados Unidos: ITT Water & Wastewater

Anexos

Anexo A. Ficha técnica de lámpara UV-C.

Anexo B. Informe y resultados de análisis de calidad del agua.