

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

Diseño e implementación de un prototipo compacto capaz de desalinizar y potabilizar el agua con energía sostenible para la región de La Guajira.

Diego Armando Peña Sierra

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico

Modalidad Investigación

Director:

Crisóstomo Barajas Ferreira

Magister en Ingeniería Química

Codirector:

Gustavo Emilio Ramírez Caballero

Ph.D en Ciencia de los Materiales e Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Faculta de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Este proyecto de grado lo dedico al ser que posibilita todas nuestras acciones y nos permite iniciar cada día con mil oportunidades, Dios.

A mi madre Sandra Milena quien desde el cielo es la guía en mi camino y que ha sido mi mayor motivación para la culminación en específico de este proyecto. A mi padre quien ha sido un gran apoyo de inicio a fin, y que gracias a su esfuerzo y amor hoy puedo culminar esta gran etapa. A mi familia, por su compañía, consejos y porque se han convertido en mi ejemplo a seguir como seres humanos; pues son el motor de mi vida.

Y una sincera gratitud hacia mis profesores, cuyo acompañamiento y confianza han sido fundamentales para el desarrollo y conclusión de este trabajo.

Agradecimientos

Agradezco al ser que posibilita nuestro proceder día a día, Dios.

A mi hermosa familia los cuales fueron un apoyo en todo sentido, indispensables dado que por su amor y confianza tuve las herramientas necesarias para culminar e iniciar este nuevo capítulo de nuestras vidas y están orgullosas de nuestros logros por más pequeños que sean.

A la gloriosa Universidad Industrial de Santander y a mis compañeros por brindarme experiencias únicas e irrepetibles en esta etapa, por haber compartido risas y llantos, por estar ahí siempre al pie del cañón para apoyarnos mutuamente.

A mis directores Crisóstomo Barajas Ferreira y Gustavo Emilio Ramírez por la prestación de sus servicios, colaboración y aprendizajes adquiridos que nos permitieron el desarrollo y ejecución de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	11
1.Justificación	14
2.Objetivos	17
a.Objetivo general	17
b.Objetivos específicos	17
3.Marco Referencial.....	18
3.1.Marco de antecedentes.....	18
3.2.Sistemas de potabilización en la actualidad.....	21
3.2.1. Destilación Solar.....	23
3.2.2. Prototipos Actuales que usan el principio de la destilación solar.....	23
3.2.3. Helio Water.....	24
3.2.4. Solar Ball	24
3.2.5. Destilador Solar de Cascada	25
3.2.6. Destilador Solar Esférico	26
3.2.7. Destilador Solar con evaporador de tela	27
3.3.Marco Teórico.....	28
3.3.1. Calidad del agua.....	28
3.3.2.Calidad Microbiológica del Agua.....	29

	5
PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA	
3.3.3.Calidad Química del Agua.....	29
3.3.4.Plantas de potabilización.....	29
3.3.5.Procesos para la producción de agua pura en plantas potabilizadoras.....	30
3.3.6.Filtros de carbón activado	31
3.3.6.1.Filtración con Carbón Activado: Eliminación de Cloro y Compuestos Orgánicos	31
3.3.6.2.Depuración con Carbón Activado: Adsorción Eficiente de Sustancias Pesadas	32
3.3.7.Osmosis Inversa.....	32
3.3.8.Celdas de desalinización microbiana (CDM)	33
3.4.Marco Contextual.....	34
3.5.Marco Normativo.....	36
4.Metodología	40
4.1.Tipo de Investigación.....	40
4.2.Población.....	41
4.3.Técnicas Usadas para la recolección de datos	41
4.4.Fases de la Investigación	41
4.4.1. Análisis demanda de agua potable	42
4.4.2. Diseño del prototipo y pruebas de este teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas de la región	42
4.4.3. Evaluación de prototipo si se lleva a gran escala.....	42
5.Resultados	44
5.1.Análisis de demanda de agua potable (Principales desafíos).....	44

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

5.1.1.Minería.....	44
5.1.2.Plásticos	44
5.1.3.Resguardo Soldado Párate Bien.....	45
5.2.Diseño del prototipo y pruebas de este teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas de esta región	46
5.2.1.Diseño y materiales del prototipo	46
5.2.2.Montaje y Construcción.....	47
5.2.3.Pruebas.....	48
5.2.4.Proyección a la guajira.....	51
5.2.5.Costos.....	53
5.3.Proyección y beneficios de este si se lleva a gran escala.....	54
5.3.1. Flujo de caja.....	54
6.Conclusiones	56
7.Recomendaciones	57
Referencias Bibliográficas	58

Lista de tablas

Tabla 1. Procesos unitarios para llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.....	22
Tabla 2. Resultados de las pruebas día a día.....	49
Tabla 3. Proyección de datos en la guajira.....	52
Tabla 4. Materiales y sus costos.....	53
Tabla 5. Costos de montaje por profesional.....	53
Tabla 6. Flujo de caja proyectado a 4 años.....	55

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

Lista de figuras

Figura 1. Diseño de helio wáter.....	24
Figura 2. Diseño de Solar Ball.....	25
Figura 3. Diseño de destilador solar de cascada.....	26
Figura 4. Diseño del destilador solar esférico.....	27
Figura 5. Diseño de destilador solar con evaporador de tela.....	27
Figura 6. Función de la Osmosis Inversa para eliminar la sal.....	33
Figura 7. Celdas de desalinización microbiana.....	34
Figura 8. Ubicación geográfica de la guajira.....	35
Figura 9. La guajira: un desierto de basura.....	45
Figura 10. Ubicación de resguardo Soldado Párate Bien.....	46
Figura 11. Diseño prototipo destilador solar.....	47
Figura 12. Medidas molde de aluminio.....	47
Figura 13. Cúpula superior del destilador solar.....	48
Figura 14. Montaje del prototipo potabilizador.....	48
Figura 15. Distribución lineal agua vs temperatura.....	52
Figura 16. Flujo de caja neto.....	56

Resumen

Título: Diseño e implementación de un prototipo compacto capaz de desalinizar y potabilizar el agua con energía sostenible para la región de La Guajira.

Autor: Diego Armando Peña Sierra.

Palabras claves: Destilación solar, energía sostenible, desalinización, potabilización del agua.

Descripción: Este estudio tiene como finalidad brindar un prototipo y/o un sistema de potabilización de agua haciendo uso de energía renovable, cuya población objetivo son las comunidades vulnerables. Principalmente la investigación se fundamenta en análisis y mejora de los prototipos ya existentes en el mercado con el propósito de crear una alternativa mas accesible y económica. El estudio se centró en la población de la alta guajira de aproximadamente 150 personas la cual en el transcurso de la investigación se evidencia que enfrentan problemas de aislamiento social, desnutrición infantil y la principal que es los escasos de agua potable está siendo ocasionada principalmente por la minería y la explotación de recursos naturales. A partir de diseños originales y mejoras de otros se logra diseñar y construir físicamente un prototipo potabilización el cual para verificar dicha eficiencia este es sometido a un periodo de prueba de 30 días en los distintos municipios del país, dichos resultados fueron prometedores demostrando de esta forma la viabilidad del proyecto para beneficiar a esta población vulnerable y, de esta forma, reconocer los derechos fundamentales de estas personas.

*Trabajo de grado

*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Crisóstomo Barajas. Máster en Ingeniería Química. Co-director: Gustavo Emilio Ramírez Caballero. Ph.D en Ciencia de los Materiales e Ingeniería.

Abstract

Title: Design and implementation of a compact prototype capable of desalinating and purifying water with sustainable energy for the La Guajira region.

Author: Diego Armando Peña Sierra

Key Words: Solar Distillation, sustainable energy, desalination, water purification

Description: The present study aims to provide a prototype or a water purification system using renewable energy, specifically designed for vulnerable communities. The research is mainly based on the analysis and improvement of existing prototypes in the market with the purpose of creating a more accessible and economical alternative. The study focused on the population of the upper Guajira of approximately 150 people, which during the course of the research it is evident that they face problems of social isolation, child malnutrition and the main one is the shortage of drinking water, which is mainly caused by mining and the exploitation of natural resources. From original designs and improvements of others, it is possible to design and physically build a purification prototype, which to verify said efficiency is subjected to a test period of 30 days in the different municipalities of the country. These results were promising, demonstrating the viability of the project to benefit this vulnerable population and thus recognize the fundamental rights of these people.

*Degree Work

*Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Crisóstomo Barajas. Máster en Ingeniería Química. Codirector: Gustavo Emilio Ramírez Caballero. Ph.D en Ciencia de los Materiales e Ingeniería

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) afirma que el acceso a un suministro de agua suficiente, inocuo y accesible es fundamental para la salud, y este derecho está respaldado por la Constitución Política de Colombia. El agua es vital para la vida humana, y la falta de acceso al agua potable, especialmente en áreas rurales, puede causar problemas de salud graves como enfermedades transmitidas por el agua. En las zonas rurales y los pueblos más desfavorecidos, existe un alto peligro de contraer enfermedades como la diarrea y el cólera, que en ocasiones pueden ser mortales. Como se mencionó anteriormente, la escasez de recursos, las dificultades de acceso y la mala calidad del agua están estrechamente relacionadas con la pobreza y las enfermedades.

Aproximadamente 21 millones de colombianos residen en lugares con dificultades para mantener un suministro adecuado de agua, según un informe de la Defensoría del Pueblo, respaldado por registros del IDEAM y las secretarías de salud. Además, se destaca que el 56% de la población rural tiene algún tipo de abastecimiento de agua; sin embargo, solo el 6% consume agua que ha sido tratamiento de desinfección (Martínez, 2015).

La Guajira, ubicada en el extremo norte de Colombia, se encuentra en una situación complicada en cuanto al acceso y suministro de agua, lo que ha puesto a sus residentes en condiciones inadecuadas. El primer problema importante que enfrenta la región es la persistente escasez de agua. La combinación de altas temperaturas y escasez de precipitaciones ha creado un entorno propenso a la falta de recursos hídricos tanto en áreas urbanas como rurales. La calidad de vida de los habitantes está directamente afectada por esta falta, lo que aumenta la vulnerabilidad de la población a enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada (Cruz &

Delgado, 2023).

La falta de acceso a servicios de saneamiento básico es otro factor preocupante. Así como de infraestructuras adecuadas para el tratamiento y distribución del agua potable es evidente en muchas comunidades guajiras. La falta de sistemas de alcantarillado y purificación eficientes contribuye a la propagación de enfermedades relacionadas con el agua, que afectan negativamente la salud y el bienestar de la población local (Mesa, et al, 2023).

Las comunidades rurales que más son afectadas se encuentran ubicadas geográficamente en La Guajira. Estas poblaciones son más vulnerables porque dependen de fuentes naturales y tienen poca capacidad de almacenamiento de agua durante las estaciones secas. La recolección del recurso hídrico durante las épocas de una gran afluencia de lluvia se convierte en una estrategia fundamental para garantizar el suministro en periodos donde haya escasez, sin embargo, todavía existen problemas con la calidad y la disponibilidad.

Debido a esto, la situación del agua en La Guajira necesita una acción inmediata con el objetivo de llevar a cabo medidas sostenibles que puedan asegurar el acceso equitativo a este recurso esencial. Un escenario preocupante ha surgido gracias a la combinación de condiciones climáticas adversas y falta de infraestructuras adecuadas, lo que genera un impacto directo en la salud y el bienestar de toda población. Es necesario enfocarse en la creación de iniciativas que no solo aborden la escasez de agua, sino que también fomenten la educación y la sensibilización sobre técnicas de gestión sostenible del agua para construir un futuro más resistente para las comunidades guajiras (Gutiérrez & Gutiérrez, 2023).

De esta forma la búsqueda y las implementaciones de soluciones a largo plazo requiere de la cooperación entre gobiernos, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales. La Guajira necesita un enfoque integral que incluya la mejora de la infraestructura, la implementación

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

de las tecnologías de tratamiento de agua fáciles de acceder y también, la difusión de estrategias de conservación del agua. Solo mediante un compromiso colectivo será posible avanzar hacia un futuro en el que toda la población de La Guajira tenga acceso al agua como un derecho fundamental.

Ante esta problemática, el presente trabajo de grado plantea el diseño e implementación de un prototipo compacto, capaz de desalinizar el agua haciendo uso únicamente de energía solar, contribuyendo así a las comunidades de la Alta Guajira, con lo cual se busca ofrecer una alternativa sostenible, asequible y eficiente para enfrentar la escasez de agua potable. Conforme a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar e implementar un prototipo compacto que, mediante la desalinización y potabilización del agua, utilizando fuentes de energía sostenible, pueda abordar de manera efectiva la crítica escasez de agua en la región de La Guajira, mejorando así las condiciones de vida y la salud de sus habitantes?

1. Justificación

La ubicación geográfica de las áreas rurales en los municipios demuestra una gran dificultad para acceder a varios servicios, especialmente en el suministro y calidad del agua. Las comunidades rurales enfrentan problemas importantes con el acceso, el suministro y la calidad del agua, según Delgado, Trujillo y Torres (2017). Muchas de estas comunidades no tienen fuentes de agua o acueductos veredales, e incluso si tienen agua, no siempre cumple con los estándares de la Resolución 2115 de 2007 expedida por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para ser considerada apta para el consumo humano. Además, la gestión de este recurso hídrico requiere que la comunidad participe activamente en la gestión y uso del agua.

Por otra parte, la región de La Guajira se encuentra en una situación de extrema escasez de agua, la cual se ve agravada por las condiciones climáticas desfavorables y la escasez de recursos hídricos. Esta problemática genera un impacto directo en las comunidades locales, puntualmente en las áreas rurales, donde obtener agua potable de alta calidad de manera sostenible es un gran desafío. Una solución innovadora y específica para abordar esta carestía persistente sería un prototipo capaz de desalinizar y potabilizar el agua (Gutiérrez & Gutiérrez, 2023).

Las áreas rurales de La Guajira, que tienen dificultades para acceder a los servicios básicos, obtienen beneficios directos de este proyecto. El prototipo compacto y eficiente propuesto no solo se adapta a las condiciones particulares de la zona, sino que también aborda las limitaciones actuales en términos de acceso y calidad del agua. Además, la integración de fuentes de energía sostenible, como la solar, contribuye a la sostenibilidad ambiental y satisface las necesidades energéticas de la región.

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

Incluir municipios como Riohacha, Maicao, Uribia, Manaure y otros en este proyecto significa un impulso significativo para mejorar las condiciones de vida. Se pretende que este proyecto genere una reducción significativa de enfermedades relacionadas con el mal tratamiento del agua gracias a que se proporcionaría un suministro constante de agua potable y segura. Por último, esto pretende generar un efecto positivo en la salud y bienestar de la población guajira. El proyecto se presenta como una solución estratégica y efectiva para abordar las problemáticas específicas de La Guajira mediante el uso de tecnologías innovadoras y sostenibles, poniendo las bases para un desarrollo más sostenible y resiliente en la región.

En la zona de estudio, la dificultad para expandir la cobertura del acueducto municipal, por la falta de fuentes, es un gran reto. La falta de una fuente de agua fácil hace que sea imposible hacer un acueducto rural. Durante los periodos de sequía, el alcalde se ve forzado a dar agua a través de carrotaques para cubrir las necesidades básicas de la población del corregimiento. Pero durante el resto del año, los habitantes dependen mucho de recoger y usar el agua lluvia tanto para beber como para hogar (Gutiérrez & Gutiérrez, 2023).

Actualmente, la situación expone a la población a importantes riesgos sanitarios, ya que algunos habitantes recurren a métodos convencionales como hervir el agua o aplicar pastillas de cloro antes de beberla. Sin embargo, estos métodos no eliminan por completo la carga contaminante presente en el agua, lo que implica un riesgo constante de contraer enfermedades hidro-transmisibles. Es importante señalar que estadísticas mundiales, como las presentadas por Rodríguez, et al, 2016, indican que aproximadamente 4% de las muertes están directamente relacionadas con problemas de calidad del agua, higiene y saneamiento.

De esta manera, el presente proyecto surge como respuesta a una necesidad urgente y riesgo para la salud, con el objetivo de desarrollar e implementar un prototipo de potabilización adaptado

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

a la región de La Guajira. La estrategia no solo tiene como objetivo solucionar la crisis actual, sino también crear una solución duradera y efectiva que tenga un impacto positivo en la salud y el bienestar de los habitantes de La Guajira.

2. Objetivos

a. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo compacto capaz de desalinizar y potabilizar agua de forma eficiente, utilizando fuentes de energía renovable, para abordar la escasez de agua potable en la región de la Guajira, Colombia.

b. Objetivos específicos

- Analizar en profundidad la demanda de agua potable en la región identificando principales desafíos asociados a esta implementación.
- Diseño del prototipo y pruebas de este teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas de esta región.
- Evaluar el efecto del prototipo y que beneficios tendría si este se lleva a cabo a gran escala

3. Marco Referencial

3.1. Marco de antecedentes

Durante más de cinco mil años, el ser humano ha recurrido a la utilización del agua de lluvia para el abastecimiento de agua y el uso doméstico, obteniendo considerables beneficios de esta práctica ancestral. A medida que la población ha ido creciendo, la captación de agua de lluvia ha surgido como un recurso vital, aunque en la antigüedad se desconocían las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de este recurso. En respuesta a esta limitación de conocimiento, se implementaron sistemas de captación de agua que contribuyeron a mitigar ciertas características bacterianas. (Serviqualita, 2016).

A lo largo de la historia, la preocupación por obtener agua pura y limpia ha sido una constante, centrándose inicialmente el tratamiento del agua en la mejora de su calidad estética. Desde tiempos remotos, en lugares como Siria y Babilonia, se construyeron tuberías y acueductos de piedra para transportar el agua desde su fuente hasta las viviendas cercanas. En Oriente, se utilizaba arena y barro poroso para filtrar el agua, mientras que los romanos en Europa construyeron una extensa red de tuberías y estanques, incorporando filtros para mejorar la calidad del agua. La separación entre el agua para beber y el agua utilizada con fines domésticos era limitada, una práctica que persiste hasta nuestros días y plantea retos en cuanto a la calidad del agua (Serviqualita, 2016).

En la antigüedad, se utilizaban diversos métodos para mejorar el sabor y el olor del agua, y los documentos griegos recomendaban técnicas como el filtrado a través de

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

carbón vegetal, la exposición a la luz solar y la ebullición. En el antiguo Egipto, el agua se dejaba reposar en vasijas de barro para que se asentaran las partículas e impurezas, y luego se utilizaban métodos como el sifón para extraer el agua de la parte superior (decantación). La aplicación de sustancias como el alumbre, con el fin de precipitar las partículas en suspensión, también se evidencia en documentos del 1500 a.C. (Serviquialita, 2016).

En el siglo XX, la filtración, especialmente a través de la filtración lenta por arena, se consolidó como un método eficaz para eliminar las partículas del agua. A medida que avanzaba el siglo, se profundizó en el conocimiento de las fuentes y los efectos de los contaminantes en el agua potable. Los científicos comprendieron la relación entre el agua contaminada y las enfermedades, como el brote de cólera de Londres en 1855, que demostró la transmisión de enfermedades a través del agua (Serviquialita, 2016).

Aunque el tratamiento del agua ha experimentado avances significativos durante los siglos XIX y XX, la industria sigue desarrollando y perfeccionando sus procesos. En la actualidad, la comprensión y el desarrollo de la tecnología de tratamiento, filtración y desinfección del agua se enfrentan a nuevos retos, como la presencia de subproductos de la desinfección y las posibles repercusiones negativas de la cloración en la salud y la sostenibilidad medioambientales. La era de la información y el crecimiento tecnológico siguen transformando la naturaleza del tratamiento del agua, con avances en microbiología y detección de contaminantes que afectarán al sector en las próximas décadas (ambiental, 2018).

A nivel regional, trabajos como el realizado por Iván Ricardo Ávila Bareño

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

(2016) en la inspección de San Antonio de Anapoima, titulado "Diseño, propuesta e implementación de un filtro para el tratamiento de agua doméstica en tanques de reserva", demuestran la aplicación de métodos de observación directa para abordar problemáticas específicas. Este proyecto proporcionó opciones de solución basadas en la tecnología más apropiada para mejorar la calidad del agua.

A nivel nacional, Leidy Johana Castellanos Rincón (2015) contribuyó con el proyecto "Diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias en una vivienda multifamiliar para uso doméstico en el barrio Consuelo, municipio de Rafael Uribe". Este trabajo dio una respuesta que necesitó tomar agua de lluvia para usar de nuevo en limpieza de casa, añadiendo un filtro para hacer mejor el agua que se obtuvo. Las pruebas en el laboratorio con muestras de agua antes y después de poner el filtro mostraron grandes mejoras, pero no se sugirió su consumo por humanos por la presencia de algunos microbios que podrían poner en riesgo la salud. Sin embargo, el uso de este sistema en otras ciudades del país demostró que la idea sirve y su impacto en la calidad del agua para uso doméstico es importante.

A nivel internacional, el grupo AQUA, dirigido por un importante personaje colombiano, ha cruzado fronteras para hacer grandes contribuciones. Según la Universidad Cooperativa de Colombia (2020), este grupo desarrolló el dispositivo MARAQUA, diseñado para su aplicación práctica en el seco corredor norte de Nicaragua, región caracterizada por un deficiente suministro de agua. MARAQUA pretende aportar soluciones concretas para mejorar la calidad de vida, especialmente de los niños, mediante la implementación de sistemas de tratamiento de agua en viviendas, instituciones educativas y hogares comunitarios. Este proyecto se destaca gracias a su

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

enfoque proactivo en la búsqueda de soluciones para las regiones con necesidades críticas de acceso al agua potable, y también por su aplicabilidad a escala nacional e internacional.

Gracias al trabajo de destacados ingenieros y científicos, como Luc Antonio Porzio, Joseph Amy, John Gibb, John Snow y John L. Leal, se ha dejado una huella significativa en la historia del tratamiento del agua. Si estos pioneros pudieran contemplar las plantas de tratamiento de agua potable contemporáneas, seguramente quedarían impresionados por el avance y la sofisticación alcanzados. En definitiva, a lo largo de la historia se ha producido una evolución constante en la búsqueda de soluciones para garantizar un suministro de agua seguro y de calidad. Desde las antiguas prácticas de filtración en Siria y Babilonia hasta los modernos proyectos de recogida de agua de lluvia en Colombia y los innovadores sistemas de Nicaragua, la ingeniería y la tecnología han desempeñado un papel crucial en la mejora de la calidad del agua para diversos usos. Estos esfuerzos en curso son esenciales para hacer frente a los retos contemporáneos y futuros del abastecimiento y tratamiento del agua en el mundo.

3.2.Sistemas de potabilización en la actualidad

Aproximadamente la mitad de los casos de desnutrición en el mundo están asociados con diarrea recurrente o problemas intestinales. Esto es resultado directo del consumo de agua no potable (Rodríguez, D. C,2008). Por esta y muchas razones más, surgió la necesidad de potabilizar el agua de manera eficiente y económicamente viable.

Los tratamientos para potabilizar el agua se pueden clasificar de acuerdo con: los componentes a eliminar, Parámetros de calidad y grados de tratamiento de agua. En

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

tal sentido se describe una lista operaciones unitarias en función de los componentes presentes en el agua (Romero, M. ,2008).

Tabla 1. Procesos unitarios para llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.

TIPO DE CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación, Floculación y Decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia Orgánica	Afino con Carbón activo
Amoniaco	Cloración al Breakpoint
Gérmenes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por oxidación
Sólidos disueltos (Cl, Na, K)	Osmosis Inversa

Nota. Calidad y tratamiento del Agua, 2002. American Water Works Association

Oyanedel-Craver y Smith (2008) presentan una completa revisión de los avances tecnológicos en el ámbito de la potabilización del agua, abarcando desde procesos de alta complejidad hasta métodos sencillos de bajo costo. Entre las técnicas punteras se mencionan la ósmosis inversa, la ultrafiltración con membranas, la adsorción mediante carbón activado y la radiación ultravioleta, mientras que entre los procedimientos más simples se destacan la coagulación-floculación, la cloración, la filtración con arena y la destilación solar. Los autores resaltan que la selección de la tecnología más adecuada depende de factores como la calidad del agua cruda que se va a tratar, la capacidad de inversión, el conocimiento técnico y los recursos disponibles en cada lugar.

3.2.1. Destilación Solar

Según los autores (Kabeel et al. ,2013) y (Mathioulakis et al. ,2007) coinciden en señalar que la destilación solar representa una técnica muy prometedora y apropiada para suministrar agua potable a pequeñas comunidades rurales aisladas. (Kabeel et al. ,2013) afirma que este método utiliza energía renovable proveniente del sol, tiene bajos costos de operación y no depende de insumos eléctricos ni químicos, lo que lo hace ideal para zonas con difícil acceso. Por su parte, (Mathioulakis et al. ,2007) destaca que la alta efectividad de los destiladores solares pasivos, es decir, aquellos que funcionan únicamente con la energía solar, sin necesidad de bombas u otros aportes energéticos. Este tipo de destiladores pueden alcanzar rendimientos de hasta el 75% de agua potable destilada dependiendo de su diseño. Ambos estudios permiten concluir que la sencillez, eficiencia y sostenibilidad de la destilación solar la posicionan como una alternativa muy valiosa para llevar agua segura a poblaciones rurales remotas.

3.2.2. Prototipos Actuales que usan el principio de la destilación solar

Actualmente se presentan 2 soluciones innovadoras para la producción de agua potable a partir de agua de mar o cualquier otra fuente contaminada, ambos sistemas son impulsados por energía solar y estos se distinguen por su accesibilidad económica y rápida instalación convirtiéndolos en una opción ideal para atacar la problemática presentada

Los prototipos llevan el nombre de Helio Water y Solar Ball uno de origen francés y el otro de origen japonés respectivamente

3.2.3. *Helio Water*

El destilador solar esférico de Thierry Carlin reproduce el ciclo natural del agua utilizando la energía solar para potabilizarla. Consta de una esfera con una bandeja central que contiene el agua a tratar, suministrada mediante una bomba. La radiación solar calienta el agua provocando su evaporación. El vapor se condensa al contacto con las paredes de la esfera, formando microgotas de agua destilada que resbalan y se recolectan en el fondo. Los residuos son purgados del sistema (Marine Tech, 2020).

Este destilador tiene capacidad de producir 10 litros de agua potable por día, y actualmente se comercializa con un costo de 9000 euros.

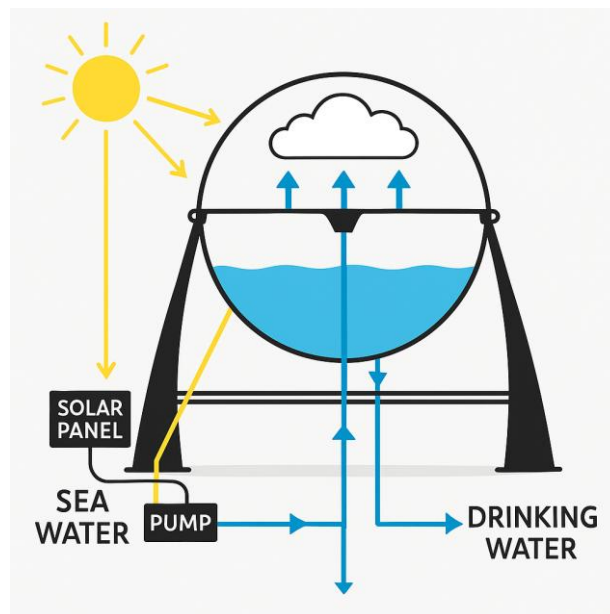


Figura 1. Diseño de helio water

3.2.4. *Solar Ball*

Solar Ball es un destilador solar portátil desarrollado por Jonathan Liow para proveer agua potable. Consiste en una esfera de plástico transparente de unos 40 cm de

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

diámetro que replica el ciclo del agua. La luz solar calienta y evapora el agua en la parte superior. El vapor se condensa en las paredes internas y escurre por un canalón que recorre todo el diámetro de la esfera, recolectando el agua destilada limpia en la parte inferior.

La Solar Ball tiene capacidad de producir hasta 3 litros de agua potable al día utilizando solo la energía solar. Es una innovadora solución portátil que busca ayudar a personas sin acceso a agua potable. Actualmente no se comercializa.



Figura 2. Diseño de Solar Ball

3.2.5. Destilador Solar de Cascada

Se describe un destilador de cascadas que funciona como evaporador y destilador. Consta de una superficie adsorbente de acero galvanizado formada por nueve escalones idénticos.

Esta superficie contiene el agua salobre a destilar. El prototipo está cubierto por una cubierta transparente de vidrio. El sistema está aislado térmicamente con

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

poliestireno y lana de vidrio en la parte posterior (Khelif & Touati, 2000).

El prototipo tiene unos orificios conectados mediante una ranura. En el primer orificio ingresa el agua salada, el segundo contiene el destilado y el tercero controla el nivel de agua cuando el recipiente está lleno.

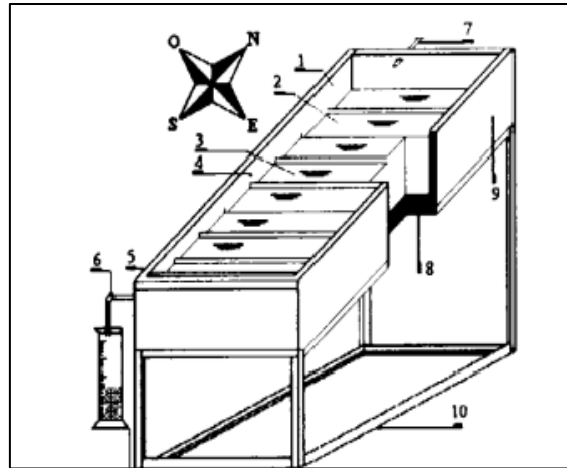


Figura 3. Diseño de destilador solar de cascada

3.2.6. Destilador Solar Esférico

Este prototipo presenta la ventaja de tener una forma esférica, lo cual optimiza la incidencia de los rayos solares sobre su superficie. Además, incorpora un limpiavidrios accionado por un motor, que permite recolectar eficientemente el agua condensada sobre la esfera. La curvatura esférica maximiza la exposición a la radiación solar, mientras que el limpiavidrios motorizado facilita la recolección del destilado, aprovechando así al máximo las propiedades de la forma adoptada. (Diego & Molina Ramirez, 2020)

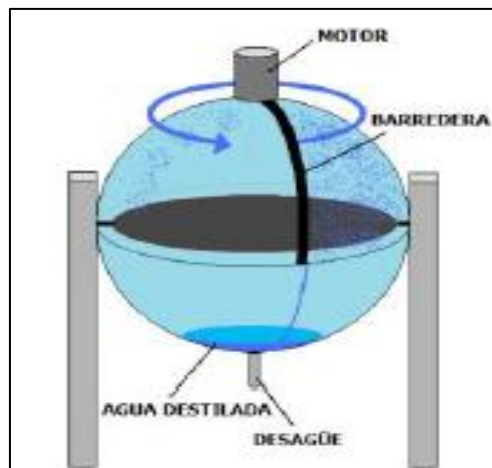


Figura 4. Diseño de destilador solar esférico

3.2.7. *Destilador Solar con evaporador de tela*

El método se basa en humedecer una tela de color negro, la cual al tener un albedo más bajo concentra una mayor cantidad de calor. Debido a la capilaridad, la tela adsorbe el líquido que se va a destilar. El prototipo consta de una cubierta de vidrio que contiene el destilado. Por efecto de la gravedad, el destilado se deposita al final de la pendiente que tiene la cubierta de vidrio (Hermosillo-Villalobos & Juan J, 1989) .

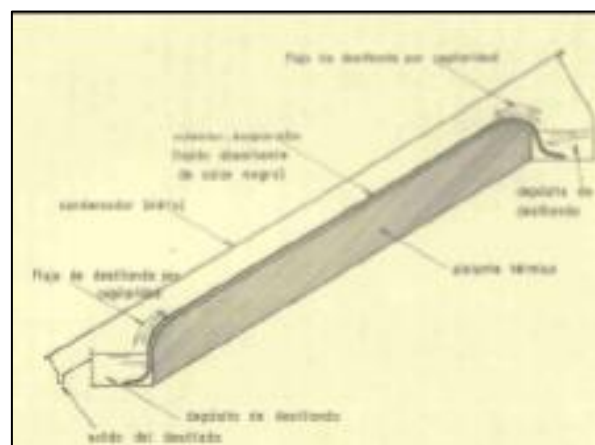


Figura 5. Diseño de destilador solar con evaporador de tela

3.3.Marco Teórico

3.3.1. Calidad del agua

La calidad del agua, fundamental para la salud humana, es definida con precisión por la OMS (2006) como la capacidad del agua de no suponer una amenaza significativa a lo largo de su vida. Para realizar esta evaluación, se tienen en cuenta sus propiedades físicas, químicas y biológicas, utilizando parámetros específicos detallados en las "Guías para la calidad del agua potable". Este enfoque global garantiza que se tengan en cuenta las distintas características y fuentes del agua, lo que pone de relieve la importancia de medir y clasificar estos aspectos cruciales para garantizar su idoneidad para el consumo humano de (Kabeel et al, 2013)

La diversidad de las fuentes de agua y las variadas características del agua subrayan la necesidad de una evaluación detallada. Desde las aguas subterráneas hasta las superficies, cada fuente tiene retos específicos en cuestión de la calidad del agua. El uso de reglas y números específicos que están en las "Guías para la calidad del agua potable" no solo asegura seguridad para el consumo sino que también da un marco fuerte para hacer frente a la diferencia que hay en las fuentes de agua por todos lados.

La seguridad del agua potable se garantiza mediante los Procedimientos de Control del Agua (PCA), que incluyen la supervisión y el control de calidad final. La verificación implica análisis microbiológicos y químicos, que garantizan que el agua cumple las normas sanitarias (OMS, 2006).

3.3.2. *Calidad Microbiológica del Agua*

El análisis de calidad del agua de microorganismos consiste en el rendimiento de pruebas específicas que muestran microorganismos como E. coli, que proporcionan una referencia definitiva a la contaminación fecal moderna. Estas pruebas se realizan en varias etapas, desde el origen del agua hasta el consumo, según un protocolo determinado por la OMS en 2006. Existe un posible riesgo microbiológico y garantiza la seguridad del suministro de agua.

3.3.3. *Calidad Química del Agua*

Los resultados del análisis se comparan con los valores de referencia para evaluar la calidad química del agua. Las "Guías para la calidad del agua potable" se encargan de establecer estos límites teniendo en presente la protección tanto de la población en general como también de los grupos más vulnerables. Es primordial establecer estos valores de referencia para garantizar que el suministro de agua cumpla con los estándares de calidad demandados por las autoridades sanitarias y, que la concentración de contaminantes químicos no represente ningún riesgo para la salud a lo largo de la vida.

3.3.4. *Plantas de potabilización*

La calidad del agua cruda cambia en función de su entorno natural. Como resultado de este fenómeno, el nivel de complejidad del proceso de tratamiento necesario para convertirla en agua potable puede ser variar de las condiciones ambientales de la zona. Apesar de que no existe un estándar universal para determinar el tipo de plantas que se requieren para el proceso de tratamiento, se necesitan investigaciones rigurosas para determinar el estado actual de la fuente de agua de la cual

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

se extraerá. Estos estudios, que también incluyen varios análisis, ayudan a desarrollar y terminar un proceso y operación eficiente del sistema de purificación de agua. La coagulación, la floculación, la precipitación, la filtración y la desinfección son procesos que son esenciales para garantizar la calidad del agua potable (Pinzón, 2015).

3.3.5. Procesos para la producción de agua pura en plantas potabilizadoras

La filtración biológica, que también es conocida como la filtración de arena, se logra obtener haciendo pasar el agua cruda por una capa porosa de arena. Gracias a este proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie particulada del medio filtrante, lo que hace que queden retenidas, intensificando la degradación química y biológica y reduciendo los residuos a formas más simples. La velocidad de filtración establece el tiempo que el agua bruta se queda en el medio filtrante. Una característica a tener presente de este método es la formación de una capa biológica coexistente en la superficie de la arena, compuesta por bacterias, protozoos, algas y nematodos. Esta simbiosis genera que las algas suministren oxígeno para la supervivencia de otros microorganismos, mientras que estos últimos consumen el dióxido de carbono producido por las algas (Blacio, 2011).

La filtración lenta por arena, el sistema más antiguo de tratamiento del agua reproduce fielmente el proceso natural de depuración cuando el agua de lluvia atraviesa la corteza terrestre hasta llegar a un acuífero subterráneo o a un río. Este método es eficaz y sencillo, y se utiliza para filtrar agua con una contaminación de moderada a baja, reteniendo partículas de hasta 20 micras. Las partículas en suspensión arrastradas por el agua son retenidas a su paso por el lecho filtrante de arena. La calidad de la filtración depende de diversos factores, incluyendo la forma del filtro, la altura del lecho

del filtro y la velocidad de filtración. Los filtros pueden estar hechos de diversos materiales, como resinas de poliéster y fibra de vidrio, acero inoxidable y acero al carbono, adaptándose a distintas aplicaciones y necesidades de resistencia a la presión (Sefiltra, 2020).

3.3.6. *Filtros de carbón activado*

El carbón activado no sólo actúa como filtro, sino que también como un depurador gracias a su capacidad para eliminar sustancias pesadas del agua y el aire. Su estructura, que es altamente porosa, con poros de menos de 2 nanómetros, genera una adsorción eficaz. Este proceso se basa en atraer moléculas pesadas a la superficie sólida del carbón, dejando pasar únicamente las moléculas más puras del líquido o gas (Peñañiel, 2010).

La purificación del agua implica varias técnicas que utilizan diferentes etapas del proceso de purificación con la finalidad de lograr condiciones de bajo riesgo, adaptándose a los contaminantes presentes. Entre los métodos más comunes, se encuentran la precipitación de impurezas con floculantes o coagulantes, la filtración con carbón activado y la ósmosis inversa. También, se utilizan otros métodos de desinfección como el cloro, el ozono y los rayos UV (ultravioleta) (Fuente: Sefiltra, 2020). Estos procesos garantizan la eliminación de contaminantes y garantizan la seguridad del agua potable.

3.3.6.1. *Filtración con Carbón Activado: Eliminación de Cloro y Compuestos Orgánicos*

Los filtros de carbón activado tienen un papel crucial en la eliminación del cloro y los compuestos orgánicos del agua. Su funcionamiento es similar al de los filtros de arena, el agua que pasa por un lecho filtrante de carbón activado retiene los

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

contaminantes. Estos filtros son especialmente adecuados para la depuración de aguas subterráneas y pueden estar hechos de distintos materiales, como acero inoxidable, acero al carbono y fibra de vidrio (Sefiltra, 2020).

3.3.6.2. Depuración con Carbón Activado: Adsorción Eficiente de Sustancias Pesadas

El carbón activado no solo funciona como filtro; también juega un papel importante como depurador al extraer sustancias pesadas del agua y del aire. Su estructura altamente porosa, con poros de menos de 2 nanómetros, permite una adsorción eficiente. Este proceso se basa en la atracción de moléculas pesadas hacia la superficie sólida del carbono, lo que permite que solo las moléculas más puras del líquido o gas atraviesen (Peñañiel, 2010).

3.3.7. Ósmosis Inversa

Actualmente, la ósmosis inversa (OI) es una técnica que es ampliamente reconocida y utilizada para la desalinización, siendo esta fundamental para lograr hacer frente a la creciente escasez de agua potable al rededor del mundo, específicamente en las regiones con acceso limitado a fuentes de agua dulce. Esta tecnología se basa en los principios físicos y químicos fundamentales, destacando su eficiencia en la eliminación de sales y otras impurezas disueltas en el agua. La aplicación de la ósmosis inversa se logró consolidar como una solución clave, permitiendo así la conversión de recursos hídricos salinos, como lo es el agua de mar y el agua salobre, en agua potable de alta calidad (Colomina Montava, J, 2016).

Para el proceso de desalinización por ósmosis inversa se suele utilizar una membrana que es semipermeable como barrera física. Esta membrana, que es a menudo fabricada con materiales poliméricos avanzados, desempeña un papel crucial al permitir

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

el paso selectivo de moléculas de agua, al tiempo que excluye moléculas de mayor tamaño, como sales y otras impurezas presentes en el agua de alimentación. Sometiendo así el agua a presión, se logra forzar el paso a través de la membrana semipermeable. Con dicha presión, el agua pura atraviesa la membrana, atrapando y eliminando sales e impurezas. El resultado de todo este proceso es un agua purificada, denominada permeado, que se recoge en una de las caras de la membrana, lista para su consumo como agua potable o para diversas aplicaciones industriales y agrícolas (Soto Álvarez, G., & Soto Benavides, C, 2013).

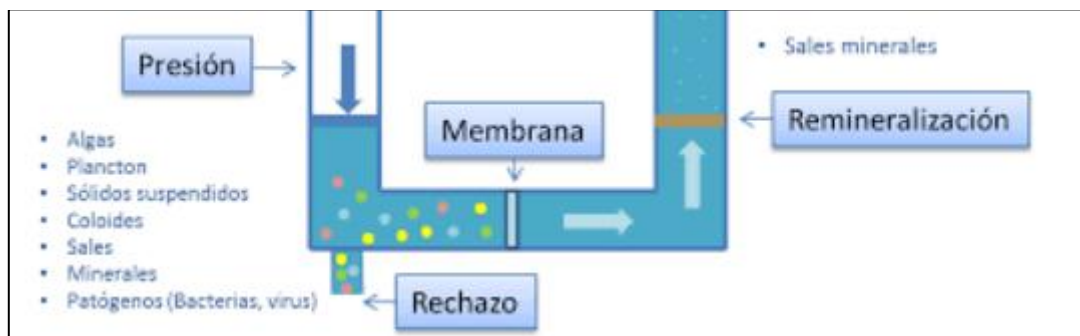


Figura 6. Función de la Osmosis Inversa para eliminar la sal

Nota. Tomado de Hossain, M. A., et al. (2019).

3.3.8. Celdas de desalinización microbiana (CDM)

Las células de desalinización microbiana (MDC) se presentan como una técnica innovadora que fusiona los principios de la electroquímica y la microbiología para abordar el problema mundial de la escasez de agua potable. Esta tecnología funciona mediante la interacción simbiótica entre microorganismos y electrodos, logrando una desalinización eficiente y sostenible. La configuración de la célula electroquímica implica la presencia de dos electrodos (cátodo y ánodo) sumergidos en un

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

compartimento de agua salina o salmuera, separados por una membrana permeable selectiva.

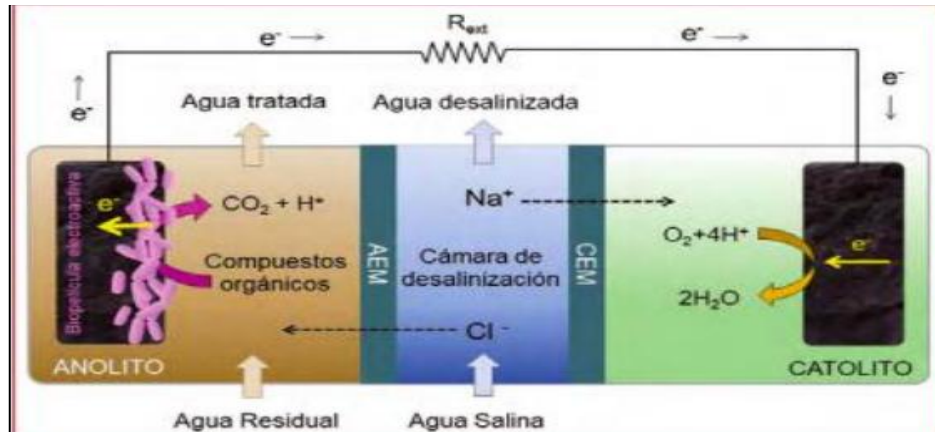


Figura 7. Celdas de salinización microbiana

Nota. Tomado de Hossain, M. A., et al. (2019).

3.4.Marco Contextual

El municipio de Riohacha, que se encuentra ubicado en el departamento de La Guajira, Colombia, se encuentra en una posición geográfica estratégica en la costa Caribe del país, cuenta con un extenso litoral a lo largo de la bahía que lleva su nombre y acceso directo al mar Caribe. Esta ubicación ha contribuido al desarrollo económico y comercial de la ciudad, facilitando de esta forma el comercio y las operaciones portuarias (Gobernación de La Guajira, 2021). Riohacha es la capital del Departamento de La Guajira y alberga las principales instituciones gubernamentales de la región. La administración municipal y departamental tienen un rol crucial en la gobernanza local y también en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo socioeconómico y ambiental (Alonso & Vergara, 2015).

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA



Figura 8. Ubicación geográfica de la guajira

Nota. Corporación Autónoma Regional de La Guajira. (2021).

Hablando desde el punto de vista económico, La Guajira depende de la agricultura, la pesca y la ganadería como sus principales fuentes de ingresos. El suelo fértil y las condiciones climáticas favorables permiten la producción de diversos cultivos, tales como el maíz, el sorgo y el ají. La pesca, tanto comercial como deportiva, juegan un papel importante debido a la proximidad del mar y a la amplia diversidad de especies marinas. Además de esto, el turismo ha surgido como un componente significativo de la economía local, atrayendo a los visitantes interesados en disfrutar de las playas y explorar la belleza natural de La Guajira (Gobernación de La Guajira, 2021).

Con respecto al tema de la educación, éste departamento cuenta con diferentes instituciones educativas que ofrecen oportunidades de aprendizaje a la población local. A pesar de que la educación es esencial para el desarrollo de habilidades y la mejora de la calidad de vida, se siguen teniendo desafíos, específicamente en términos de acceso a una educación de calidad en las zonas rurales y para las comunidades indígenas. Promover la educación inclusiva y fortalecer la infraestructura educativa son objetivos

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

cruciales para mejorar las oportunidades de desarrollo en la región (Secretaría de Educación de La Guajira, 2021).

3.5.Marco Normativo

La legislación colombiana dictaminó una serie de normas y leyes para regular la gestión y preservación del recurso hídrico. La Constitución Política de 1991 se encarga de reconocer el derecho colectivo al agua como esencial para la vida, lo que obliga al Estado a proteger este recurso natural, considerandolo como un bien fundamental para el bienestar de la sociedad colombiana. En este marco, la Ley 99 de 1993 creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), abordando de forma integral la gestión ambiental y resaltando de nuevo la importancia de preservar y cuidar el recurso hídrico.

El Decreto 1594 de 1984 expedido por el Ministerio de Salud y el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, clasifica los cuerpos de agua, define los usos permitidos y prohibidos y establece los procedimientos para el otorgamiento de derechos, brindando un marco legal para garantizar el uso sostenible y equitativo del recurso. Por su parte, el Decreto 1076 de 2015 cumple la función de compilar y actualizar las normas relacionadas con el agua en Colombia, buscando una regulación más coherente y actualizada, abordando aspectos claves como la planificación y gestión integral del recurso hídrico.

La Ley 373 de 1997 refleja la visión del país hacia el desarrollo sostenible, buscando un uso eficiente y equitativo de los recursos naturales, incluyendo medidas específicas para garantizar la gestión sostenible del agua. Asimismo, la Ley 23 de 1973, como código pionero, aborda la conservación de los recursos naturales, estableciendo

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

principios fundamentales para garantizar la sostenibilidad y protección del medio ambiente.

La Ley 99 de 1993 contempla la posibilidad de declarar zonas de especial importancia ecológica, reconociendo la vitalidad de ciertos ecosistemas, como los humedales, para la conservación del agua y la biodiversidad. Además, Colombia participa en convenios internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención de Ramsar, reforzando su compromiso global con la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica y los recursos hídricos. Finalmente, la Ley 207 de 2020 marca un paso significativo al establecer medidas concretas para la gestión sostenible del agua, promoviendo la eficiencia en su uso y la protección de las cuencas hidrográficas.

La Ley 99 de 1993, en concordancia con la Constitución Política de Colombia, establece el marco legal para la gestión ambiental, incluyendo la protección y el manejo sostenible de los recursos hídricos. Esta ley busca integrar criterios de sostenibilidad y precaución en la toma de decisiones que afectan al medio ambiente, incluyendo la gestión del agua. El Decreto 1640 de 2012 reglamenta las actividades relacionadas con el vertimiento de aguas residuales, estableciendo condiciones y normas para garantizar la calidad del agua y prevenir la contaminación de los cuerpos receptores. Este decreto es fundamental para la protección de la calidad del agua y la preservación de los ecosistemas acuáticos.

La Ley 373 de 1997 se centra en la participación de la comunidad en la gestión del agua y la prevención de la contaminación. Busca la sostenibilidad ambiental y promueve prácticas que contribuyan a la conservación y preservación del recurso

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

hídrico, incorporando la participación ciudadana en la toma de decisiones. El Decreto 3930 de 2010 reglamenta la calidad del agua para consumo humano, estableciendo los requisitos y normas que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua potable. Este decreto garantiza la calidad del agua destinada al consumo humano y protege la salud de la población.

La Resolución 1207 de 2014 establece las tarifas de uso de aguas superficiales y subterráneas para diferentes actividades económicas en Colombia. Esta resolución contribuye a la gestión eficiente del agua, promoviendo su uso sostenible y evitando el agotamiento del recurso hídrico. Por su parte, la Ley 23 de 1973, conocida como Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, contiene disposiciones relacionadas con la conservación de los recursos naturales, entre ellos el agua. Este código establece principios para armonizar las actividades humanas con la preservación de la naturaleza.

El Decreto 1607 de 2002 reglamenta la expedición de licencias y concesiones para el uso y aprovechamiento del agua en Colombia. Este decreto establece los procedimientos y requisitos para garantizar el uso adecuado y sostenible de los recursos hídricos. Asimismo, la Ley 373 de 1997, además de centrarse en la participación comunitaria, establece medidas para la prevención y el control de la contaminación del agua. Busca garantizar la calidad del agua y la preservación de los ecosistemas acuáticos, promoviendo prácticas que minimicen los impactos ambientales.

Decreto 3100 de 2003 se establece el régimen sancionatorio ambiental, que incluye sanciones por infracciones relacionadas con la contaminación del agua. Este decreto contribuye al cumplimiento efectivo de la normatividad ambiental y promueve

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

la responsabilidad en el uso y manejo del agua. Con la Resolución 849 de 2018 se regulan los vertimientos puntuales de aguas residuales al sistema de alcantarillado público. Establece criterios técnicos para prevenir la contaminación y garantizar la calidad del agua, promoviendo prácticas responsables por parte de los usuarios del sistema de alcantarillado.

Ley 164 de 1994: En Colombia, desempeña un papel crucial en el establecimiento del régimen de caudales ecológicos para las masas de agua. Este marco legal busca salvaguardar la salud de los ecosistemas acuáticos mediante la definición de caudales mínimos necesarios, garantizando así que el uso del agua no comprometa la integridad de los ríos y sus entornos.

El Decreto 1076 de 2015 juega un papel fundamental en la compilación de las normas regulatorias del sector ambiente y desarrollo sostenible en Colombia. Dentro de su contenido aborda aspectos relevantes para la gestión integral del recurso hídrico, como la planificación del uso del agua y la autorización de vertimientos, contribuyendo a la regulación efectiva de estas actividades.

Ley 1876 de 2017: En el contexto colombiano se erige como un instrumento jurídico fundamental para fortalecer la gestión integral del recurso hídrico. Su enfoque incluye disposiciones que buscan tanto la protección de las fuentes hídricas como la promoción de prácticas sostenibles en el uso del agua, aspectos esenciales para la preservación a largo plazo de este recurso vital. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB): En el ámbito internacional, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) es un importante tratado que trasciende las fronteras. Este acuerdo mundial aborda la conservación de la diversidad biológica, incorporando también la importancia de los

recursos hídricos.

4. Metodología

La metodología a implementar para este proyecto considera un enfoque mixto que integra elementos cualitativos y cuantitativos. Gracias a esto, se permite abordar de manera integral el problema de la escasez de agua en La Guajira y de esta forma evaluar la efectividad del prototipo diseñado. Con respecto al componente cualitativo, se realizarán observaciones directas en la región para entender el contexto y las prácticas relacionadas con el agua. También, se realizarán varias entrevistas con la comunidad local, buscando así obtener percepciones cualitativas del problema. La revisión bibliográfica complementará esta fase, lo que proporciona una comprensión más profunda de los aspectos sociales, económicos y medioambientales vinculados tanto a la escasez de agua como a la tecnología de desalinización.

Con respecto al componente cuantitativo, se realizarán diversas pruebas experimentales con el prototipo. Esto permitirá una evaluación precisa de su eficiencia, teniendo en cuenta parámetros mensurables como la producción de agua.

4.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se ha seleccionado es, en esencia, aplicado y experimental. La investigación aplicada tiene como finalidad encontrar soluciones prácticas para problemas específicos, como la escasez de agua potable en la región de La Guajira. Por otro lado la investigación experimental implica pruebas y análisis prácticos para confirmar la eficacia del prototipo. La combinación de estas metodologías es lo que permitirá diseñar un prototipo teóricamente sólido y verificar su

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

funcionamiento en condiciones reales y ajustar la solución en función de los resultados. Para abordar el problema específico de la desalinización y la potabilización del agua en una región específica, se requiere de este enfoque práctico y orientado a la aplicación.

4.2. Población

La investigación se centra principalmente en un entorno de laboratorio, lo que genera una limitación en su alcance directo a una población específica. Apesae de que no genera un impacto inmediato en las comunidades, sienta las bases para futuras investigaciones que podrían proponer implementaciones concretas en zonas específicas de la costa colombiana. Estos lugares carecen de facilidades para acceder al agua potable, lo que los convierte en potenciales beneficiarios de tecnologías como el prototipo desarrollado.

4.3. Técnicas Usadas para la recolección de datos

El inicio del proyecto implica un análisis documental detallado. Este proceso se llevará a cabo a través de la elaboración de tablas comparativas que facilitan la identificación del método más eficiente para la ejecución del prototipo. Además de esto, se emplearán técnicas experimentales en el laboratorio para recopilar datos cuantitativos relacionados con el rendimiento y la eficiencia del prototipo. Se utilizarán instrumentos para medir parámetros específicos, garantizando la precisión y confiabilidad de los datos recogidos. Este enfoque global de la recogida de datos permitirá validar los resultados y realizar los ajustes necesarios para optimizar el prototipo en función de los objetivos fijados.

4.4. Fases de la Investigación

La presente investigación se desarrollará cronológicamente en las siguientes tres fases:

4.4.1. Análisis demanda de agua potable

En la primera fase de la investigación, se llevará a cabo un estudio documental, centrado en informes gubernamentales, estudios previos y documentos pertinentes que permitan conocer en profundidad la demanda actual de agua potable en la región. Además, se realizarán entrevistas con las principales partes interesadas, incluidas las autoridades locales, expertos en recursos hídricos y miembros de la comunidad, con el fin de obtener información directa sobre los retos existentes. Como complemento, se utilizarán herramientas SIG para realizar un análisis detallado de la topografía y la geografía de la región, identificando las zonas críticas y las posibles fuentes de agua.

4.4.2. Diseño del prototipo y pruebas de este teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas de la región

A partir de los resultados del análisis de la demanda, se procederá al diseño del prototipo, teniendo en cuenta específicamente las condiciones climáticas y geográficas únicas de la región. Este proceso incluirá pruebas iniciales del prototipo en un entorno de laboratorio, lo que permitirá realizar los ajustes y optimizaciones necesarios. Se prestará especial atención a la selección de materiales resistentes a las condiciones climáticas locales y a la adaptación de la tecnología para garantizar su eficacia en el contexto geográfico específico..

4.4.3. Evaluación de prototipo si se lleva a gran escala

Una vez validado el prototipo en condiciones de laboratorio, se evaluará su impacto potencial a gran escala. Se realizarán simulaciones y análisis de viabilidad para comprender cómo podría implantarse el prototipo en la región en cuestión. Esta fase

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

incluirá la evaluación de los beneficios sociales, económicos y medioambientales. Se analizarán los costes asociados a la implantación a gran escala y se estudiarán estrategias para superar posibles obstáculos. Los resultados de esta fase ayudarán a determinar la viabilidad y el éxito potencial de la implantación a escala regional.

5. Resultados

5.1. Análisis de demanda de agua potable (Principales desafíos)

La región de La Guajira es una zona desértica extremadamente árida que se abastece de agua a través de camiones cisterna y pozos no aptos para el consumo humano. Además, el abandono de un sistema de recolección de residuos en la Alta Guajira ha generado grandes desafíos para su implementación, tales como:

5.1.1. Minería

La mina de carbón El Cerrejón, la más grande de América Latina, se encuentra ubicada en la Alta Guajira, territorio ancestral del pueblo wayuu. Sus operaciones han tenido un impacto devastador en los recursos hídricos de la región. Directamente, han provocado la desviación de 2 arroyos y la extinción de 17 ríos, además de contaminar las aguas de 19 cuerpos de agua con polvo de carbón y residuos minerales. Es una verdadera paradoja que, mientras La Guajira sufre una severa escasez hídrica y su población muere de sed, esta mina consume millones de litros de agua día a día para sus actividades extractivas, agravando aún más la crisis de acceso al agua potable que enfrenta la zona.

5.1.2. Plásticos

A la grave situación previamente descrita se suma otra problemática ambiental: la acumulación de residuos plásticos. Debido a la difícil accesibilidad geográfica de estas comunidades y el abandono por parte de las autoridades gubernamentales, las zonas de la Alta Guajira carecen de un sistema adecuado de recolección de desechos sólidos. Como consecuencia, el paisaje natural se encuentra actualmente invadido por

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

montículos de plásticos, contaminando visualmente estos territorios y poniendo en riesgo los frágiles ecosistemas de la región.



Figura 9. La Guajira: Un desierto de basura

Nota. Revista Semana Medioambiente (2024).

5.1.3. Resguardo Soldado Párate Bien

La comunidad wayuu de Soldado párate bien ejemplifica las duras condiciones que enfrentan los resguardos indígenas para acceder al agua. Sus habitantes deben recorrer más de un kilómetro en bicicleta para recolectar agua de lluvia almacenada en un pozo, su única fuente disponible. Sin embargo, durante las prolongadas sequías estivales, este pozo se seca, dejándolos sin suministro alguno por largos períodos.

Según el dane en el último censo del 2018 dice que la población es de 172 personas.

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

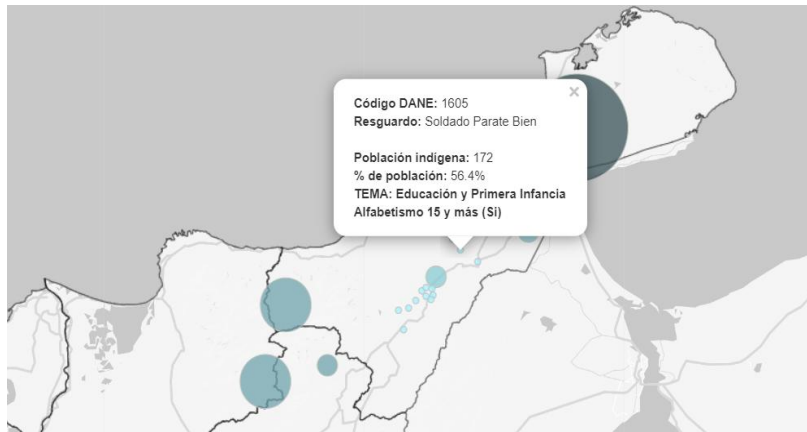


Figura 10. Ubicación de resguardo Párate Bien

Nota. Revista Geo portal DANE Resguardos (2018).

5.2. Diseño del prototipo y pruebas de este teniendo en cuenta las condiciones climáticas y geográficas de esta región

Debido a que la guajira es una zona desértica y a la cual puede llegar a temperaturas hasta de 42 grados Celsius notorios en el pasado verano se tiene presente que los materiales de fabricación tienen que ser metálicos los cuales resistan los climas y la zona árida que es.

5.2.1. Diseño y materiales del prototipo

El diseño fue un conjunto de todos los prototipos ya existentes pensando en las condiciones áridas de la guajira y que este fuera lo más económico posible para que este se pueda pasar como una propuesta ante esta gran problemática.

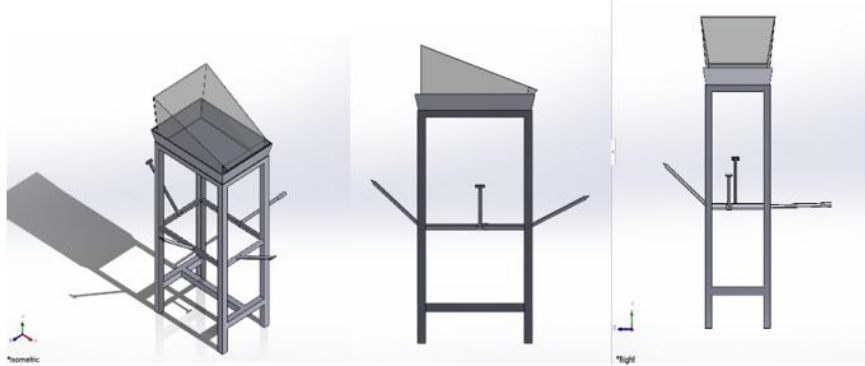


Figura 11. Diseño prototipo destilador solar

5.2.2. Montaje y Construcción

Para el montaje de este se realizó soldando y atornillando cada uno de los materiales previamente mencionados y de la siguiente manera obtener lo siguiente



Figura 12. Medidas para el molde de aluminio

Nota. Tomado de Mercado libre (2024).



Figura 13. Cúpula superior del destilador solar

Nota: El área de la superficie a irradiar es de 0.1053 m^2



Figura 14. Montaje del prototipo potabilizador

5.2.3. Pruebas

Se realizaron distintas pruebas en diferentes lugares de Colombia; inicialmente se experimentó en la ciudad de Bucaramanga ciudad con temperatura promedio de 25 grados Celsius durante 20 días, luego en San Gil, Santander durante 5 días con una

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

temperatura promedio de 28 grados Celsius y finalmente en Bolívar, Santander con una temperatura promedio de 17 grados Celsius; de esta manera se puede evidenciar la noción si este prototipo es viable dándonos los siguientes resultados.

Tabla 2. Resultados de las pruebas diarias

DIA	LUGAR	TEMP [°C]	CALOR [J/s]	RADIACION [J/s m ²]	AGUA [ml]
4- marzo-	Bucaramanga	25	6.61	3182	820
5- marzo	Bucaramanga	26	6.69	4252	850
6- marzo	Bucaramanga	26	6.69	4196	750
7- marzo	Bucaramanga	27	6.78	4596	890
8- marzo	Bucaramanga	26	6.69	3968	730
9- marzo	Bucaramanga	25	6.61	3145	710
10- marzo	Bucaramanga	28	6.87	5721	840
11- marzo	Bucaramanga	25	6.61	3253	740
12- marzo	Bucaramanga	28	6.87	5658	910
13- marzo	Bucaramanga	26	6.69	4387	850
14-	Bucaramanga	25	6.61	3435	720

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

marzo					
15-	Bucaramanga	26	6.69	4158	870
marzo					
16-	Bucaramanga	25	6.61	4727	830
marzo					
17-	Bucaramanga	25	6.61	5247	890
marzo					
18-	Bucaramanga	25	6.61	4596	970
marzo					
19-	Bucaramanga	26	6.69	3965	930
marzo					
20-	Bucaramanga	25	6.61	5121	1030
marzo					
21-	Bucaramanga	25	6.61	3125	890
marzo					
22-	Bucaramanga	26	6.69	3981	910
marzo					
23-	Bucaramanga	25	6.61	4151	920
marzo					
24-	San Gil	31	7.15	6739	1320
marzo					
25-	San Gil	29	6.97	5721	1110
marzo					
26-	San Gil	28	6.87	6120	1190
marzo					
27-	San Gil	31	6.97	6825	1310
marzo					
28-	San Gil	30	7.06	5354	1270
marzo					

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

29- marzo	Bolívar	20	6.17	3125	520
30- marzo	Bolívar	21	6.26	4024	470
31- marzo	Bolívar	20	6.17	3823	540

DIA: fecha del día tomada la prueba realizada por 9 horas

(desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm)

TEMP MAX: Temperatura máxima registrada del día

RADIACION: dato tomado de RadiacionSolar.es del alba hasta el ocaso

AGUA: Cantidad de agua purificada en todo el día

CALOR: cantidad de calor suministrada por radiación a la superficie del
potabilizador

Calor $Q_t = \sigma e A T^4$ Ec (1)

Constante Stefan $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [J/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K]}$

Boltzmann

Área $A = 0.1053 \text{ [m}^2\text{]}$

Temperatura $T = \text{[K]}$

Emisividad Acero $e = 0.14$

Inoxidable

5.2.4. *Proyección a la guajira*

Gracias a las pruebas en las distintas ciudades se logra identificar que la cantidad

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

de agua es dependiente a la temperatura máxima de la ciudad y la radiación solar que incide en el día por lo cual se realiza una linealización para obtener datos teóricos de que cantidad de agua se puede potabilizar en esta región

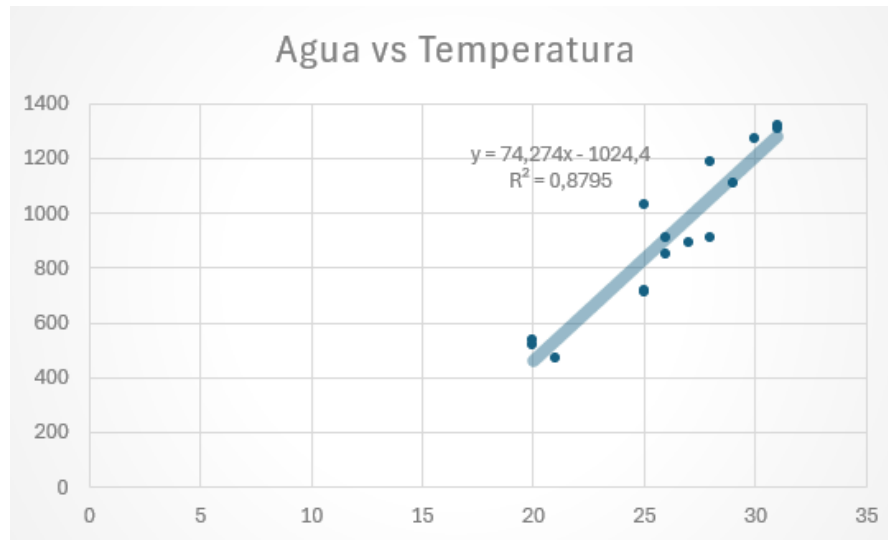


Figura 15. Distribución lineal agua vs. temperatura

Tabla 3. Proyección de datos en la Guajira

DIA	LUGAR	TEMP [°C]	CALOR [J/s]	RADIACION [J/s m ²]	AGUA [ml]
1-abril-2024	Uribia	36	7.64	7125	1720
2-abril-2024	Uribia	36	7.64	6923	1680
3-abril-2024	Uribia	36	7.64	7082	1720
4-abril-2024	Uribia	35	7.54	7325	1750
5-abril-2024	Uribia	35	7.54	3968	1620
6-abril-2024	Uribia	36	7.64	5768	1680
7-abril-2024	Uribia	36	7.64	7025	1680
8-abril-2024	Uribia	33	7.34	1800	1500
9-abril-2024	Uribia	35 °C	7.54	6520	1650

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

10-abril-2024 Uribia 35 °C 7.54 3965 1620

5.2.5. Costos

Como se trata de un proyecto de carácter social solo se tienen en cuenta el costo de los materiales y el costo de cada uno de los profesionales que ayudaron a el montaje y funcionamiento de este prototipo potabilizador

Tabla 4. Materiales y costos

Articulo	Cantidad	Precio/U (COP)	Precio Total (COP)
Molde de aluminio rectangular	1	38.000	38.000
Vitrina de vidrio	1	60.000	60.000
Base de hierro	1	80.000	80.000
espejos	4	6.500	26.000
Tornillos con tuerca	20	500	10.000
silicona	1	20.000	20.000
Base de madera MDF para espejos	1	20.000	20.000
Empaque y recipiente recolección	1	10.000	10.000
TOTAL			264.000

Tabla 5. Costos de montaje por profesional

Profesional	horas	Precio/hr (COP)	Precio Total (COP)
Soldador	3	10.000	30.000

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

Vidriero	1	20.000	20.000
Estudiante	10	4.000	40.000
TOTAL			90.000

En total para producir un potabilizador a la fecha se necesita aproximadamente de 354.000 pesos colombianos combinando los materiales y la mano de obra.

5.3. Proyección y beneficios de este si se lleva a gran escala

Debido a la producción teórica de 1.5 litros diarios y un ser humano necesita mínimo de 2 litros se supone que la comunidad necesita de 230 potabilizadores para suplir la necesidad de esta comunidad por lo cual se realiza un flujo de caja para analizar la viabilidad de esta implementación.

5.3.1. Flujo de caja

Se realiza un flujo de caja a 4 años para ver qué tan viable es el proyecto implementado a esta población como datos fundamentales tenemos

- La inversión de los 230 potabilizadores con el montaje de este es de 81.5 Millones
- La cantidad de agua producida de estos es de 123.5 m³
- Eficiencia 75%
- Costo anual de suministros de agua mantenimiento es de 1.65 Millones COP
- Ganancias anuales por el suministro de agua es de 3.705 Millones COP

PROTOTIPO CAPAZ DE POTABILIZAR AGUA EN LA REGION DE LA GUAJIRA

Tabla 6. Flujo de caja proyectado a 4 años

AÑO	0	1	2	3	4
GANANCIAS					
Uso		3.705	3.705	3.705	3.705
Salvamento		0	0	0	8.15
TOTAL		3.705	3.705	3.705	11.855
OPERACION					
Gastos		1.65	1.65	1.65	1.65
Depreciación		20.375	20.375	20.375	20.375
TOTAL		22.025	22.025	22.025	22.025
EBITDA		(18.32)	(18.32)	(18.32)	(10.17)
Impuestos 35%		(6.412)	(6.412)	(6.412)	(3.5595)
Inversión	(81.5)				
FCN	(81.5)	2.055	2.055	2.055	10.205
Indicadores					
Tasa Oportunidad	28%		VPN		(73.86)
TIR	(37%)		CDT		92.095

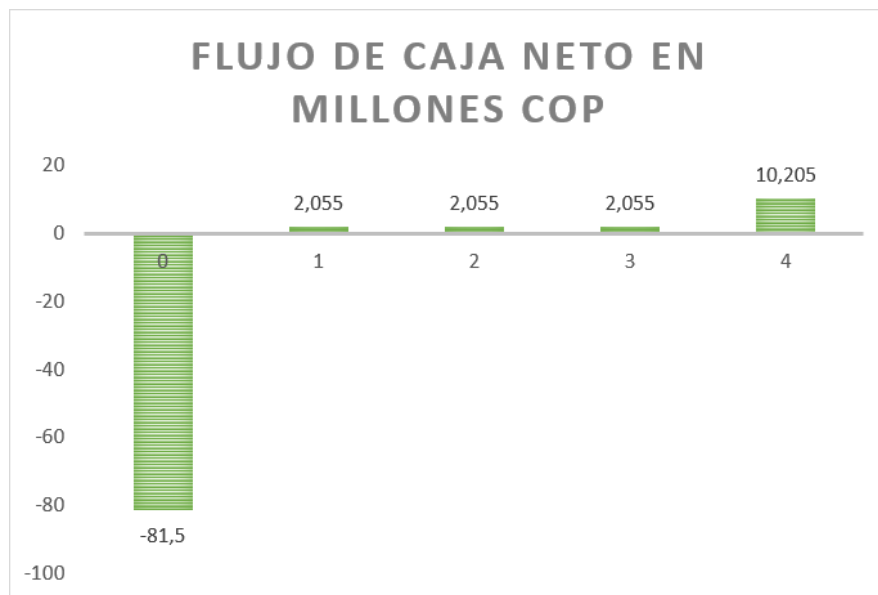


Figura 16. Flujo de caja neto

6. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el prototipo desarrollado tiene la capacidad de destilar aproximadamente 1 litro de agua por día, siendo su rendimiento altamente dependiente de las condiciones climáticas, especialmente de la radiación solar disponible. El sistema opera mediante la concentración de los rayos solares en la base del dispositivo, lo que facilita la evaporación y posterior condensación del agua.

Considerando que un individuo requiere en promedio 35 ml de agua por kilogramo de peso corporal diariamente, equivalente a aproximadamente 2 litros por persona, se concluye que se necesitarían al menos dos prototipos para satisfacer las necesidades hídricas básicas de una sola persona. En el contexto del resguardo wayuu, donde el abastecimiento debe cubrir a múltiples personas, la implementación de más de 300 prototipos resulta poco viable desde el punto de vista logístico y económico.

Por lo tanto, para cumplir con el objetivo de diseñar un sistema eficiente y escalable que pueda abastecer a comunidades numerosas, es necesario rediseñar el prototipo manteniendo sus principios básicos de funcionamiento, pero aumentando significativamente su capacidad de producción diaria de agua destilada. Este rediseño permitiría mejorar la viabilidad del proyecto y facilitar su implementación en escenarios comunitarios con alta demanda hídrica.

7. Recomendaciones

Es fundamental evaluar la calidad del agua de manera integral, incluyendo parámetros físicos, químicos y microbiológicos, para garantizar que el agua destinada al consumo humano sea segura y no represente riesgos para la salud. Por ello, los sistemas de potabilización deben incluir controles periódicos que aseguren la inocuidad del agua producida.

La tecnología para la potabilización del agua debe adaptarse a las condiciones locales, considerando la disponibilidad de recursos, el contexto socioeconómico y el nivel técnico de la comunidad. En este sentido, los sistemas de destilación solar son especialmente adecuados para zonas rurales o aisladas, debido a su bajo costo, uso de energía renovable y facilidad de mantenimiento.

Aunque los destiladores solares ofrecen una alternativa sostenible para obtener agua potable, presentan limitaciones en cuanto a la cantidad de agua producida y la calidad microbiológica del destilado. Por lo tanto, es necesario evaluar su capacidad para cubrir las necesidades básicas y, en algunos casos, complementar su uso con métodos adicionales para asegurar la potabilidad del agua.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, A., & Martínez, E. (2010). *Agua: un derecho humano fundamental*. Editorial Abya-Yala.
- Barreto Tejada, J. A. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.
- Bonet-Morón, J., Hahn-De-Castro, L. W., Hahn-De-Castro, L. W., & Bonet-Morón, J. (2017). La mortalidad y desnutrición infantil en La Guajira. *Documentos de trabajo sobre economía regional*, (255).
- Castrillón Forero, J. E., & Hincapié Zuluaga, D. A. (2012). Potabilizar Agua Con Energía Solar, Una Alternativa Para Las Comunidades Más Alejadas De Los Centros Urbanos (Making Drinking Water by Means of Solar Energy, an Alternative for the Most Remote Communities that are Far from Urban Centers). *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 4(6).
- Cortés Pinzón, H. E., & Mora Fajardo, L. M. (2015). Diseño de un sistema compacto de potabilización de agua para consumo humano en la granja la fortaleza ubicada en el municipio de Melgar-Tolima.
- Cruz Huaracha, C. L., & Delgado Jaquehua, M. J. (2023). Prototipo de obtención de agua a partir de la humedad atmosférica abastecido con energía solar fotovoltaica aplicado a embarcaciones de pesca artesanal.
- Daza-Daza, A. R., Rodríguez-Valencia, N., & Carabalí-Angola, A. (2018). El recurso agua en las comunidades indígenas wayuu de La Guajira Colombiana. Parte 1: una mirada desde los saberes y prácticas ancestrales. *Información tecnológica*, 29(6), 13-24.

De Colombia, C. P., & Bogotá, C. (1991). Recuperado de <http://pdba.georgetown.edu/Constitutions.Colombia/colombia91.pdf>.

Diego, P., & Molina Ramirez, A. (2020). *Destilador solar*

Fernández-Vargas, G. (2020). La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Latinoamérica. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2).

Garzón, J. G., & Gallego, R. G. (2013). Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población Wayuu en Nazareth corregimiento del municipio de Uribia, departamento de La Guajira-Colombia. *Universidad Nacional Abierta ya Distancia-UNAD, Bogotá*.

Gleick, P. H. (2007). El derecho humano al agua. *Economía exterior: estudios de la revista Política Exterior sobre la internacionalización de la economía española*, (41), 41-46.

Gutierrez Olaya, R. D., & Gutierrez Solis, J. D. (2023). Propuesta de diseño y viabilidad de uso de una Celda de Desalinización Microbiana para comunidades rurales del municipio de Riohacha.

Hermosillo-Villalobos, J. J. (1989). Destilación solar.

Hossain, M. A., et al. (2019). Desalination of seawater and brackish water by forward osmosis technique: A review. *Desalination*, 456, 19-43. Olaya

Khelif, C., & Touati, B. (n.d.). *Semi-empirical characterization of a greenhouse-ect cascades solar distiller*. www.elsevier.com/locate/renene

Marine Tech. (2020). *SolarImpulse Foundation*.

Mathioudakis, V. L., Kapagiannidis, A. G., Athanasoulia, E., Diamantis, V. I., Melidis, P.,

- & Aivasidis, A. (2009). Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants. *Desalination*, 248(1-3), 733-739.
- Mesa Sánchez, A., Mantilla Álvarez, M. A., & Aristizábal Palacio, M. E. (2023). *Sistema desalinizador solar que supla las necesidades básicas para el acceso de agua potable en zonas costeras* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).
- Minchala, E. D. C., Angamarca, S. P. C., Moscoso, M. S. P. D., & Larriva, M. W. G. (2020). Control de Calidad Física Química y Microbiológica del agua potable de la Comunidad Rural Sisid Anejo, Parroquia Ingapirca, Provincia del Cañar.
- Moncada Mesa, J., Pérez Muñoz, C., & Valencia Agudelo, G. D. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de economía*, 17(37), 125-159.
- Moreno, L. F. T. (2008). *El acceso al agua potable como derecho humano*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Omara, Z. M., Kabeel, A. E., & Younes, M. M. (2013). Enhancing the stepped solar still performance using internal reflectors. *Desalination*, 314, 67-72
- Otanedel-Craver, V. A., & Smith J. A. (2008). Sustainable colloidal-silver-impregnated ceramic filter for point-of-use water treatment. *Environmental science & technology*, 42(3), 927-933
- Puerta Silva, C. P. (2020). La crisis venezolana y la crisis alimentaria wayuu en Colombia. *Estudios Políticos*, (57), 92-114.
- Rincón-Lozano, W., & Córdoba-Mesa, W. A. (2017). Determinación de los factores de

mayoración para el consumo de agua potable en el municipio de Sibaté con respecto a los definidos en la resolución número 0330 del 8 de junio de 2017.

Rodríguez Miranda, J. P., García-Ubaque, C. A., & García-Ubaque, J. C. (2016). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de salud pública*, 18, 738-745.

Rodríguez, D. C. (2008). Potabilización del agua. *Madrid: EOI Escuela de Negocios*. Recuperado el, 15.

Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. *Boletín Electrónico [Internet]. [citado 2012 jun 16]*, 8, 1-12.