

LOS PROCESOS DE LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA MARINA PARA OBTENCIÓN
DEL AGUA POTABLE



NICOLAS URQUIJO VELASCO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

LOS PROCESOS DE LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA MARINA PARA OBTENCIÓN
DEL AGUA POTABLE

NICOLAS URQUIJO VELASCO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Mg. IVAN DARIO ACOSTA SABOGAL

Magister en Desarrollo Sostenible

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo García JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Luis Fernando DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre, mis abuelos por su constante apoyo, sabiduría y dedicación. Gracias a su amor incondicional, sus enseñanzas y su paciencia, he crecido y aprendido de manera significativa. Su influencia ha sido fundamental en mi vida, y les estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí. Sin su guía y apoyo, no sería la persona que soy hoy. ¡Gracias de todo corazón!

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi director Iván Darío Acosta Sabogal por el invaluable conocimiento que me ha brindado durante este tiempo. Su dedicación ha sido fundamental para mi desarrollo académico y personal. Gracias a su guía constante, he adquirido una comprensión más profunda en mi área de estudio y he crecido como estudiante y como persona. Su compromiso con mi éxito y su disposición para compartir su experiencia han sido inspiradores. Estoy verdaderamente agradecido por el privilegio de haber tenido la oportunidad de aprender bajo su dirección.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi directora Julieth Natalia García Solano por su inestimable guía y apoyo durante todo este tiempo. Su dedicación, paciencia y sabiduría han sido fundamentales en mi trayecto académico. Gracias a su orientación experta, he logrado superar desafíos, adquirir nuevos conocimientos y alcanzar metas que antes parecían inalcanzables. Su compromiso con mi crecimiento personal y profesional ha sido inspirador y motivador. Estoy profundamente agradecido por la oportunidad de aprender y crecer bajo su dirección. Su influencia dejará una huella imborrable en mi vida y carrera. ¡Gracias por todo!

Contenido

	Pág.
1. Resumen	8
2. Abstract	9
3. Glosario	10
4. Introducción.....	12
5. Formulación de problema.....	13
6. Objetivos	16
6.1. Objetivo general	16
6.2. Objetivos específicos.....	16
7. Justificación.....	17
8. Marco de Referencia	18
8.1. Marco Conceptual	18
8.2. Estado del Arte	18
9. Metodología.....	23
10. Descripción de etapas	24
10.1. Analizar los procesos de desalinización de agua marina para la obtención de agua potable en Colombia.	24
10.2. Investigar sobre las necesidades energéticas requeridas para llevar a cabo los procesos de desalinización en las zonas rurales de Colombia, teniendo en cuenta el uso de energías limpias renovables con la menor afectación al medio ambiente.....	33
10.2.1 Energías renovables	39
10.3. Estimar la razón costo/beneficio para la implementación de un sistema de desalinización para las zonas rurales.	46
10.4. Comparar los procesos de desalinización en operación y que eficiencia poseen.	60
11. Conclusiones	63
12. Bibliografía	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Etapas y posición del tipo de membrana	26
Tabla 2 Consumo en los diferentes métodos de desalinización.....	30
Tabla 3 Consumo de energía y capacidad de cada método	35
Tabla 4 Artículos hechos por tecnología	38
Tabla 5 Porcentaje de acceso en las regiones de Colombia.....	49
Tabla 6 Minerales extraídos en La Guajira.....	51
Tabla 7 Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010 ENSIN14.	52
Tabla 8 Clasificación de Nivel de Riesgo.....	54
Tabla 9 Costo de la Implementación de la planta desalinizadora.....	58
Tabla 10 Comparación entre Osmosis Inversa y Ultrafiltración	62

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Déficit Hídrico por Departamento.....	13
Figura 2 Desabastecimiento de agua.....	14
Figura 3 Metodología.....	23
Figura 4 Paso de zona 1 a zona 2.....	25
Figura 5 Paso de zona 2 a zona 1.....	25
Figura 6 Membrana de electrodiálisis.....	27
Figura 7 Ciclo de agua.....	28
Figura 8 Destilador tipo Caseta.....	31
Figura 9 Proceso de condensación.....	32
Figura 10 Popularidad de la desalinización.....	36
Figura 11 Popularidad de la desalinización por países.....	37
Figura 12 Proyección de la capacidad de las plantas desalinizadoras.....	38
Figura 13 Energía utilizada del Sol.....	40
Figura 14 Energía de corrientes marinas.....	42
Figura 15 Energía maremotérmica.....	43
Figura 16 Energía Undimotriz.....	43
Figura 17 Energía renovable y aplicación en desalinización.....	44
Figura 18 Sistema Fotovoltaico aplicado en planta.....	45
Figura 19 Cobertura de acueducto Regiones de Colombia.....	47
Figura 20 Proyección del acueducto en la región Caribe.....	48
Figura 21 Franjas en el desarrollo de la Región Caribe.....	50
Figura 22 Cantidad de metales extraídos en La Guajira.....	51
Figura 23 : (El Clima En Riohacha, El Tiempo Por Mes, Temperatura Promedio.....	53
Figura 24 Sistema de Osmosis Inversa.....	57

Resumen

La desalinización se presenta como una alternativa para mitigar las deficiencias de agua potable en zonas de difícil acceso, como utilizar las tecnologías para convertir el agua desalinizada como fuente principal de consumo y uso de las personas, diferentes naciones implantan estos proyectos que actualmente se encuentran en investigación; Como también se implementan los sistemas de energías renovables óptimos para ser utilizados junto a plantas de desalinización por ósmosis inversa que son actualmente las más utilizadas en los países que buscan su suministro de agua utilizando la desalinización, aplicando las nuevas tecnologías se crea un sistema de funcionamiento autónomo respecto al recargo de combustible y mitigando el impacto ambiental tanto en ecosistemas hídricos como aéreos. Los sistemas se implementan en zonas de difícil acceso y de igual manera zonas donde por diferentes situaciones sociopolíticas y geográficas generan un sistema deficiente en salubridad y constancia del suministro hídrico, creando un sistema propio de recolección de agua con los estándares óptimos para el consumo humano, aplicando los mejores métodos de costo/beneficio para crear un desarrollo sostenible para estas zonas rurales. El tener claro la diferencia entre los métodos que se operan en el mundo y lograr crear los sistemas que aprovechen de manera más eficiente, además de entender por qué la tecnología desalinizadora aporta un salvavidas a cada una de las regiones rurales necesitadas de un suministro constante de agua.

Palabras claves: Desalinización, Desarrollo, Ósmosis, Suministro.

Abstract

Desalination is presented as an alternative to mitigate the deficiencies of drinking water in areas of difficult access, such as using technologies to convert desalinated water as the main source of consumption and use of people, different nations implement these projects that are currently under investigation; As well as implementing the optimal renewable energy systems to be used in conjunction with reverse osmosis desalination plants that are currently the most used in countries seeking their water supply using desalination, applying new technologies creates a system of autonomous operation with respect to fuel refueling and mitigating the environmental impact on both water and air ecosystems. The systems are implemented in areas of difficult access and also in areas where different socio-political and geographical situations generate a deficient system in healthiness and constancy of water supply, creating a water collection system with optimal standards for human consumption, applying the best cost/benefit methods to create a sustainable development for these rural areas. To be clear about the difference between the methods that are operated in the world and to create the most efficient systems, as well as to understand why desalination technology provides a lifeline to each of the rural regions in need of a more efficient water supply.

Key Word : Desalination, Development, Osmosis, Supply

Glosario

Agua de Mar: Agua salada procedente de los océanos y mares, utilizada como fuente de entrada en los procesos de desalinización.

Capacidad de Producción: La cantidad de agua potable que una planta desalinizadora puede generar en un período de tiempo específico, determinada por el tamaño y la eficiencia de la instalación.

Concentración de Sal: La cantidad de sal presente en el agua de mar o salobre antes del proceso de desalinización, medida en partes por millón (ppm) o en porcentaje de salinidad.

Desalinización: Proceso mediante el cual se elimina la sal y otros minerales del agua de mar o agua salobre, convirtiéndola en agua potable o apta para otros usos.

Desalinización Térmica: Método de desalinización que utiliza calor para evaporar el agua y luego condensarla, separando así la sal y otras impurezas.

Eficiencia Energética: La relación entre la cantidad de energía utilizada en el proceso de desalinización y la cantidad de agua producida, medida en términos de energía por metro cúbico de agua (kWh/m³).

Huella Hídrica: La cantidad total de agua dulce utilizada en la producción de bienes o servicios, incluida la desalinización, medida en volumen de agua consumida y/o contaminada.

Impacto Ambiental: Los efectos positivos o negativos que la desalinización puede tener en el medio ambiente, incluyendo la alteración de ecosistemas marinos, la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de residuos.

Membrana de Ósmosis Inversa: Componente esencial de los sistemas de desalinización que permite el paso del agua mientras retiene las sales y otras impurezas.

Ósmosis: Proceso mediante el cual las moléculas de agua pasan a través de una membrana semipermeable desde una solución diluida hacia una solución más concentrada.

Ósmosis Inversa: Proceso de separación por membrana utilizado en la desalinización, en el cual el agua se fuerza a pasar a través de una membrana semipermeable para separarla de los iones de sal y otras impurezas.

Planta Desalinizadora: Instalación que utiliza tecnologías de desalinización para convertir el agua de mar o agua salobre en agua potable o apta para uso industrial o agrícola.

Pretratamiento: Procesos previos a la desalinización que incluyen la eliminación de sólidos suspendidos, materia orgánica y otras impurezas para proteger las membranas y mejorar la eficiencia del proceso.

Presión Osmótica: La presión necesaria para detener el flujo de agua a través de una membrana semipermeable durante el proceso de ósmosis inversa, determinada por la diferencia de concentración de solutos entre ambos lados de la membrana.

Rechazo de Membrana: La fracción de agua de mar que no pasa a través de la membrana durante el proceso de desalinización y se descarta como salmuera, generalmente con una concentración de sal más alta.

Introducción

El agua, recurso indispensable para la vida, es fundamental en numerosos aspectos biológicos, ecológicos y socioeconómicos. Su ausencia podría desencadenar problemas graves para todos los seres vivos. En primer lugar, el agua es esencial para el mantenimiento de los procesos biológicos básicos. El cuerpo humano está compuesto aproximadamente por un 60% de agua, subrayando su importancia en el transporte de nutrientes, la eliminación de desechos y la lubricación de las articulaciones. La deshidratación puede tener consecuencias graves, afectando la función cognitiva y física.

Este trabajo se enfoca en el problema de la escasez de agua potable en diversas regiones del mundo, particularmente en aquellas con limitaciones geográficas y geopolíticas que impiden un suministro constante de agua. Se plantea la pregunta de estudio: ¿Cómo puede la desalinización, especialmente mediante tecnologías de ósmosis inversa, ofrecer una solución sostenible y eficiente para satisfacer las necesidades de agua en estas áreas?

La investigación de la implementación de plantas de desalinización en zonas rurales y marginadas, evaluando su viabilidad técnica y económica. Se explorarán casos de estudio donde la desalinización ha sido adoptada con éxito, destacando las estrategias de integración con fuentes de energía renovable y los beneficios derivados de estas soluciones.

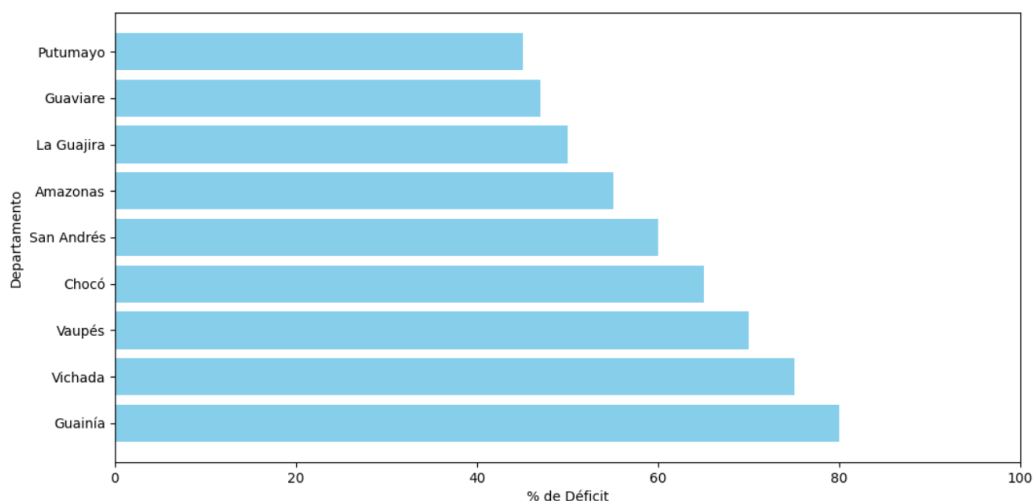
1 Formulación de problema

La falta de fuentes de agua dulce y/o potable para el consumo humano y de sus procesos productivos, se relaciona de manera directa con a la ubicación geográfica como en territorios continentales o insulares en los cuales no existen ni cuerpos de agua como ríos y/o drenajes, lagos, o fuentes de aguas subterráneas. En algunas regiones del mundo como por ejemplo San Andrés, (según Bonilla y Venera 2017), cuyo problema social en el aspecto hídrico se considera actualmente una calamidad pública, dado que desde 1991 se tenía proyecto el abastecimiento del 80% de las viviendas de la isla. El panorama actual se considera de un déficit de un 50%, de manera que la cobertura hídrica de la isla es no mayor a un 30 % de las viviendas, se considera las alternativas por los factores de costo de construcción, costo de producción y costo energético.

La Contraloría General de la República entregó un panorama preocupante sobre el acceso al agua en el país, resaltando que, pese a que Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica, el 11,1% de los hogares colombianos no tiene acceso al servicio de acueducto.

De acuerdo con el ente de control, además, nueve de los 32 departamentos tienen déficits superiores al 45% en la cobertura del servicio de acueducto de sus hogares: Putumayo, Guaviare, La Guajira, Amazonas, San Andrés, Chocó, Vaupés, Vichada y Guainía.

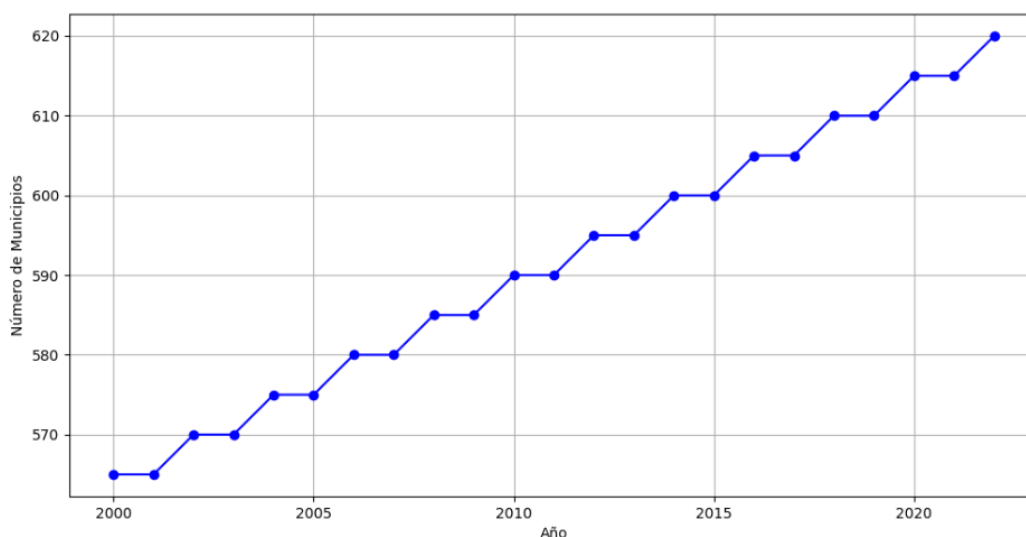
Figura 1 Déficit Hídrico por Departamento



Nota. Adaptado de. (Muneva,W, 2024)

"Durante los últimos 22 años, la mitad de los municipios de Colombia ha sufrido por desabastecimiento de agua, un aproximado de 565 municipios en 26 departamentos, lo cual implica que un poco más del 25% de la población carece de acceso adecuado al agua potable, sobre todo en la llamada Colombia rural" (Muneva,W, 2024)

Figura 2 Desabastecimiento de agua



Nota. Adaptado de. (Muneva,W, 2024)

1. Contaminación: Según (Núñez, 2011). No solo es la falta de agua potable, en lo que respecta, muchas de estas regiones poseen fuentes de agua dulce, pero estas mismas poseen diferentes elementos que determinan la impotabilidad de esta agua.

La turbiedad, intensidad de olores y colores, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, adsorción y desinfección. Todo proceso que muchas de estas regiones carecen. La misma agua dulce a la que tienen acceso no es apta para el consumo y uso humano. Según (Bautista, 2017) son los procesos que son necesarios para determinar la potabilidad del agua.

2. Acceso desigual: Es claro que no todas las naciones poseen un recurso hídrico en igualdad de condiciones que sus vecinos limitantes, aspectos que actualmente influyen directamente es el atractivo del recurso vital que las grandes potencias ven en el hemisferio sur, siendo ubicaciones estratégicas, las diferentes industrias transnacionales buscan el control de estas fuentes para un futuro proceso de privatización del recurso para América Latina. (Martin, 2015)

3. Conflictos internos y externos: Mencionado anteriormente las negociaciones internacionales crean una problemática en zonas del hemisferio sur, que es directamente proporcional a las complicaciones internas de estos estados a los que se les limita la cantidad y uso de este, propias regiones que comparten una misma fuente se enfrentan de manera política por el recurso vital. (Martin, 2015)
4. Infraestructura obsoleta: Los procesos de potabilización son específicos, métodos complejos que no toda región posee el mecanismo optimo, muchas de las potabilizadoras son importadas, como se hizo en la región de San Andrés y Providencia de una desalinizadora traída de Cancún, México. Según (Ministerio de Vivienda, 2021)

Abordar este problema requiere enfoques multidisciplinarios que incluyan la conservación de recursos hídricos, la mejora de la infraestructura, la gestión eficiente del uso del agua y la conciencia pública sobre la importancia de este recurso vital.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar los procesos de desalinización del agua marina con el fin de examinar su efectividad en la potabilización del agua para ser utilizada en el consumo humano y en el sector agropecuario

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Investigar los procesos de desalinización de agua marina para la priorizar su implementación en Colombia.
- ✓ Identificar las necesidades energéticas requeridas para llevar a cabo los procesos de desalinización en las zonas rurales de Colombia, teniendo en cuenta el uso de energías limpias renovables con la menor afectación al medio ambiente.
- ✓ Calcular la razón costo/beneficio para la implementación de un sistema de desalinización para las zonas rurales.
- ✓ Examinar los procesos de desalinización en operación y que eficiencia poseen.

3 Justificación

Los procesos de desalinización del agua a nivel mundial se han desarrollado notablemente en países que por su posición geográfica poseen una gran fuente de agua de mar, por ejemplo, en Colombia la Isla de San Andrés, el departamento de la Guajira, por su posición geográfica poseen diferentes problemáticas hídricas, asociadas al abastecimiento y al saneamiento básico. (Escobar, P, 2014) el agua potable es el problema social que más afecta a la población, puesto que su índice de cobertura corresponde al 83%, a diferencia del resto del país con una media de 92% de cobertura; además el departamento presenta una alta tasa de mortalidad materna y desnutrición, asociada a una posible propagación de enfermedades infecciosas.

El proyecto busca resolver la escasez a nivel mundial del agua, aplicando los procesos de desalinización conocidos y aplicados como la osmosis inversa y la tecnología por medio de membranas, esto conforme a la poca disponibilidad de agua en regiones costeras.

Los procesos de desalinización permitirían el abastecimiento de la demanda mínima en estas mismas regiones, donde las fuentes de agua superficial y subterránea no son suficientes, creando así, una independencia de las fuentes terrestres limitadas

En general no es cumplir con el abastecimiento de una demanda de agua potable en regiones que geográficamente no poseen acceso a grandes cantidades, sino que también busca la solución a las regiones cuyo acceso al agua potable no cumpla con las normativas pertinentes a los procesos de tratamiento. Según la revista (ABC, 2015) el 80% del agua residual en el país no recibe un tratamiento adecuado, por lo consiguiente el proceso de desalinización consiste en cumplir con la demanda de agua para estas regiones y que estas mismas cumplan con los lineamientos de la “Norma de calidad de agua potable” (Truque, 2023) Se concluye así que, todo ser humano debe tener acceso al recurso vital y de la misma que este se encuentre en los parámetros recomendados para el consumo y uso de los humanos.

4 Marco de Referencia

4.1 Marco Conceptual

El agua de mar, agua salada procedente de los océanos y mares, principal fuente para los procesos de desalinización, principal materia prima para proporcionar el recurso básico de agua potable; la capacidad de producción se determina como la capacidad que posee una planta desalinizadora de agua potable, utilizado como indicador de efectividad de operación de la planta instalada como la concentración de sal que presenta la fuente, influye directamente en los métodos para llevar a cabo la desalinización, la desalinización es el proceso que se encarga de eliminar sales y otros minerales para convertir el agua salobre en agua potable, donde se buscan objetivos como disminuir la huella hídrica que define la cantidad que se utiliza para desalinizar, de la misma manera que cantidad es consumida o contaminada; Al igual la eficiencia energética que es la relación entre agua producida y energía utilizada, e igual de importante el combustible para generar esta energía, el conocimiento de las nuevas membranas abren las puertas a la innovación para utilizar las tecnologías de ósmosis inversa que es el proceso de separación de membranas donde forzando el agua a pasar por estas membranas se separan las sales e impurezas, siendo actualmente la más utilizada y de mayor eficiencia alrededor del mundo, aunque de igual manera se manejan tecnologías menos eficientes por razones de costo y operación técnica, como lo es la desalinización térmica, que es el proceso de evaporación para condensarlo y así separando la sal y las impurezas.

4.2 Estado del Arte

Para el proceso analítico de la situación sobre el funcionamiento de una planta de tratamiento, Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca. (Bautista, 2015).

Datos obtenidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) mencionan las diferentes problemáticas sobre el tratamiento del agua, las cuales “provocan la muerte a cerca de 502.000 habitantes”, (Benavides, 2011) de acuerdo con el documento es la búsqueda insaciable de que cada habitante tenga acceso al agua, de igual manera que esta agua sea de calidad cumpliendo con los

parámetros determinados para ser considerada potable para el consumo y uso humano. Se desarrolla en 3 fases:

- Diagnóstico: Diagnóstico y verificación de la planta de tratamiento donde se esta sea capaz de almacenar y purificar satisfactoriamente el agua.
- Análisis: La información recolectada se manejará de manera técnica y comparada con diferentes antecedentes.
- Diseño de alternativas: Que opciones existen para el uso y mejora de calidad de agua.

Para este caso en particular en conclusión al diseño de alternativas se dan las siguientes opciones después de un análisis técnico:

- Diseño de unidad de floculación.
- Porcentaje de perdidas técnicas.
- Modificación difusora de cloro.

En la construcción hecha por una empresa encargada de utilizar unos de los procesos más conocidos el comenta, (Benavides, 2011) lo siguiente del método.

La osmosis inversa es el proceso que permite eliminar y purificar la contaminación de líquidos, en este caso el agua, los proceso mediante el uso de presión para forzar que las moléculas de agua pasen a través de la membrana semipermeable. Esta es la técnica mayormente utilizada por la separación de 95% de las sales de aguas residuales, además de los diferentes elementos que no permiten la potabilidad del agua.

El diseño de plantas de tratamientos que, por medio de osmosis inversa, este proceso capaz de generar una producción de agua ultrapura no muy alta, todo proceso es mecanizado y de manera autónoma, existen procesos donde deben actuar un operador capacitado.

La necesidad de que los procesos de las plantas de tratamiento actualmente existentes sean completamente automatizados, los procesos de desalinización por osmosis inversa se han caracterizado por alto costo respecto al tiempo por el constante factor del operario y de la empresa. La automatización de los procesos se podría considerar directamente proporcional a la producción de agua potable, de la misma manera no dejar los medios para cumplir la meta a un lado, que se quiere decir con esto, que el desarrollo debe cumplir con un límite de costo, una estabilidad del mercado, una evaluación medio ambiental y la opinión pública.

Dicen (Grueso Domínguez, 2019) como las tecnologías de membrana pueden ser la solución de viabilidad más lógica para llevar a cabo los procesos de desalinización.

La disponibilidad del agua dulce es una problemática constante y acelerada, debido a diferentes factores que funcionan de manera directa e indirectamente proporcional a la cantidad de recurso vital, por ejemplo, la contaminación, el crecimiento poblacional, mal uso de esta, entre otros. El aprovechamiento del agua de mar para subsanar esta necesidad ha sido la alternativa más atractiva, puesto que se puede realizar por diferentes procesos y es económicamente viable. La recopilación de la información en este artículo se centra en los factores más importantes para llevar a cabo la desalinización del agua, como lo son la energía renovable, reducción de elementos químicos, alternativas e innovación en el uso de materiales, soluciones efectivas y rentables y una estabilidad económica para el usuario. Factores determinantes, por ser procesos mecánicos y energéticamente demandables; que reducen el uso de elementos químicos para purificar el agua sin tener que generar contaminación. Es así, que los materiales de membrana para estos procesos son el punto de atención que buscan obtener mayor eficiencia y rentabilidad salvaguardando los estándares de calidad para la potabilización y desalinización del agua.

Desde la fase de diseño de cualquier proyecto de recurso hídrico siempre se plantean cuáles son las estructuras que suplirán el abastecimiento de agua, en este caso, el proyecto denominado por (Bonilla y Venera, 2017); plantea una problemática de escasez del agua en región de San Andrés Colombia, diaria y continua, que a su vez afecta significativamente el turismo. Por ello se plantea el diseño de una planta de tratamiento de agua que a través de ósmosis inversa como principal proceso de desalinización y de un sistema de dosificación de antiincrustante, evitan la precipitación de sales. El diseño de la planta busca cumplir con los estándares actuales de procesos de desalinización locales y globales, mediante la ingeniería de concepto.

(Lopera, Fuentes y Rodríguez, 2020) dice que el mundo actualmente está en una constante presión, la realidad de que el agua es sinónimo de desarrollo lo demuestra cuando esta misma es quien restringe el avance de la sociedad, en la actualidad las fuentes convencionales ya no son una opción para la demanda de agua proyectada. Por qué en la actualidad la desalinización se ha convertido en un avance tan atractivo es por el desarrollo en la eficiencia, se revisan las tecnologías más conocidas: Ósmosis inversa, Destilación multiefectos y la evaporación multi etapa. Generando que las 3 variables como su costo tecnológico, costo energético y costo ambiental no sean afectadas de gran manera.

Las tecnologías para el desarrollo de la desalinización de agua es un constante, cuenta (Ospina, 2008), se describe el funcionamiento y optimización de la energía, aplicando la ósmosis

inversa con un sistema de membrana, a partir de la existencia de una presión determinada. Los resultados evidencian que la eficiencia energética, y el diseño cumplen con los requerimientos para un sistema de bombeo que sustituyen los sistemas actuales de bombeo que en la actualidad son más complejos, costosos y menos eficientes.

Los factores fundamentales para crear un diseño viable de tratamientos para una sociedad es lo que menciona (Moya, 1997), el aumento constante de la población y los cambios climáticos sufridos en las últimas décadas han creado un desbalance en la demanda de agua.

En el 2015 se hizo un estudio de los efectos del fenómeno del Niño, en donde los autores intentaron representar la deficiencia en el sistema hídrico (León, 2017) llevando a cabo el análisis sobre la variabilidad climática y como está perturba los sectores económicos de manera directa para los procesos de potabilidad de agua. Con los datos arrojados por los autores se encontró una reducción de 20% en el volumen del agua, lo cual fue inversamente proporcional al costo de energía.

La desalinización es la solución en las regiones costeras. Geográficamente Chile es un país con un territorio para generar la viabilidad de un proyecto de tratamientos desalinización. (Morales, 2017) demuestra lo atractivo de la obtención de agua de mar, sin embargo, la viabilidad económica para un país en proceso de crecimiento económico no lo es tanto. Al relacionar las energías renovables (eólica, fotovoltaica) se debe crear un entorno económicamente viable, y generar un estudio técnico económico para el desarrollo sostenible de las regiones que carecen del recurso vital.

La mayor problemática respecto la desalinización por osmosis inversa es la energía. El balance entre obtener agua potable y ser energéticamente viable no es homogéneo. Una de las propuestas diferentes y actualmente tomadas en cuenta es la energía nuclear, (Zúñiga et al, 2005) indican que esta opción es la más atractiva teniendo en cuenta la creciente escasez del agua potable. La energía nuclear ha sido investigada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se pueden generar diversidad de opciones para explotar el agua salada sin detener el desarrollo por alto costo energético.

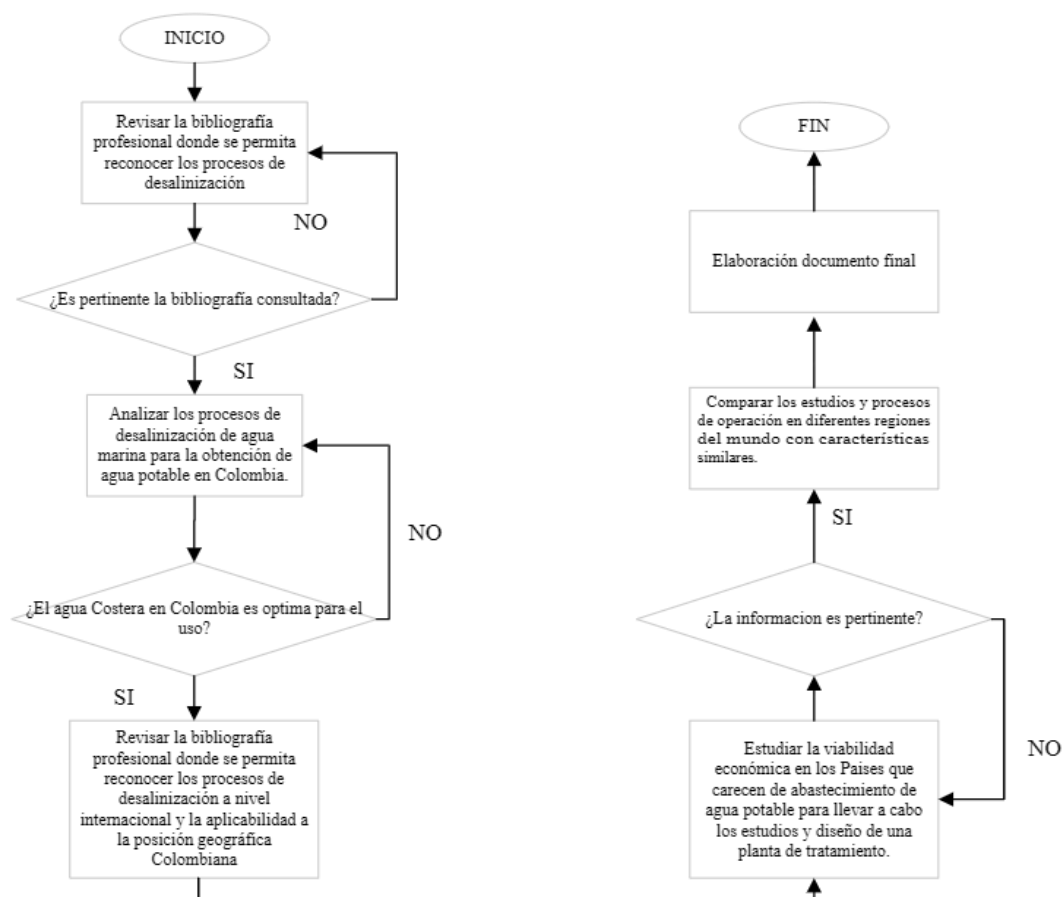
El porcentaje de agua dulce respecto a la cantidad total del agua en el planeta es de apenas el 3%. El proceso de desalinización del agua de mar mediante un sistema de osmosis inversa requiere de muy alta conversión en tres etapas, con recirculación de permeado y doble sistema de recuperación de energía. El constante agotamiento de las fuentes principales como acuíferos,

fuentes subterráneas y el incremento de la población solamente son el detonante de una escasez inminente. La tendencia a obtener el volumen de agua necesario por desalinización es cada vez más predominante como el método principal de osmosis inversa. En el desarrollo los avances en los principales objetivos, requiere la eficiencia eléctrica, y la eficiencia en el proceso de rechazo de las sales por medio de las membranas. La tesis propone la conversión del 60% con valores de potabilidad total y parámetros inferiores a los máximos permitidos (García, 2015).

5 Metodología

En este estudio, se adoptará una metodología cualitativa para investigar el proceso de desalinización, con el objetivo de comprender en profundidad los factores que influyen en su implementación y eficacia. Esta metodología se centrará en la recolección y análisis de datos no cuantitativos, permitiendo explorar las percepciones, experiencias y opiniones de los diversos actores involucrados en el proceso de desalinización, incluyendo ingenieros, gestores de recursos hídricos, y comunidades locales. Se utilizarán técnicas como entrevistas semiestructuradas, grupos focales y análisis de contenido de documentos relevantes para obtener una visión holística y contextualizada de los desafíos y oportunidades asociados con la desalinización. La elección de un enfoque cualitativo se basa en la necesidad de captar la complejidad y las dinámicas sociales que no pueden ser adecuadamente reflejadas mediante métodos cuantitativos, proporcionando así una comprensión más rica y detallada del tema en estudio.

Figura 3 Metodología



6 Descripción de etapas

6.1 Analizar los procesos de desalinización de agua marina para la obtención de agua potable en Colombia

La membrana más comúnmente utilizada en la desalinización del agua es la de ósmosis inversa, la cual consiste en una membrana semipermeable para eliminar las sales y otros contaminantes del agua de mar o agua salobre, produciendo agua dulce. Existen otros tipos de membranas utilizadas en procesos de desalinización, cada una tiene sus propias ventajas y desventajas, y su elección depende de factores como la calidad del agua de alimentación, la eficiencia energética y los costos, por ejemplo:

- Membranas de electrodiálisis: Emplean campos eléctricos para transportar iones a través de membranas selectivas, separando las sales del agua.
- Membranas de nanofiltración: Son similares a las de ósmosis inversa, pero permiten pasar iones divalentes, reteniendo los monovalentes y otros contaminantes.
- Membranas de destilación por membrana: Utilizan diferencias de temperatura y presión para destilar agua pura a través de una membrana.

El proceso de desalinización es la eliminación de la sal y diferentes minerales del agua de mar. es un proceso que generalmente se lleva a cabo en regiones con dificultades geográficas para la obtención de agua potable, los métodos más conocidos son la osmosis inversa y la destilación, este último el más costoso en tiempo, y mayormente utilizado en comunidades de bajos recursos.

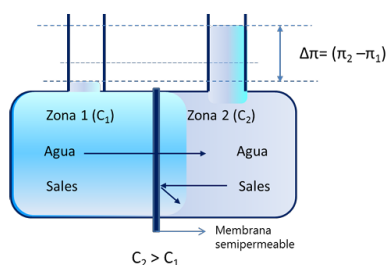
La osmosis inversa para analizar el agua salobre, según (Ospina, 2008) , atractivo por el su bajo costo energético a diferencias de procesos manejados en las costas, en proceso de osmosis inversa se basa en la aplicación de una membrana semipermeable, se define como la separación de dos soluciones de distinta concentración, la presión osmótica que se define como la fuerza o presión que se aplica para evitar el paso del agua al interior, y de esta manera se entiende la osmosis inversa. (Acura, 2023), donde después de este mismo genera dos flujos de agua, donde uno posee una salinidad alta, y la otra de menor, la cual la de menor nivel salino definimos como agua dulce.

La osmosis es en donde la posición de la membrana separa las dos soluciones, el proceso en la zona 1 se le ejerce la presión osmótica (Acura, 2023) donde la dicha membrana deja el paso del agua y obstruye el paso de los sólidos, el constante paso del agua igualara la presión que tiende

a difundir el agua de la zona 1 a la zona 2 por una columna de agua, y esto es conocido como osmosis.

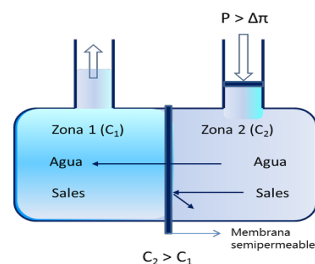
En el caso de la salación del agua, por la alta concentración de sólidos del agua, el proceso se debe invertir, la presión osmótica se debe aplicar en la zona 2, de manera que esta presión sea mayor a la diferencia de presiones, a este proceso se le denomina osmosis inversa. (García, 2015)

Figura 4 Paso de zona 1 a zona 2



Nota. Adaptado de. (García, 2015)

Figura 5 Paso de zona 2 a zona 1



Nota. Adaptado de. (García, 2015)

El proceso de osmosis inversa por membranas se podría separar en tres etapas, los procesos corresponden a una metodología distinta, el cual se lleva a cabo aplicando un tipo de membrana diferente en cada una de ellas de manera, y cada membrana se aplicarán datos diferentes.

- 1- Membrana de alto rechazo a sales: Se enfoca en el alto rechazo al boro de manera que de un solo proceso se elimine dicho elemento, dicha membrana funciona con las características de las diferentes membranas en condiciones similares y esta misma permite el aumento de permeabilidad.
- 2- Membrana de alto rechazo a sales y baja energía: Permite un rechazo moderado, de manera que existe resultados adecuados para el proceso, trabaja con presiones inferiores a la membrana de etapa uno, por lo consiguiente de que su rechazo sea inferior, esta depende de una presión mayor proporcionada por una bomba elevadora de presión.
- 3- Membrana de ultra baja energía sin rechazo a sales: posee la ventaja de trabajar a presiones muy bajas, con alto nivel de salinidad, pero inferior a la salinidad del agua de mar, la etapa tres es absueltas de energía, conocida por ser de ultra baja energía, es capaz de ser alimentada por la energía de la etapa anterior.

Tabla 1 *Etapas y posición del tipo de membrana*

Posición	Tipo de Membrana	Caudal de permeado m ³ /d)	Rechazo de sales estabilizado	Denominación
Etapas 1	Membrana de alto rechazo de sales	25	99,82%	SW30-XHR-440I
Etapas 2	Membrana de alto rechazo de sales y baja energía	37,5	99,80%	SW30-XLE-440I
Etapas 3	Membrana de ultra baja energía	45,4	99,70%	SW30-ULE-440I

Nota. Adaptado de. (García, 2015)

Respecto al tema de la aplicación de Osmosis Inversa en zonas rurales de Colombia, especialmente en la alta Guajira, donde no se presenta sistema de acueducto y conexión de energía eléctrica que a su vez limita la aplicación diferentes métodos para la obtención de agua potable de mayor o menor costo energético. La viabilidad económica de diseñar una planta de desalinización en La Guajira, Colombia, se ve comprometida por diversos factores. En primer lugar, los altos costos de construcción y operación de estas instalaciones podrían exceder los beneficios a corto plazo, dada la situación económica de la región y la limitada disponibilidad de fuentes de financiamiento. Además, la demanda de agua desalinizada podría no ser lo suficientemente alta para justificar la inversión, lo que a su vez aunado a factores climáticos y necesidad de infraestructuras adicionales podrían afectar la rentabilidad, sugiriendo otras soluciones hídricas de menor inversión como solución viable en el contexto actual. (Ospina, 2008)

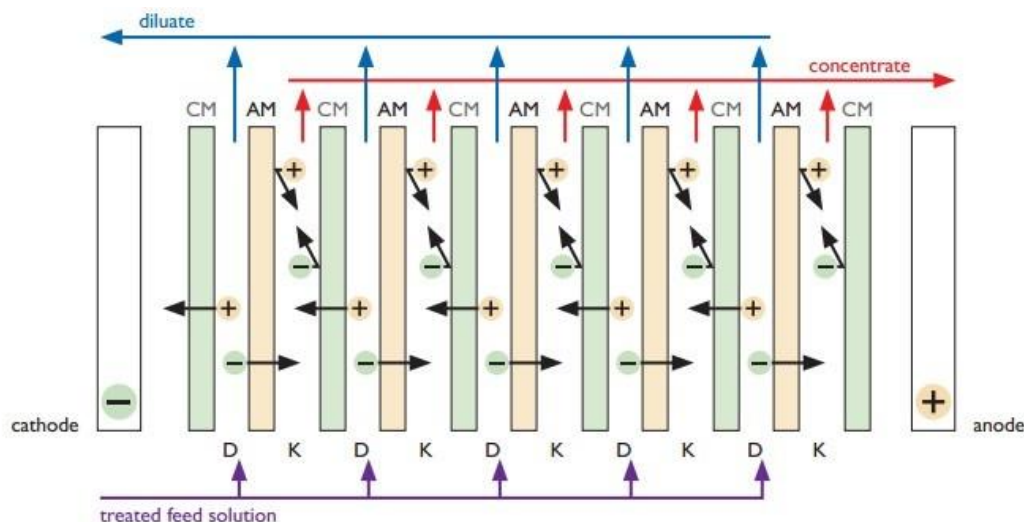
Los requisitos de la membrana de ósmosis inversa para desalinizar agua de mar y operar con el menor consumo de energía posible consiste en una presión máxima de 5.5 MPa (800 psi) y un flujo de entrada a la membrana de 3.78 L/min (1 G.p.m); así pues, se busca proporcionar un pequeño flujo a una alta presión, a través de un sistema de bombeo especial. Este sistema de bombeo utiliza una bomba de desplazamiento positivo y recíproco de baja velocidad, con un largo recorrido y acción simple y doble efecto. La bomba está impulsada por un motor eléctrico con una potencia nominal de 745 W (1 hp) a una velocidad de 1,750 rpm. El motor está acoplado a un ciclo reductor con una relación de 87:1, lo que resulta en una velocidad de operación de la bomba de 0.33 rps (20 rpm) y un par máximo de 335 Nm.s (Ospina, 2008). Un mecanismo de biela manivela convierte el movimiento rotativo en un movimiento lineal recíproco en el vástago. La bomba de

acción simple con doble efecto aprovecha todo el recorrido del pistón en la cámara de bombeo, lo que permite entregar el mismo flujo con equipos más pequeños y menores fuerzas aplicadas, manteniendo la misma presión de operación. (Ospina, 2008). Solucionando el problema constructivo o de costo, la viabilidad de usar una bomba de osmosis inversa para generar agua potable para la zona de guajira ya sea utilizando componentes importados de países con avance en estos métodos o aplicar la tecnología con procedimientos más sencillos para un menor costo con la cual se pueda suplir la necesidad hídrica de la zona, como también el mantenimiento de esta sea de costo inferior a maquinaria comercial. (Ospina, 2008)

6.1.1 Membranas de electrodiálisis:

Consiste en generar un campo magnético con dos tipos de membranas con características de iones positivos y la otra de iones negativos, El proceso de electrodiálisis se lleva a cabo en una serie de celdas o compartimentos separados por estas membranas selectivas de iones. Cuando se aplica una corriente eléctrica, los iones son atraídos hacia las membranas con carga opuesta. Como resultado, los iones positivos se desplazan hacia las membranas catiónicas y los iones negativos hacia las membranas aniónicas.

Figura 6 Membrana de electrodiálisis



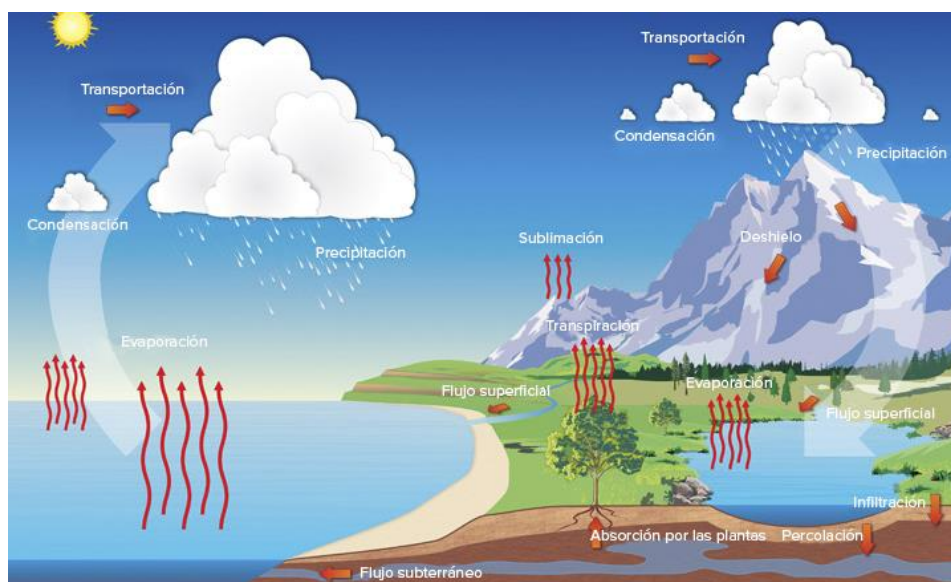
Nota. Adaptado de. (Introducción Al Proceso De Electrodiálisis | Tapiero, Y, 2019.)

Una variante innovadora de este proceso implica la alteración periódica de la polaridad de los ánodos y cátodos varias veces cada hora. Este método, conocido como Electrodiálisis Reversible, ofrece una solución eficaz para prevenir el ensuciamiento de las membranas debido al paso de iones. Al cambiar la polaridad de manera regular, se promueve la disolución y eliminación de los depósitos acumulados en las membranas, lo que ayuda a mantener su eficiencia y prolongar su vida útil. Esta técnica avanzada optimiza el rendimiento del proceso de tratamiento de agua, garantizando una mayor calidad y pureza del agua tratada. (García, 2015)

6.2 Desalinización por medio de destilación solar

El ciclo hidrológico del agua inicia a través de la destilación solar se produce a partir del ciclo del agua, el cual inicia con las precipitaciones, que alimentan los cuerpos hídricos existentes que a su vez desembocan en el mar, el cual posteriormente absorbe la radiación solar, que se evapora por encima de la superficie mezclándose por el viento. Cuando el vapor llega al punto de rocío, se produce la condensación, el cual permite la caída de agua dulce. Es así como se puede realizar una comparación a menor escala del proceso de desalinización del agua por medio de la destilación, que se ha convertido en una solución transitoria para la humanidad para la escasez de agua potable. (Lara, 2022)

Figura 7 Ciclo de agua



Nota. Adaptado de. El ciclo del agua de NOAA National Weather Service Jetstream, CC BY 2.0

La destilación del agua de mar es una técnica que ha sido aplicada por el ser humano durante siglos para obtener agua dulce a partir del agua de mar. Históricamente, se han utilizado métodos de destilación simples, como la evaporación natural y la recolección de vapor, en situaciones de alta escasez. Las tres problemáticas que determinan la utilización de la destilación de agua.

- Escasez de agua dulce
- Alto consumo de energía fósil
- Daño ambiental debido a la emisión de gases.

Es un método eficaz para obtener agua dulce, pero requiere una cantidad significativa de energía para calentar el agua y evaporarla. Por lo tanto, su aplicación está limitada por la disponibilidad de energía y los costos asociados. En la actualidad siguen los estudios para disminuir los costes de la desalinización, la utilización de diferentes fuentes de energía es el centro de investigación, energías renovables, energía nuclear, entre otros.

México posee un gran sistema de instalaciones para la desalinización, pero por su alto costo de mantenimiento, donde el 22% de estas no están en operación. Las plantas de desalinización se ubican en posiciones geográficas costeras, por ejemplo, Quintana Roo posee el 44% de plantas a nivel nacional. (Trujillo, 2011)

La principal fuente de energía para la producción el agua destilada, es de origen fósil, y posteriormente generando los dos grandes inconvenientes antes mencionados.

La tabla 2 proporciona una comparación detallada entre distintos métodos de desalinización de agua, evaluando aspectos clave como el tipo de energía utilizado, el consumo energético, el costo de instalación, la capacidad de producción y otros factores relevantes. Uno de los métodos destacados en esta comparativa es la ósmosis inversa (OI), un proceso de desalinización que utiliza energía eléctrica para forzar el paso del agua a través de una membrana, eliminando la sal y otras impurezas.

La ósmosis inversa se destaca en varios aspectos, siendo una de las alternativas más eficientes y versátiles. En comparación con otros métodos, la OI presenta consumos energéticos más bajos, costos de instalación moderados, y una capacidad de producción significativa. Además, la calidad del agua desalada es alta, con bajos niveles de partículas por millón (PPM). También es importante destacar su capacidad para ser ampliada fácilmente, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades cambiantes.

Estos atributos hacen que la ósmosis inversa sea una opción atractiva y eficiente para la desalinización de agua, especialmente en comparación con otras tecnologías presentes en la tabla. La continua mejora y refinamiento de la ósmosis inversa refuerzan su posición como una solución líder en el suministro de agua potable a partir de fuentes salinas.

En la siguiente tabla 2 se valoran las diferentes alternativas de fuentes de energía y tipos de desalinización para el uso comercial. (Trujillo, 2011)

Tabla 2 Consumo en los diferentes métodos de desalinización

Características	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo de energía	Térmica	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	Alto >200	Alto/medio 150-200	Medio 100-150	Bajo >80	Bajo >30
Consumo de energía eléctrica kWh/m³	3.5-4.0	1.5-2.0	9.0-11.0	2.4-4.5	1.0-2.0
Costo de instalación	Alta	Alto/medio	Alto	Medio	Medio
Capacidad de producción (m³/d)	Alta >50.000	Media <20.000	Baja <5.000	Alta >50.000	Media <30.000
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
Desalación de agua de mar	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Calidad de agua desalada PPM	Alta <50	Alta <50	Alta <50	Media 300-500	Media <300
Superficie de terreno requerida de instalación	Mucha	Media	Poca	Poca	Poca
Costo USD/m³ tratado	1.14-1.68	0.83-1.115	0.63-0.86	0.32-0.61	0.17-0.32
Costo USD/m³ plantas pequeñas		1.28-2.16		1.1-1.8	

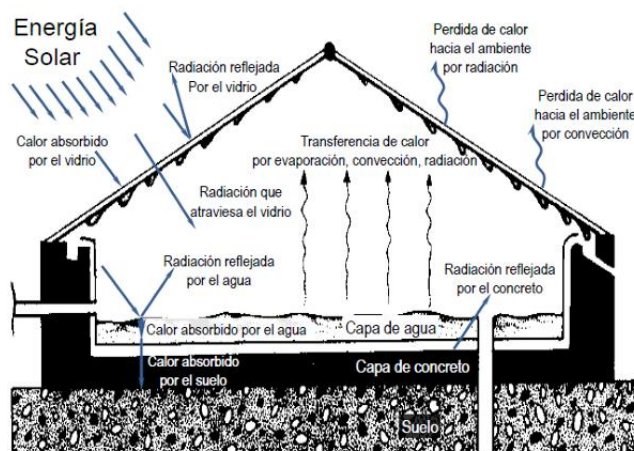
Nota. Adaptado de. (Trujillo, 2011)

En la tabla 2 se determinan las diferencias y características puntuales de cada uno de los métodos para la desalinización y su consumo tanto energético como temporal, el costo de cada uno de los métodos no refleja la eficiencia de cada uno y que la posibilidad ampliación para cada uno de estos no son viables para un aumento significativo del agua tratada donde su proceso de ampliación va directamente proporcional a la superficie de terreno requerida en la cual la viabilidad de la osmosis inversa es de mayor eficiencia y factibilidad para la aplicación de los procesos de desalinización en Colombia

Generalmente la desalinización por el uso de destiladores genera grandes inversiones iniciales, y paralelamente un menor costo en operación y mantenimiento. La energía solar siendo el principal combustible, es una energía variable puesto que, si no hay sol, la energía es nula y por ende la investigación sobre el aumento de la producción junto con la temperatura y el proceso en operación no determinara la cantidad de radiación solar requerida. Entre los diferentes tipos de destiladores solares se encuentran los siguientes:

- Destilador tipo caseta o convencional: Funcionamiento bajo el principio del ciclo hidrológico, es un recipiente de diseño tipo casa, por dos cristales que funcionan tan como paredes como techo.

Figura 8 Destilador tipo Caseta



Nota. Adaptado de. (Trujillo, 2011)

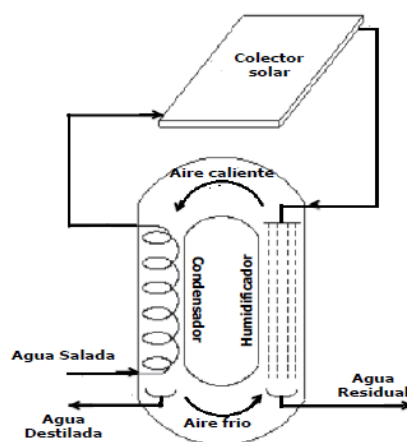
El sistema generalmente consta de un sistema de cristales con inclinación previamente determinadas, enfocados a zonas de recolección. Los cristales deben generar la humedad condensando el agua en su interior, creando el fenómeno de rocío, este fenómeno se presenta en la superficie por la diferencia de temperatura de los cuerpos a la temperatura de la atmosfera libre. La humedad en el interior se convierte en agua condensada, la cual denominada agua pura proveniente de la atmosfera y libre de patógenos, esta misma es conducida hacia los contenedores donde se finaliza el proceso de destilación convencional. La productividad al no ser constante no es mayor a 3 litros por metro cuadrado, por lo que en cuanto a la inversión la viabilidad no es óptima respecto a la escasez de agua en regiones con alto nivel poblacional. (Trujillo, 2011)

6.2.1 Destilador por humidificación

La opción del aire como fluido de trabajo es el método trabajado en la humidificación, funciona con un principio de difusión de masas que se define como el desplazamiento de moléculas individuales a través de un fluido debido a sus movimientos desordenados. El ciclo de humidificación-deshumidificación consta de dos componentes esenciales: el evaporador y el condensador. En el evaporador, el aire seco se pone en contacto con el agua salina caliente, lo que provoca que el aire se sature con vapor de agua y, por lo tanto, se humedezca. Luego, este aire humidificado se transporta hacia el condensador. (Trujillo, 2011)

En el condensador, el aire humidificado se enfría, lo que conduce a la condensación del vapor de agua, liberando así agua dulce. Como resultado, el aire se deshumidifica y se vuelve seco nuevamente. Este aire deshumidificado se recicla para volver al evaporador y repetir el ciclo.

Figura 9 Proceso de condensación



Nota. Adaptado de. (Trujillo, 2011)

La combinación del evaporador y el condensador en este proceso se conoce como un "ciclo de humectación", ya que el flujo de aire se ve sometido a una alternancia entre la humectación en el evaporador y la deshumidificación en el condensador. Este ciclo continuo permite la separación efectiva de la sal del agua y la obtención de agua dulce. De lo anterior mencionado se debe destacar que las diferentes alternativas para la desalinización por medio de la energía solar, el principio de humidificación es una de opciones más prometedoras y creando los procesos necesarios para la

conservación del estado térmico para generar una independencia al estado constante de la radiación solar durante tiempo prolongados donde la misma no esté presente. (Trujillo, 2011)

La Desalinización en Colombia trabaja en sintonía con la utilización de energías renovables para generar un ecosistema sustentable para ser utilizado en zonas rurales específicas que cumplan con características para la optimización de procesos renovables y procesos de desalinización donde los gobiernos focalizan los fondos para la problemática rural. La energía destinada a zonas rurales cumple dos grandes roles, en el sustento agrícola y el servicio para la población. (Trujillo, 2011)

a. Investigar sobre las necesidades energéticas requeridas para llevar a cabo los procesos de desalinización en las zonas rurales de Colombia, teniendo en cuenta el uso de energías limpias renovables con la menor afectación al medio ambiente.

La desalinización es la alternativa más atractiva para la cumplir con las necesidades hídricas de zonas con dificultad para la obtención del recurso vital. No obstante, en el contexto colombiano, los desafíos económicos asociados con los costos de impulsión desde las áreas costeras hasta las ubicaciones de las operaciones, en su mayoría situadas a altitudes superiores a los 2.000 metros sobre el nivel del mar se destacan como consideraciones significativas al emprender proyectos de desalinización de gran envergadura.

El director de la Comisión de Estudios de Investigación y Tecnología del Agua en Zonas Áridas (Ceitsaza) (Galindo, 2024) señala que, en el proceso de desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa, los gastos vinculados al consumo de energía constituyen aproximadamente un tercio del costo total del procedimiento. Además, destaca que los sistemas de intercambio de presión tienen la capacidad de recuperar hasta un 90% de la energía residual contenida en el agua de rechazo (salmuera). Este hecho implica un ahorro energético de hasta el 50%, generando consiguientemente una reducción en los costos operativos asociados al proceso.

El costo de impulsión en proyectos de desalinización presenta desafíos notables, la búsqueda de alternativas eficientes en el uso de energía se convierte en un aspecto crucial. Explorar opciones que mitiguen los impactos económicos y ambientales se vuelve esencial. En este sentido, la investigación y desarrollo de tecnologías energéticas sostenibles, como la integración de fuentes renovables o mejoras en la eficiencia de procesos, emerge como una estrategia clave para optimizar la viabilidad económica y ambiental de proyectos de desalinización en Colombia. La

implementación de sistemas innovadores podría no solo reducir los costos operativos asociados con la energía, sino también contribuir al desarrollo sostenible del sector de agua en el país.

Energía nuclear. La fisión nuclear es actualmente el método preponderante a nivel mundial para la generación de electricidad a partir de la energía nuclear. Este proceso, que implica la división del núcleo de átomos pesados como el uranio, produce una liberación significativa de energía en forma de calor y radiación. Esta energía térmica resultante se utiliza para generar vapor, que a su vez impulsa turbinas conectadas a generadores eléctricos, convirtiendo finalmente la energía nuclear en electricidad. (Galindo, 2024)

Aunque la fisión nuclear ha demostrado ser una fuente de energía eficiente y sostenible en términos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, también plantea desafíos considerables en relación con la gestión segura de los residuos radiactivos y la prevención de posibles accidentes nucleares. La tecnología de fusión nuclear, en cambio, está en una fase de Investigación y Desarrollo (I+D). A diferencia de la fisión, la fusión nuclear busca replicar el proceso que alimenta al sol, fusionando núcleos ligeros para liberar energía. Aunque la fusión nuclear ofrece la promesa de ser más segura y generar menos residuos que la fisión, aún enfrenta desafíos técnicos significativos, y su implementación a escala comercial sigue siendo un objetivo de largo plazo. (Galindo, 2024)

En este artículo, se examinará más detenidamente la fisión nuclear, explorando sus beneficios, desafíos y su papel actual en la matriz energética global. También se destacarán los avances y las investigaciones relacionadas con la fusión nuclear, delineando el potencial que esta tecnología podría tener en el futuro de la generación de energía. (Galindo, 2024)

La fisión nuclear es cuando el centro de un átomo se divide en partes más pequeñas, liberando energía al mismo tiempo. Por ejemplo, si un neutrón choca con el centro de un átomo de uranio 235, el átomo se divide en dos partes más pequeñas, como un núcleo de bario y otro de criptón, y también se sueltan dos o tres neutrones. Estos neutrones golpearán otros átomos de uranio 235 cercanos, haciéndolos dividirse y liberar más neutrones, creando una cadena de reacciones en un instante.

Cada vez que esto sucede, se libera energía en forma de calor y radiación. Este calor se puede convertir en electricidad en una central nuclear, de manera similar a cómo se genera electricidad a partir del calor de combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo.

El término desalinización nuclear denominado por el uso de energía atómica para el funcionamiento de las instalaciones, la fuente de energía principal es este mismo generador, la energía proporcionada por el mismo puede ser eléctrica o térmica. La instalación puede centrarse exclusivamente en la producción de agua potable, o también puede emplearse para generar electricidad y producir agua potable, utilizando solo una fracción del suministro total de energía del reactor para la producción de agua. En ambos casos, el concepto de desalinización nuclear se interpreta como una instalación integrada, donde tanto el reactor como el sistema de desalinización se encuentran en un emplazamiento común, y la energía necesaria para el sistema de desalinización se genera en el mismo lugar. Este enfoque integral busca optimizar la eficiencia y la sinergia entre la generación de energía y la producción de agua potable, ofreciendo una solución más eficaz y sostenible en la gestión de recursos y la mitigación del impacto ambiental. (Zúñiga et al. 2005)

Tabla 3 Consumo de energía y capacidad de cada método

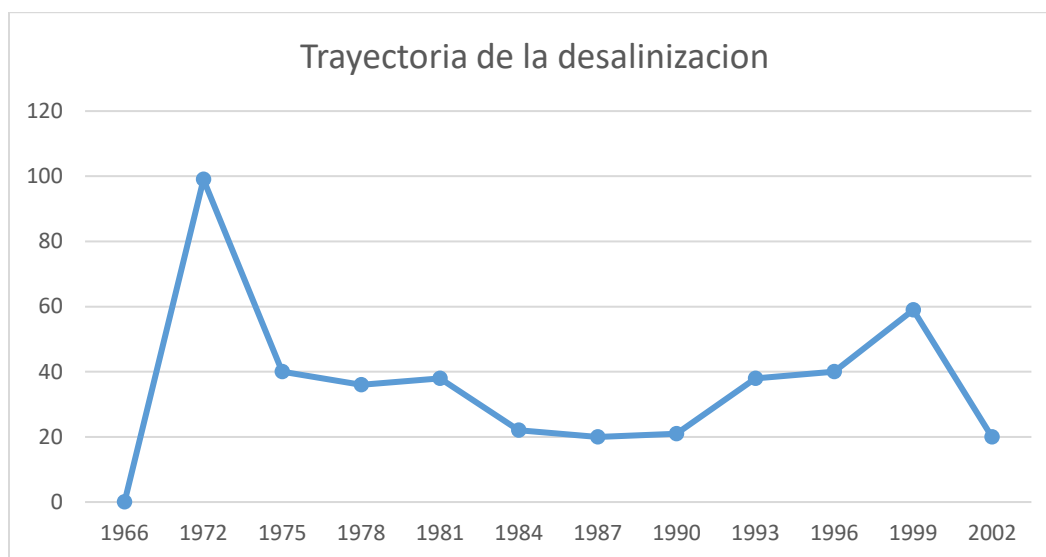
	MSF	MED	MED-TVC	MVC	RO	ED
Temperatura de operación	<120	<70	<70	<70/1/	<45	<45
Tipo de energía	Vapor	Vapor	Vapor	mecánica (energía eléctrica)	mecánica (energía eléctrica)	energía eléctrica
Consumo de energía térmica(kWh/m ³)	12	6	21	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Consumo de energía eléctrica(kWh/m ³)	3,5	1,5	1,5	8--14	4--7	1
Contenido de sales (ppm TDS)	30000--100000	30000--100000	30000--100000	30000-50000	1000--45000	100--3000
Calidad del agua producida (ppm TDS)	<10	<10	<10	<10	<500	<500
Capacidad típica(m ³ /d)	5000--60000	500--12000	100--20000	10--2500	1--10000	1--12000

Nota. Adaptado de. (Zúñiga et al. 2005)

La evolución de la producción científica sobre desalinización en la base de datos INIS. Se observa un pico en la década de 1970, seguido por un descenso hasta la década de 1990. A partir del año 2000, se aprecia un ligero aumento en el número de publicaciones. El interés en el nuevo

milenio por el uso de la desalinización como alternativa a la escasez de agua potable en diferentes regiones del mundo.

Figura 10 Popularidad de la desalinización



Nota. Adaptado de. (Zúñiga et al. 2005)

La desalinización ofrece un enfoque estratégico a este desafío ya que permite obtener agua potable de fuentes hídricas abundantes como el agua de mar. Además, el desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles está alimentando el interés de los países por integrar la desalinización en sus estrategias de seguridad hídrica. Este enfoque no sólo ayuda a diversificar las fuentes de agua, sino que también aumenta la resiliencia al cambio climático y la creciente demanda. Como resultado, la desalinización se ha convertido en una parte importante de las políticas y planes nacionales en materia de agua, lo que subraya su importancia para encontrar soluciones innovadoras que garanticen el acceso sostenible al agua potable.

Diferentes países han incrementado su interés por aplicar los procesos de desalinización y estos mismos han incrementado la construcción de las diferentes plantas. Entre países que se interesan están Estados Unidos que en zonas como California la planta, (Carlsbad de Claude “Bud” Lewis) enfrenta sequías lo que tomo medidas, este siendo un estado costero, donde se encuentra la planta más grande y tecnológicamente avanzada del país.

Países como lo son Israel que posee una única fuente de agua dulce que es el mar de Galilea, el país de continente asiático nutre la población en un 75% con la desalinización de agua, siendo esta no solo para el uso humano sino también para la agricultura.(Zarza, R, ynet español, 2023). Ejemplos de éxito mundiales de la desalación como fuente de agua potable.

Figura 11 Popularidad de la desalinización por países



Nota. Adaptado de. (Zúñiga et al. 2005).

El crecimiento exponencial del uso de los diferentes métodos para obtención de agua potable, generan crecimiento en la información e investigación de nuevas tecnologías para crear un ambiente más eficiente, actualmente la cantidad de artículos sobre la innovación de utilizar la energía nuclear como fuente principal de energía para el funcionamiento de las plantas.

La Organización de Energía Atómica (OIEA) impulsa proyectos de colaboración en el ámbito de la desalinización. La organización cuenta con una amplia y continua acumulación de experiencia en esta temática, y sigue desarrollando planes para la desalinización basada en diversos tipos de reactores nucleares. Aunque la mayoría de las tecnologías se aplican en tierra firme, es relevante destacar la iniciativa de Rusia de implementar plantas de desalinización en barcasas. Este enfoque innovador de plantas de desalinización flotante puede resultar particularmente atractivo para abordar la demanda temporal de agua potable, especialmente en áreas cercanas a las costas. Estas iniciativas de colaboración y variedad de enfoques demuestran el compromiso

continuo de la OIEA en avanzar en soluciones prácticas y diversas para hacer frente a los desafíos relacionados con el suministro de agua dulce a nivel mundial. (Zúñiga et al. 2005).

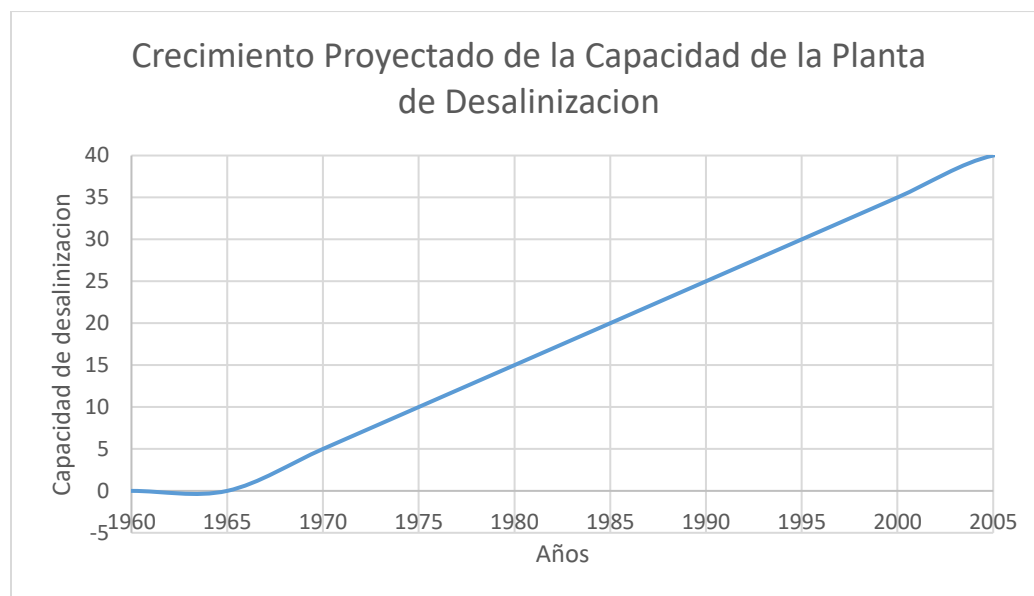
Tabla 4 *Artículos hechos por tecnología*

Tecnologías	Artículos
Evaporación	169
Múltiple	4
Solar	48
Efecto Simple	-
Destilación	3
Precompresión	2
Osmosis Inversa	132
Electrodialisis	41
Cristalización	10
Nuclear	687

Nota. Adaptado de. (Zúñiga et al. 2005).

El crecimiento en los estudios de la desalinización está en un constante cambio, se analizan los diferentes puntos de interés, como lo es el tema la capacidad que posee una planta desalinizadora, en el cual se busca una capacidad mayor a lo anticuado para crear un sistema de mayor capacidad para llevarlo a sociedades de mayor población y extensión territorial

Figura 12 *Proyección de la capacidad de las plantas desalinizadoras*



Nota. Adaptado de. Zúñiga et al. 2005).

El panorama nuclear se vuelve incrementado, los estudios avalan este interés, el método de ósmosis inversa como pilar de la desalinización y la energía nuclear para dar abasto a la demanda solicitada de la misma, generalmente la desalinización nuclear se sigue viendo como una opción factible para países nuclearmente activos donde los estudios demuestran la eficiencia de estas y los años de operación entregadas por las mismas, el bajo costo a largo plazo y de la misma generar la menor contaminación al medio ambiente, la OIEA considera que las diferentes combinaciones pueden crear un amplio margen de combinaciones para explotar océanos que aún no se denominan como fuentes principales de obtención de agua potable.

6.2.2 Energías renovables

La energía solar: La energía solar es una fuente de energía renovable y sostenible que proviene directamente del sol. Este tipo de energía utiliza la radiación solar para producir electricidad o calor y es una opción cada vez más popular debido a sus beneficios medioambientales y económicos. La principal fuente de energía solar es la luz solar, que está formada por partículas llamadas fotones. Cuando la luz del sol llega a la Tierra, se puede convertir en electricidad mediante tecnologías como los paneles solares. Los paneles contienen células fotovoltaicas que convierten la luz solar en corriente continua, que puede usarse directamente o convertirse en corriente alterna para alimentar hogares, negocios y otros equipos eléctricos.

Además de generar electricidad, la energía solar se utiliza para calentar agua en aplicaciones residenciales e industriales. Los sistemas solares térmicos capturan el calor del sol y lo utilizan para calentar fluidos, que luego se utilizan para generar vapor y electricidad o proporcionar calor directamente.

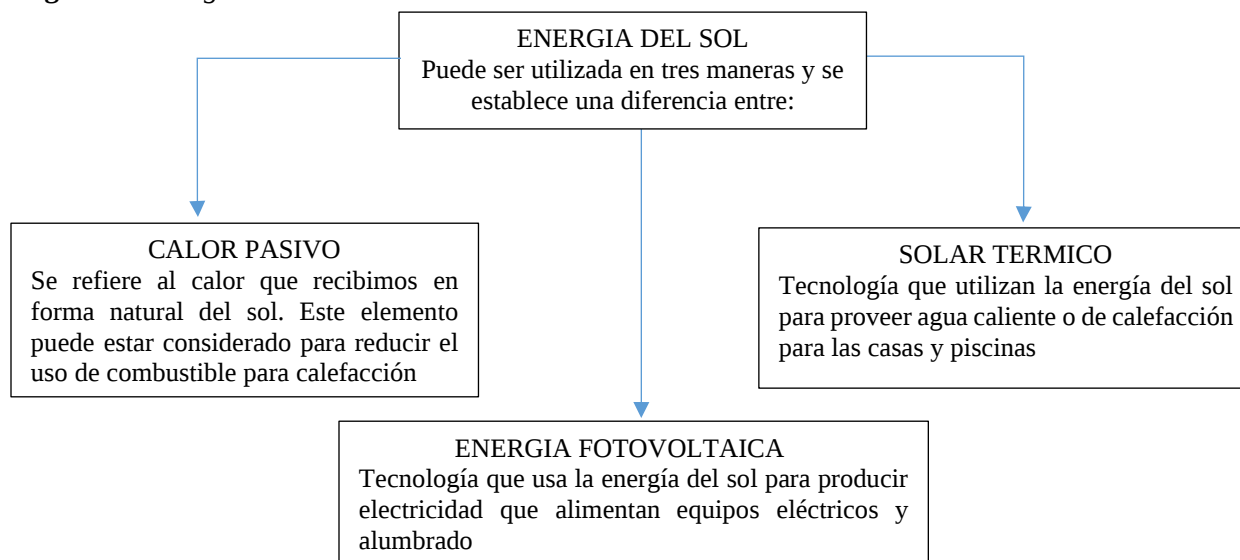
Una de las principales ventajas de la energía solar es su carácter renovable y su abundancia. La cantidad de radiación solar que recibe la Tierra en una hora es suficiente para cubrir las necesidades energéticas humanas durante un año. Además, la energía solar no produce emisiones de gases de efecto invernadero durante su funcionamiento, lo que la convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente que ayuda a mitigar el cambio climático. Aunque la tecnología solar ha logrado avances significativos en términos de eficiencia y costo en las últimas décadas, todavía existen desafíos como el almacenamiento de energía y la variabilidad de la radiación solar que deben abordarse continuamente para mejorar su viabilidad y aplicación en todo el mundo.

Aunque la energía solar sea conocida como energía perpetua, solo el uso de la misma para el proceso de desalinización solo equivale al 1% del agua potabilizada. (Claudio O, 2018).

- **La energía solar se puede utilizar de 3 maneras:**

1. **Calor pasivo:** Se refiere a la utilización y manipulación de la energía térmica natural, en los procesos de desalinización es conocida por ser utilizada de manera directa a los invernaderos. Aplicando métodos de refracción se busca amplificar y masificar la captación, la retención y la distribución del calor solar a la zona de trabajo.
2. **Solar Térmica:** Se centra en la utilización de radiación solar como fuente principal de calor, se puede considerar como el principio de calor pasivo de manera directa para el calentamiento de algún fluido para generar vapor, y producir electricidad, se considera como el calor pasivo de una manera más desarrollada para la utilización en el método de destilación.
3. **Energía Fotovoltaica:** Es el principio de la utilización de la energía solar, con diferentes herramientas y tecnologías como lo son las celdas solares o paneles fotovoltaicos estas encargadas de convertir la luz solar en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico que se denomina por los materiales semiconductores que generan una corriente eléctrica al ser expuesta a la luz solar. (Galarza G, Gordillo Carlos, Rivera Carlos, 2012)

Figura 13 *Energía utilizada del Sol*



Nota. Adaptado de. (Galarza G, Gordillo Carlos, Rivera Carlos. 2012)

Energía Eólica: Para generar electricidad a partir del viento, se utilizan máquinas que, al empezar casi sin carga, no requieren que el rotor eólico tenga un gran par de arranque. Además, los rotores rápidos son más eficientes, por lo que son los que se usan casi exclusivamente para generar electricidad. Los generadores eléctricos pueden ser de corriente continua (dínamos) o de corriente alterna, y en este último caso hay dos tipos: generadores síncronos o alternadores, y generadores asíncronos o de inducción.

Las dínamos tienen la desventaja de usar escobillas, que necesitan mantenimiento periódico, y son más pesadas y caras que los generadores de corriente alterna (C.A.) de la misma potencia. Aunque las dínamos tienen la ventaja de no requerir sistemas especiales para cargar baterías, su uso ha ido disminuyendo, siendo reemplazadas por generadores de C.A., excepto en algunos equipos pequeños de construcción artesanal. (Jacinto, GP, Clementi, LV, Carrizo, SC y Nogar, L. 2014).

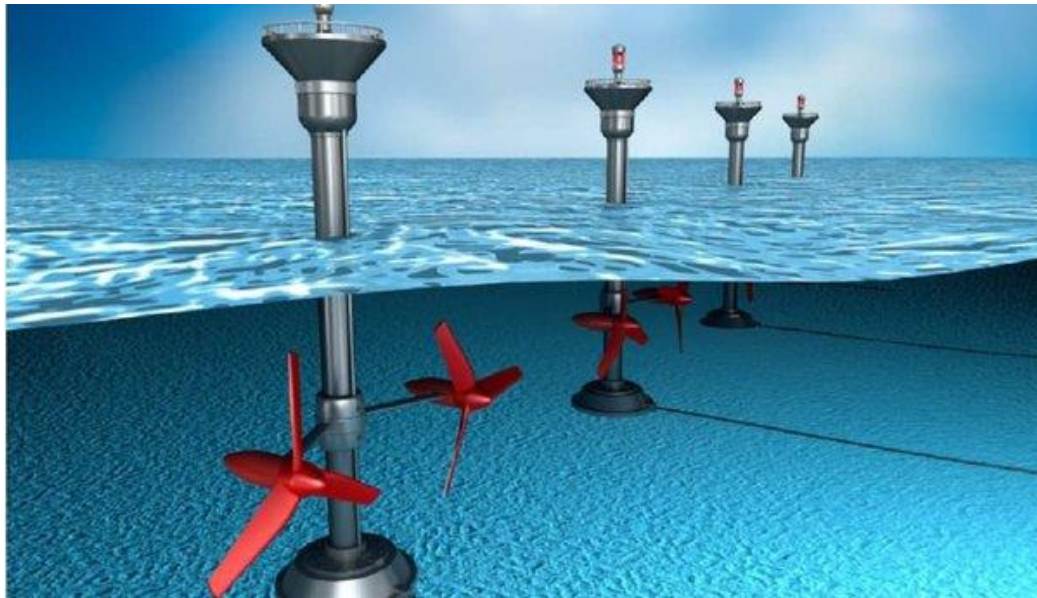
Energía marítima: El principio para la utilización del agua de mar como fuente de energía para ser utilizada para el proceso de desalinización es un principio legislativo, podríamos considerar como fuente ubicaciones principales las aguas internacionales, lo cual es vagamente inviable por las distancias que existen entre la costa del territorio nacional y las aguas internacionales.

Desde un punto legal, la Constitución Política de Colombia se plantea de manera directa que el mar forma parte del territorio nacional y este mismo como un bien públicos cada uno de estos especificados en cartas y ratificados internacionalmente. (Roberto Lastra, Alba R. Vergara. 2017).

Los océanos ofrecen un potencial energético que actualmente se sigue explorando y mejorando, en la actualidad con la constante búsqueda de diferentes fuentes de energía.

Energía de las corrientes: Se maneja el mismo principio de la energía eólica donde la fuerza que poseen las corrientes marinas genera energía cinética y mediante las instalación de estructuras marinas están captan la fuerza para crear la energía. (Inarquia, 2024).

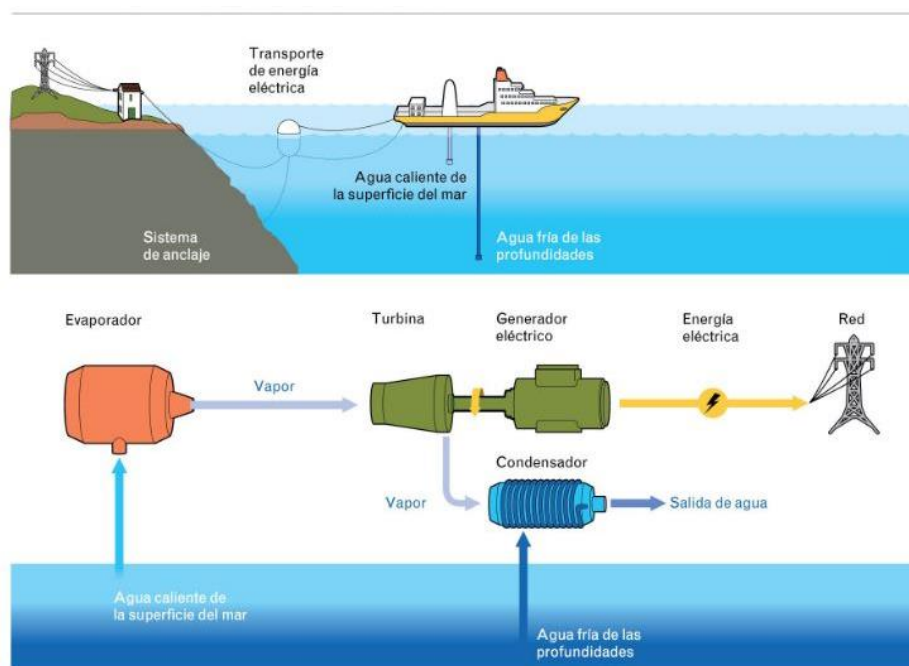
Figura 14 *Energía de corrientes marinas*



Nota. Adaptado de. (Inarquia, 2024).

Energía Maremotérmica: El fundamento de su funcionamiento se basa en la temperatura del agua, el análisis de la diferencia de temperaturas de las zonas profundas respecto a zonas superficiales, para el funcionamiento se requiere un gradiente térmico de 20°C . de (Ojeda Daniela, 2020).

El aprovechamiento de la energía térmica del mar se basa en la diferencia de temperatura entre las aguas superficiales y las aguas profundas del océano. Para que este tipo de energía sea viable, se necesita un gradiente térmico de al menos 20°C . Las plantas maremotérmicas convierten esta energía térmica en electricidad mediante el ciclo termodinámico conocido como “ciclo de Rankine”, donde el agua superficial actúa como la fuente caliente y el agua de las profundidades como la fuente fría. (Segui, 2024).

Figura 15 *Energía maremotérmica.*

Nota. Adaptado de. (Segui, 2024).

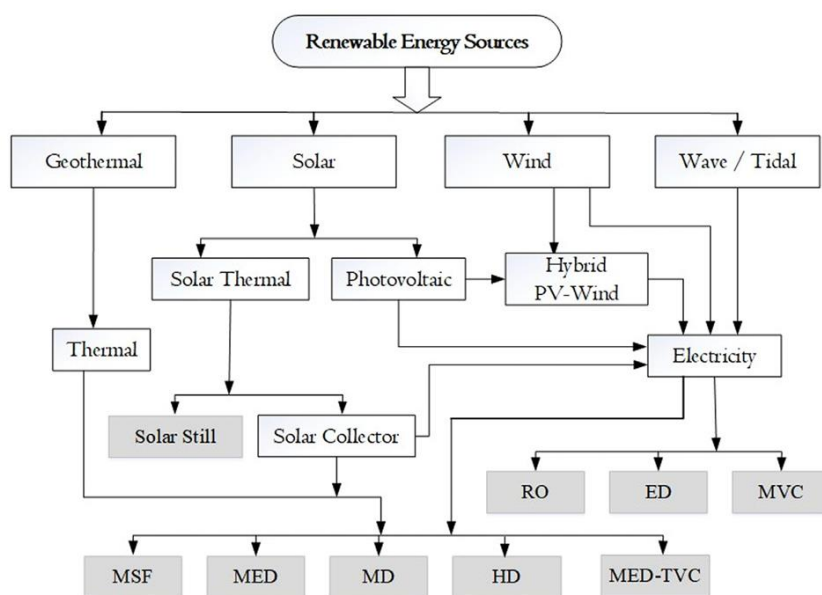
Energía undimotriz: La energía undimotriz se obtiene aprovechando el movimiento de las olas. El oleaje se genera por el rozamiento del viento sobre la superficie del mar, lo que provoca un movimiento irregular. Esta variabilidad ha llevado al desarrollo de diferentes tipos de máquinas para captar y aprovechar esta energía. En la siguiente infografía sobre la energía undimotriz – o energía de las olas – se muestra el proceso de cómo se convierte este movimiento en electricidad. (Segui, 2024).

Figura 16 *Energía Undimotriz*

Nota. Adaptado de. (Lucera, 2023).

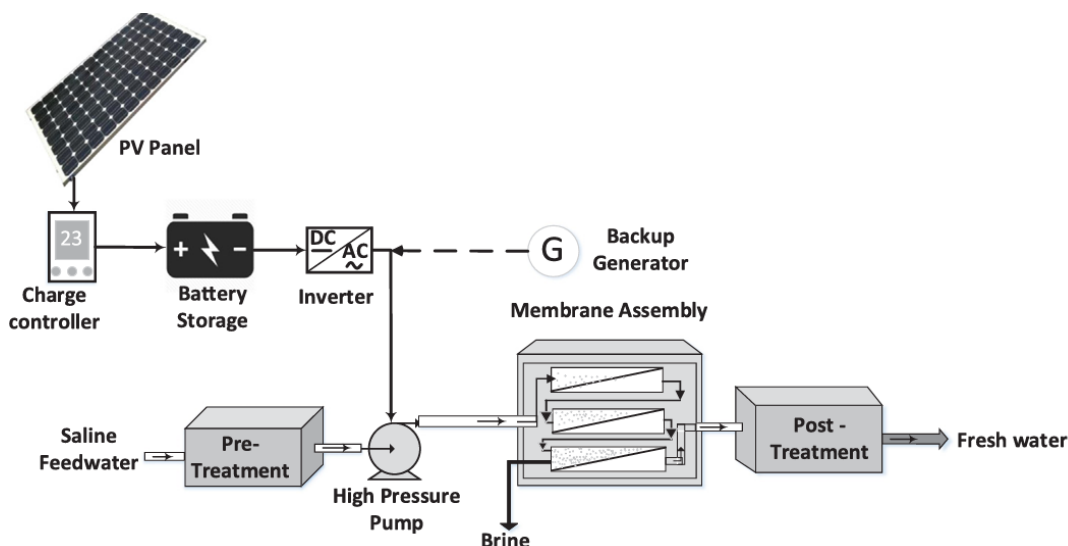
Energía Mareomotriz: La energía mareomotriz se basa en la construcción de un dique que permite almacenar agua, cuyo movimiento se utiliza para hacer girar turbinas y generar electricidad. Este tipo de energía ha ganado popularidad en países como Francia, Canadá, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos y China, donde ya están en funcionamiento sistemas de producción de energía mareomotriz con planes de expansión. Se argumenta que esta forma de energía ha sido utilizada durante siglos, aprovechando el flujo y reflujo de las mareas para generar energía. (Quintero et al. 2015).

Figura 17 Energía renovable y aplicación en desalinización



Nota. Adaptado de. (Rehman y Al-Sulaiman, 2018).

La aplicación de energías renovables más común y atractiva para ser aplicada en plantas de desalinización de osmosis inversa para generar sostenibilidad de un funcionamiento continuo en zonas de déficit eléctrico, para el proceso de generar energía es el principio fotovoltaico donde la radiación solar funciona como combustible principal para el funcionamiento de las bombas necesarias para la desalinización, el cual consta de un pre tratamiento donde se eliminan los diferentes residuos orgánicos (arena, limo, entre otros) sin embargo el post tratamiento es el encargado de dar el equilibrio químico del agua desalinizada, donde se debe cumplir con los parámetros como el pH requeridos para el consumo y uso humano. (Rehman y Al-Sulaiman, 2018).

Figura 18 Sistema Fotovoltaico aplicado en planta

Nota. Adaptado de. (Rehman y Al-Sulaiman, 2018).

La innovación del uso de la energía fotovoltaica como fuente principal y única para las plantas de desalinización arroja diferentes datos, se analizan desde el punto de viabilidad en donde el alto uso de baterías para poder impulsar el sistema de osmosis inversa, en este caso la planta creada por : (Rehman y Al-Sulaiman, 2018).

Está siendo la primera planta desalinizadora alimentada por energía solar capaz de generar una potencia máxima de 8 kWp a partir de 210 paneles fotovoltaicos, la planta de Boesch capaz de producir 4.5 L/Min de agua dulce con una tasa de recuperación del 22%. (Rehman y Al-Sulaiman, 2018).

Como cuestionamiento sobre las diferentes fuentes de energías sea de origen fósil o renovable, los factores tecnológicos se enfocan en el consumo energético, utilizando; Si el centro de atención es la osmosis inversa, la cual representa tres cuartas partes del agua desalinizada del mundo, respecto a los métodos anteriormente mencionados es la más viable en precisar una cantidad de energía y espacio físico requerido.

Por ejemplo, el proceso de desalinización mediante membranas consume típicamente entre 3 y 5 kilovatios por hora por metro cúbico de agua desalada (KWh/m³). En contraste, la destilación para el mismo propósito requiere aproximadamente 60-70 KWh/m³ en energía térmica y 1.5-2 KWh/m³ en energía eléctrica. Sin embargo, el avance tecnológico en ósmosis inversa en las últimas

dos décadas ha permitido reducir significativamente el consumo de energía, disminuyendo de 3-5 KWh/m³ a 1.8 KWh/m³ en la producción de agua desalada. (Nava Escudero, César, 2022).

6.3 Estimar la razón costo/beneficio para la implementación de un sistema de desalinización para las zonas rurales.

Para estimar los costos de la construcción y operación de una planta de desalinización, en poder sopesar la inversión inicial, mencionado anteriormente la complejidad de la desalinización es el beneficio a largo plazo lo cual plantea un desafío económico para el estado y en relación el difícil acceso para la construcción de una infraestructura en zonas rurales con limitaciones de agua potable. Los avances tecnológicos se centran en buscar un mayor equilibrio en el costo/beneficio en la creación y operación de la planta.

Para considerar la viabilidad respecto a la construcción y operación de una planta desalinizadora, debemos analizar los puntos económicos tanto del estado y del municipio en cuestión donde se ubicará la planta desalinizadora, cuando analizamos zonas específicas, en Colombia la Guajira es el lugar de estudio que más énfasis se ha dado por las diferentes problemáticas y necesidades que poseen por la pobre infraestructura del acueducto.

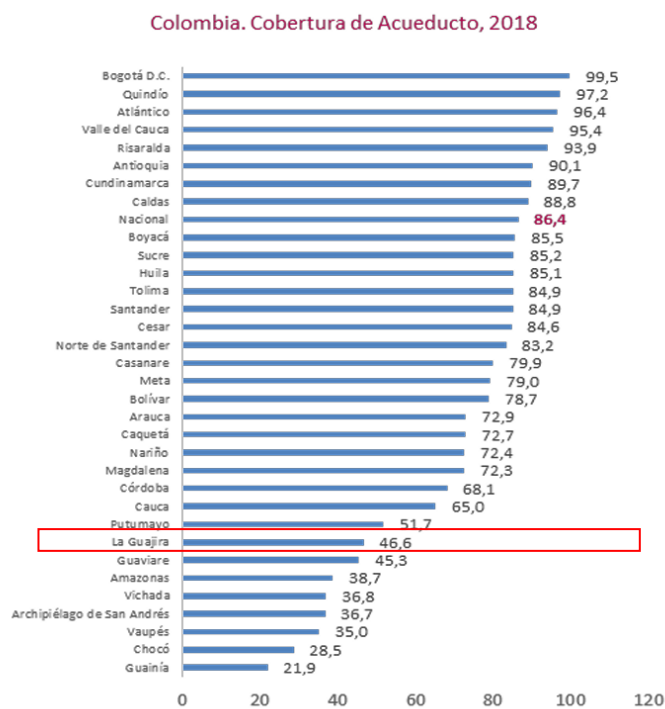
El agua es el recurso vital que los humanos necesitamos para vivir, la pregunta que se hace siempre en problemáticas así es : ¿ Puedes vivir sin agua ? ; Claramente la respuesta es no, es complicado comprender como el humano promedio puede vivir hasta 14 días sin comer, pero solo de 3 a 5 días sin agua, esto da a entender que la problemática del departamento de la Guajira, su pobre acceso del agua potable, todo relacionado a la pobreza genera que se convierta en un fenómeno multifacético que afecta a gran parte de la población debemos considerar que los factores que más influyen en esta zona es la falta al acceso a servicios básicos, en este caso, el agua potable, pero cual es la problemática política que afecta a departamento es más compleja que comprender sus falencias en el recurso hídrico por factores geográficos, pero este factor geográfico también se debe analizar desde una posición política, se debe conocer la cobertura dada para cada región en este aspecto.

La cobertura de acueducto en zonas rurales como la Guajira observamos que poco menos de la mitad se encuentra abastecida con un 46.6 % y esto genera una preocupación a la hora de comparar los sistemas de Acueductos nacionales con los sistemas de países como : Canadá,

Estados Unidos, Reino Unido, presentan una cobertura del 100% a nivel nacional, esta comparativa genera una expectativa desoladora para generar sistemas por diferentes medios como la desalinización del agua, Colombia se encuentra por lo menos 13.6% por debajo de los países antes mencionados.

Adicionalmente se genera una comparativa con el antecesor de 2018 (DANE CNPV, 2018), en el cual refleja que Colombia presentaba en 2012 83.2% de cobertura genera que solo en 6,2 % de cobertura se incrementado a nivel nacional, este bajo incremento se puede atribuir a factores como geografía montañosa dado la ubicación de municipios rurales, la gestión y mantenimiento de los sistemas ya existentes es uno de los principales problemas, y claro esta los problemas socioeconómicos que dificultan la expansión de las zonas con el déficit hídrico.(DANE,CNPV, 2018).

Figura 19 Cobertura de acueducto Regiones de Colombia



Nota. Adaptado de. (DANE,CNPV, 2018).

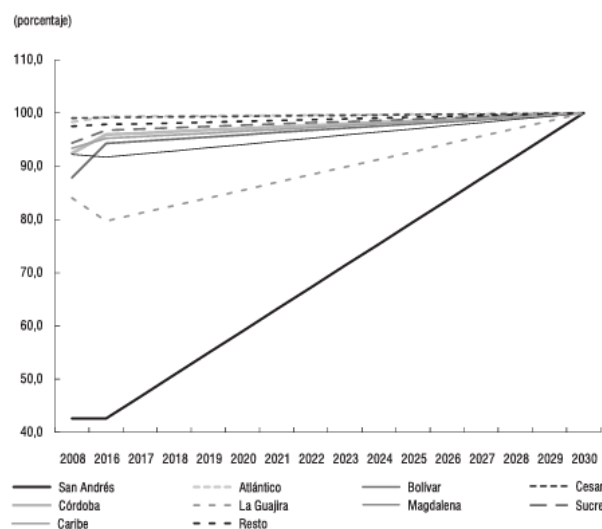
En Colombia prevalece el constante abastecimiento para zonas urbanas, por ejemplo Bogotá que mantiene una cobertura casi total, y los diferentes municipios con alta densidad urbana, lo que refleja el poco interés que se tiene por aumentar la cobertura en zonas rurales, él se

comprende que el agua que llega al departamento no es potable, o no cumple con requisitos mínimo para el consumo humano, y la constancia en el surtido es mínima, el factor político influye bastante, el sentido de porque los servicios se pagan exista o no servicio, con un servicio deficiente con un mantenimiento incompleto ni optimización del servicio para el consumo de agua constante. (Escobar, P, 2014).

Enfocando el sistema de acueducto como prioridad se puede considerar la razón de que para el 2030 crear una cobertura del 100% con ciertas problemáticas como la variación positiva en la región caribe y variación negativa en la Guajira, en el cual se presenta el 45% de su zona rural, a diferencia de zonas rurales en diferentes partes del país que presentan una cobertura del 56% (Toro Gonzales, 2017).

Figura 20 *Proyección del acueducto en la región Caribe*

GRÁFICO 3. REDUCCIÓN DE BRECHAS EN ACUEDUCTO EN LA REGIÓN CARIBE, 2017-2030
(ÁREA URBANA)



Nota. Adaptado de. (GEIH, 2016).

Estos servicios pueden incluir agua potable, electricidad o saneamiento básico. Los datos muestran una variabilidad significativa en el acceso a estos servicios en todo el país, con algunas regiones alcanzando tasas cercanas al 100% de acceso, como Bogotá D.C., mientras que otras regiones muestran niveles de acceso más bajos, como la región Pacífica. Esta información es

fundamental para comprender las disparidades en el desarrollo y la calidad de vida en diferentes áreas de Colombia.

Tabla 5 *Porcentaje de acceso en las regiones de Colombia*

Región	Con acceso	Porcentaje
Bogotá	7.513.882	99
Valle del cauca	4.077.547	97
Antioquia	5.523.251	96
Central	5.516.544	94
Oriental	7.415.475	92
Caribe	8.365.685	84
Pacífica	2.956.306	79

Nota. Adaptado de. (Escobar, P, 2014).

Generar una visión de lo que puede ser un desarrollo exponencial para la región del caribe no es claro, pero se puede estimar desde un punto donde el agua limpia y segura es esencial para la salud de la población, ya que proporciona la base para la higiene, la nutrición adecuada y la prevención de enfermedades transmitidas por el agua. Además, el agua es un recurso vital para la agricultura, la industria y el turismo, sectores clave de la economía caribeña. Un suministro confiable de agua promueve la seguridad alimentaria al apoyar la producción agrícola, así como el crecimiento económico a través de la generación de energía hidroeléctrica y la facilitación de actividades comerciales.

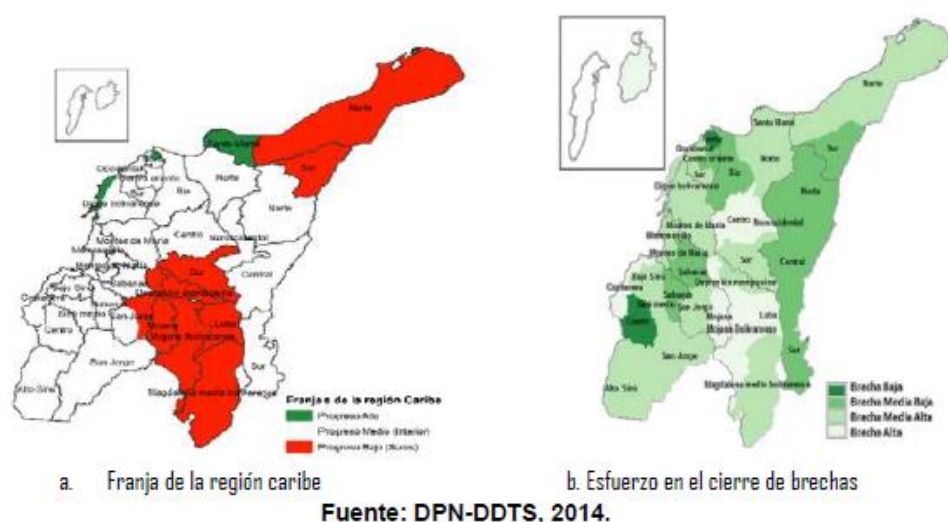
La pobreza en la región caribe crea un ambiente preocupante, con índices de pobreza multidimensional (IPM) las zonas de la guajira y Córdoba. El IPM en zonas rurales equivale a una totalidad de la región, de igual manera la brecha creada en el desarrollo y desigualdad económica donde se busca focalizar esfuerzos políticos para el desarrollo de acueducto. (Rodríguez Ríos y Tovio Núñez, 2017)

La disparidad económica que se vive en esta zona del país donde se puede identificar el desarrollo, dividido de manera en el que cada sector genera mayor o menor crecimiento.

1. Desarrollo robusto
2. Desarrollo intermedio
3. Desarrollo incipiente

El desarrollo incipiente específicamente en la zona de la guajira es un punto de énfasis para el desarrollo de condiciones de vida y de así mismo de sistemas de recursos primarios, siendo la guajira una zona costera alejada de ciudades con un desarrollo robusto, lo cual limita la influencia sobre los demás y crea poca disponibilidad de comunicación con el resto de los municipios para crear un ecosistema medianamente constante en los servicios hídricos. (Rodríguez Ríos y Tovio Núñez, 2017)

Figura 21 Franjas en el desarrollo de la Región Caribe



Nota. Adaptado de. (Rodríguez Ríos y Tovio Núñez, 2017)

El desarrollo de la Guajira es estratégicamente un punto de importancia para la generación de recursos para el propio departamento, en 2013 la producción de carbón en La Guajira alcanzó las 37.880,66 KTon (kilotoneladas, equivalente a mil toneladas). Por otro lado, en 2012 la producción de sal en el municipio de Manaure, La Guajira, fue de 72.724,85 toneladas. Las regalías distribuidas a los departamentos y municipios donde se explotan recursos naturales no renovables, como carbón, metales preciosos, esmeraldas, níquel, hierro, manganeso y calizas, ascendieron a aproximadamente 5.2 billones de pesos durante el período 2004-2009. (Escobar, P, 2014); Estas cifras están desglosadas en la siguiente gráfica:

Figura 22 Cantidad de metales extraídos en La Guajira

Nota. Adaptado de. INGEOMINAS, (Escobar, P, 2014)

Tabla 6 Minerales extraídos en La Guajira

	Carbón	Níquel	Metales Preciosos	Esmeraldas	Otros Minerales
Valor	4010,74	847,64	266,25	33,59	34,95
Participación	77,20%	16,30%	5,10%	0,60%	0,70%

Nota. Adaptado de. INGEOMINAS, (Escobar, P, 2014)

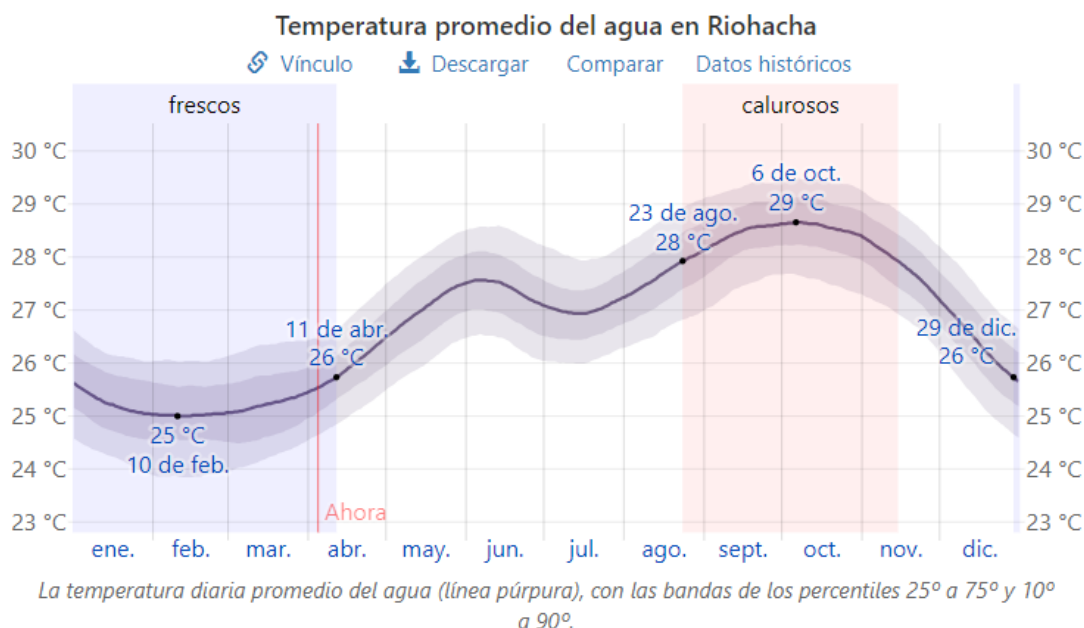
Datos que representan que más allá de la pobreza que se presenta en el departamento de La Guajira es por falta de accesibilidad de servicios y de la mala gestión en la implementación de servicios de acueducto y alcantarillado. con cifras significativas da un concepto que el departamento de La Guajira debería poseer cualquiera de los servicios básicos sin ninguna interrupción, además de tener carencias de calidad de un departamento con un desarrollo más notorio, pero las necesidades y las estadísticas son datos completamente diferentes y no funcionan de manera paralela. (Escobar, P, 2014).

Tabla 7 Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010 ENSIN14.

Ubicación	Retraso en Talla en niñas y niños menores de 5 años (W/E - c2 DE)1	Desnutrición Global en niños menores de 5 años(P/E-<2DE)1	Sobre peso u obesidad en niños y niñas menos a 5 años (MC>2DE)1
Total, del país	18,2	3,4	5,2
región atlántica	-	-	-
Atlántico	15,5	3,4	6,9
Bolívar	10,8	4,3	4,4
Cesar	11,7	3,3	4,3
Córdoba	16,4	4,3	5,3
La guajira	27,9	11,2	2,5
Magdalena	18	6,8	3,2
San Andrés y providencia	3,8	1,1	7,9
Sucre	14,3	4,9	3,8
Total, región Atlántica	15,4	4,9	4,7

Nota. Adaptado de. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano (Gobierno de Colombia, 2020).

El departamento de La Guajira presenta dos extremos en el tema climático, 6 meses de sequía y 6 meses de invierno la variabilidad que existe es compleja, la toma de datos a veces no refleja lo que se puede definir como sensación térmica, el departamento es directamente afectado por los fenómenos de El Niño y La Niña, (Melo, 2017) que de igual manera afecta su exosistema tanto ambiental como económico, todo esto creando un caso en la disponibilidad de los recursos y la seguridad alimentaria. Informe (DANE, 2018).

Figura 23 (*El Clima En Riohacha, El Tiempo Por Mes, Temperatura Promedio*)

Nota. Adaptado de. (Colombia - Weather Spark, 2023).

La problemática general respecto al servicio hídrico se refiere al continuidad que se vive en el departamento de la Guajira es un constante caos, la potabilidad del agua que se suministra es debatible, la búsqueda por crear un sistema autosustentable de agua por medio de métodos como la desalinización se vuelve el foco de atención para el departamento, además de la falencias en los sistemas de suministro dado por carrotanques y botellones tampoco se encuentran en estándares de potabilidad admisibles para el consumo humano, esto mismo siendo avisado por la empresa encargada de notificar cada una de estas falencias en el servicio Veolia aguas de La Guajira (S.A.S. E.S.P, 2023), de igual manera en mayor medida las notificaciones dadas son respecto a la falta de continuidad del servicio y de igual manera el mal sistema de mantenimiento en las redes donde cabe recalcar que la maquinaria es apta para cumplir con los trabajos de hundimiento los cuales se presentan constantemente. La gestión política se debe centrar en la adaptación del sistema de redes a los cambios clima que se presentan en esta zona del país. Hasta no crear un sistema polivalente el sistema seguirá con la deficiencia antes mencionada.

El debate de una inversión para una planta de desalinización en una zona rural esta siempre sobre la mesa, el factor de si su viabilidad costo beneficio compensa el utilizar los recursos para un mantenimiento o actualización para las redes del acueducto, la problemática que se extiende en

toda zona rural del mundo, todo organismo internacional busca generar la conciencia del recurso vital es un derecho fundamental, por lo tanto, la desalación es el camino que consideran correcto, al ser un beneficio instantáneo, crear una fuente de agua potable donde no existe un flujo constante de la misma, el sistema constata y autosustentable crea un sistema de trabajos especializados creando un sistema de impacto económico y social en estas zonas que se encuentran marginadas por gestiones políticas. (Bermejo, 2017).

El IRCA (Índice de Riesgo de Calidad del Agua) es un indicador compuesto por la relación respecto a la calidad de agua y el nivel de riesgo que presenta para el consumo, los datos recolectados e informados se presentan de manera mensual y se cual se analizan las características físicas, químicas y microbiológicas. Con base a los niveles de riesgo se debe asumir la posibilidad de generar alertas tempranas las cuales deben ser notificadas a las autoridades sanitarias creando un sistema para la mejora de calidad del nivel de riesgo. Según el Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano (Gobierno de Colombia, 2020).

Tabla 8 *Clasificación de Nivel de Riesgo*

Clasificación	NIVEL DE RIESGO	IRCA notificaciones que adelantaran la autoridad sanitaria	IRCA mensual(acciones para mejora de la calidad)
80,1-100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, gobernador, SSPD, Minsalud, INS, Min vivienda, Contraloría general y procuraduría General	Agua no apta para el consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora
35,1-80	ALTO	Informar a la persona prestadora COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD	Agua no apta para el consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernantes
14,1-35	MEDIO	Informar a la persona prestadora COVE, alcalde y Gobernador	Agua no apta para el consumo humano. Gestión directa de la persona prestadora
5,1-14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE	Agua no apta para el consumo humano, susceptible de mejoramiento
0-5	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia	Agua apta para el consumo humano, continuar vigilancia

Nota. Adaptado de. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano (Gobierno de Colombia, 2020).

Del total de muestras analizadas durante el año 2020, el 64% (n=24.698) fueron tomadas en el área urbana y el 36% (n=13.849) en el área rural. En particular, para los prestadores, el 73% (n=23.041) de las muestras correspondían al área urbana, mientras que el 27% (n=8.340) se obtuvieron en el área rural. Por otro lado, para los auto abastecedores, se observó una proporción inversa, con el 77% (n=5.509) de muestras analizadas en el área rural y el 23% (n=1.657) en el área urbana.

En cuanto a los niveles de riesgo, se encontró que, del total de muestras analizadas en 2020, el 73% (n=28.058) se clasificaron en el nivel "sin riesgo" según el valor del IRCA. Además, el 2% (n=599) se consideró en riesgo "bajo", el 9% (n=3.349) en riesgo "medio", el 11% (n=4.144) en riesgo "alto", y el 6% (n=2.397) se clasificaron como "inviabiles sanitariamente". Esto indica que el 27% de las muestras analizadas presentaban algún nivel de riesgo para el consumo.

El IRCA nacional de los prestadores del servicio de acueducto fue de 8,56%, clasificado como riesgo "bajo". De las 31.381 muestras analizadas, el 81% (n=25.454) se clasificó en un nivel "sin riesgo", el 1% (n=392) en riesgo "bajo", el 8% (n=2.514) en riesgo "medio", el 6% (n=2.024) en riesgo "alto", y el 3% (n=997) como "inviabiles sanitariamente". Según el Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano, (Gobierno de Colombia, 2020)..

En cuanto al tipo de agua suministrada por los prestadores, el 95% (n=29.859) corresponde a agua tratada, mientras que el restante 5% (n=1.522) es agua cruda. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano, (Gobierno de Colombia, 2020).

Es complejo caracterizar todo el territorio nacional, en donde existe un nivel riesgo medio en zonas rurales. De igual manera en que existe una gran diversidad de fuentes de agua y fuentes de suministro, en especial enfoque en zonas rurales que necesitan un suministro de agua, y de igual manera existe la posibilidad que un mismo suministro no sea de una misma fuente y no presente niveles de pureza de igual porcentaje, zonas rurales como la guajira presentan esta problemática por la presencia de actividad humana, al ser una zona costera, por lo mismo los niveles dados por IRCA se refiere a análisis de zonas especiales, o directamente con los respectivos proveedores. Lo que conlleva que porcentajes altos de la población (20.1%) tuvieron contacto directo con agua inviables para el consumo humano. (Escobar, P, 2014).

La normativa colombiana se centra en que el agua debe estar libre de la presencia de organismo como enterococos y los coliformes fecales (Escobar, P, 2014); Siempre se enfocan en 5 parámetros los cuales determinan la potabilidad.

- Microbiológicas
- Químicas Inorgánicas
- Químicos Orgánicos
- Características Físicas
- Radioactividad

Se debe considerar y registrar los sistemas de registros de vigilancia de calidad del agua, estudiando y vigilando de la calidad del agua para consumo humano con la información de morbilidad y mortalidad asociada a la misma y determinar el posible origen de los brotes o casos reportados en las direcciones territoriales de salud Decreto 1575 De 2007 - Gestor Normativo, (2007). Es importante que el agua destinada al consumo humano cumpla con estas normas para garantizar la salud pública.

La transparencia respecto a los recursos públicos siempre ha sido de objeto de debate cuando hablamos del departamento de La Guajira, el caos respecto al agua potable, la calidad de esta, las enfermedades infecciosas y la inminente desnutrición. (Escobar, P, 2014), aunque exista una gran variedad de recursos, la desnutrición infantil es la problemática que crea una limitación para el desarrollo infantil, siendo además de salud pública, una problemática poblacional por mortalidad joven en este departamento. Los servicios públicos son intrínsecos a la misión social del Estado. Este tiene la responsabilidad de garantizar su provisión eficiente a todos los residentes del país. (Escobar, P, 2014).

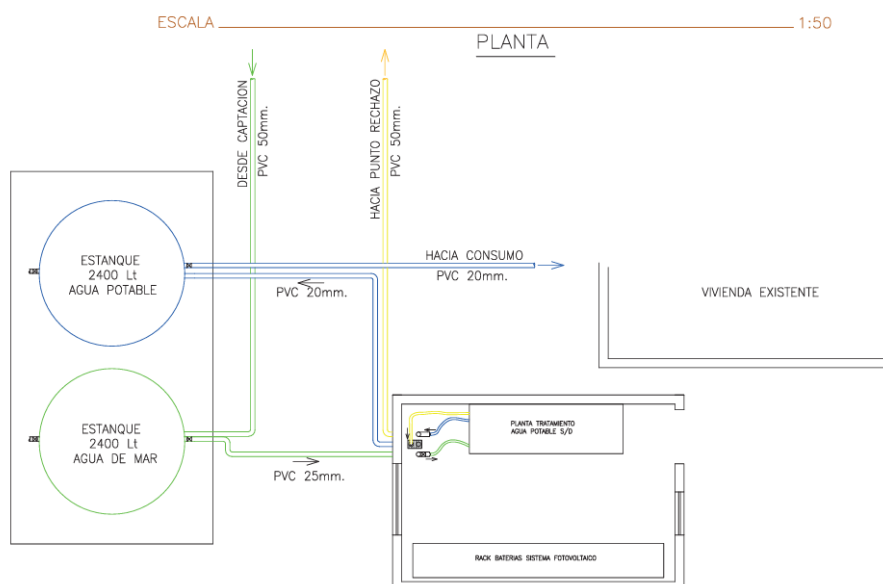
En Colombia, el acceso a agua potable y saneamiento básico es fundamental para mejorar la calidad de vida de su población. Afortunadamente, en los últimos cinco años, el Gobierno Nacional ha dado un paso significativo hacia este objetivo entregando 1210 proyectos de acueducto, alcantarillado y aseo en todo el país, con una inversión total de \$2,5 billones. Esta inversión ha beneficiado a un considerable número de colombianos, proporcionándoles acceso a servicios esenciales que antes podrían haber sido escasos o inexistentes. Adicionalmente, se encuentran en proceso otros 852 proyectos, los cuales representan una inversión aún mayor de \$4,5 billones. Estos proyectos en ejecución abarcan todos los departamentos del país y se espera que beneficien a más de 9 millones de personas, mejorando sus condiciones de vida y contribuyendo al desarrollo sostenible de sus comunidades.

El compromiso del Gobierno Nacional con la expansión y mejora de la infraestructura de agua potable y saneamiento básico es vital para garantizar el bienestar y la salud de la población

colombiana. Estas iniciativas no solo proporcionan acceso a servicios básicos, sino que también tienen un impacto positivo en la reducción de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento adecuado, promoviendo así un ambiente más saludable y seguro para todos los ciudadanos. (Rodríguez ríos y Tovio Nuñez, 2017), A pesar de los vastos recursos naturales que posee La Guajira, la realidad socioeconómica de la región no refleja adecuadamente su potencial. Aunque es conocida por su riqueza en recursos como el carbón y su belleza natural, la población guajira enfrenta desafíos significativos en términos de pobreza, acceso limitado a servicios básicos y altos niveles de desigualdad. La desconexión entre la abundancia de recursos y la situación de pobreza subraya la necesidad de abordar las inequidades estructurales y mejorar la gestión de estos recursos para garantizar un desarrollo más equitativo y sostenible en la región.

Respecto a la desalinización en el departamento de La Guajira, a través de la tecnología de osmosis inversa, donde el objetivo es lograr agua 100% apta para el consumo humano, que cumpla con estándares de calidad dentro del rango medio; las plantas en procesos aplicaran tecnología fotovoltaica lo que garantice la continuidad del servicio de manera eficiente. El proyecto busca generar la confianza y el compromiso por parte del Gobierno Nacional en esta zona del país, puesto que podría ser perfectamente aplicable dada su posición geográfica de carácter estratégico, lo que mitigaría su deficiencia en los servicios hídricos. (Hernandez, 2020).

Figura 24 Sistema de Osmosis Inversa



Nota. Adaptado de. (Soto Álvarez, G., y Soto Benavides, C, 2013).

Se ejemplifica como el Gobierno opera de manera coordinada y con un enfoque territorial específico para abordar las necesidades de las regiones más remotas y vulnerables de Colombia. A través de la implementación de plantas desalinizadoras, no solo se está garantizando el acceso al agua potable en la Alta Guajira, sino que también se está promoviendo la dignidad, la equidad y la creación de oportunidades para sus habitantes. Este esfuerzo no solo responde a una necesidad básica, sino que también representa un compromiso con la justicia social y el desarrollo integral de las comunidades más marginadas, demostrando el impacto transformador que puede lograr una gestión gubernamental enfocada y proactiva. Creando una gestión inteligente que se podría considerar como un punto de inflexión para la Guajira donde se caracteriza por sus malos dirigentes. Agua Para La Vida: Con Tres Plantas Desalinizadoras La UNGRD Lleva Esperanza a La Alta Guajira.

La razón Costo beneficio que puede tener una planta en una zona como la guajira es muy buena en términos de avance poblacional en el desarrollo socioeconómico de las comunidades a lo largo del plazo. Al invertir en infraestructuras de tratamiento de aguas residuales con una visión a largo plazo, se sientan las bases para un futuro más sostenible y próspero en La Guajira, promoviendo la equidad, la resiliencia y el bienestar de las generaciones venideras. De igual manera los costos se pueden calcular respecto a los materiales como el uso que debe desempeñar con su respectivo mantenimiento se debe realizar diferentes cotizaciones.

Tabla 9 Costo de la Implementación de la planta desalinizadora

Artefacto	Unidades	Costo Unitario	Costo Total
Membrana	1	\$ 117.700,00	\$ 117.700,00
Mallas	1	\$ 650.000,00	\$ 650.000,00
Filtrador	1	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
Reminerizador	1	\$ 3.680.000,00	\$ 3.680.000,00
Bomba de succión	1	\$ 1.268.000,00	\$ 1.268.000,00
Bomba de presión CTE	2	\$ 799.000,00	\$ 1.598.000,00
Bomba de alta presión	2	\$ 1.299.000,00	\$ 1.299.000,00
Válvulas	12	\$ 113.500,00	\$ 1.362.000,00
Aspersores	4	\$ 71.900,00	\$ 287.600,00
Cable solar Rojo	200	\$ 5.360,00	\$ 1.072.000,00
Cable solar verde	200	\$ 5.360,00	\$ 1.072.000,00
Cable solar negro	200	\$ 5.360,00	\$ 1.072.000,00
Inversor	1	\$ 7.357.155,00	\$ 7.357.155,00
Breaker termo magnético	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
Caja fusible tipo riel	1	\$ 69.300,00	\$ 69.300,00
Totalizador	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
Sistema de puesta a tierra	1	\$ 2.700.000,00	\$ 2.700.000,00
Hidrogel g	50000	\$ 89,00	\$ 4.450.000,00
Transporte	3	\$ 1.500.000,00	\$ 4.500.000,00

Tabla 9. *Continuación*

Tanque de almacenamiento	1	\$ 2.436.000,00	\$ 2.436.000,00
Tubería	274	\$ 8.967,00	\$ 2.436.000,00
días de mano de obra para paneles	45	\$ 180.000,00	\$ 8.100.000,00
Días de mano de obra para la construcción	45	\$ 140.000,00	\$ 6.300.000,00
Protección fotovoltaica	1	\$ 549.253,00	\$ 549.253,00
Estructura de paneles	8	\$ 180.000,00	\$ 1.440.000,00
construcción para planta de OI	1	\$ 20.000.000,00	\$ 20.000.000,00
Controlador	1	\$ 1.043.000,00	\$ 1.043.000,00
baterías	4	\$ 3.036.534,00	\$ 12.146.136,00
Paneles solares	8	\$ 1.036.000,00	\$ 8.288.000,00
Precio total			\$ 97.114.102,00

Nota. Adaptado de. (Valdivieso, 2021)

Con un impacto medio ambiental menor al convencional, contando con sistemas de energía sostenible se crear un organismo auto suficiente con un mantenimiento constante para tener un uso constante y sobre todo un suministro constante de agua para el departamento o a la zona con déficit hídrico, donde hay se debe desarrollar un plan operativo para que exista una gestión, control de calidad y evaluación y actualización de componentes de la desalinizadora para un mejor servicio a través del tiempo de uso.

Directamente la población se ve beneficiada y a su vez sectores indirectos como el agrícola a través de una fase de restauración del suelo que abarca alrededor de 1 semana. Durante este lapso, se llevan a cabo tareas esenciales como el arado del terreno, la aplicación de cal viva y el reposo necesario para el suelo. Es durante este tiempo de reposo que el agua no utilizada, es decir, los 2075 litros disponibles, puede ser aprovechada según la lógica de la comunidad, como lo señala (Everth Cuenca, 2021) un técnico agrícola,. Las comunidades indígenas se pueden beneficiar para crear un sistema político más amigable en sus etapas de reposo la cual asciende a aproximadamente 14575 litros. Se sugiere que este recurso se destine para actividades como limpieza o para usos cotidianos que no impliquen consumo directo. Este enfoque busca maximizar la utilidad del recurso hídrico sin comprometer su disponibilidad para otros fines esenciales. (Valdivieso, 2021).

A lo largo del tiempo en La Guajira se han planteado diversas soluciones, entre ellas una planta desalinizadora, Sin embargo, estas han fracasado por incumplimientos o, en su mayoría, por

la falta de mantenimiento. Tal como se planteó en el capítulo 3, se espera que el proyecto tenga una durabilidad de 20 años y para ello se requiere un plan a largo plazo (Ramos Peroza, 2016).

Las membranas y los filtros requieren un mantenimiento periódico que se puede realizar cada 2 meses debido a la calidad del agua, mientras que el cambio de estos puede variar entre 6 y 9 meses. Por otro lado, el mantenimiento de las bombas puede oscilar entre 3 y 6 meses y la limpieza de los paneles solares se recomienda realizar de 3 a 5 veces al año. Se propone tomar en cuenta las siguientes acciones previas a la instalación de la planta desalinizadora:

- Capacitar a la comunidad en el uso de la planta desalinizadora.
- Realizar capacitaciones a la comunidad para el mantenimiento de filtros, bombas y membranas.
- Capacitar a la comunidad en la limpieza de paneles solares.
- Mantener un stock de membranas y filtros en caso de requerir mantenimiento correctivo.
- Realizar periódicamente visitas de un operario para la toma de muestras de la calidad del agua.
- Programar visitas de personal de mantenimiento cada semestre para la revisión del sistema completo.

Se debe crear un consentimiento a la población, el proceso y el conocimiento de donde obtienen su recurso vital es importante, crear una conciencia sostenible para todos hace parte de desarrollo poblacional dado por recursos hídricos constantes. (Valdivieso, 2021).

6.4 Comparar los procesos de desalinización en operación y que eficiencia poseen.

Todos métodos de desalinización son funcionales, su funcionalidad se define respecto a su alcance, métodos mencionados anteriormente son usados alrededor del mundo aplicando la geografía a su favor, lugares con veranos muy extremos, zonas costeras donde es más aprovechados las plantas y se aplican las obras de ingeniería más modernas. En operación la mejor técnica de desalinización analizando diferentes ámbitos, construcción y políticos, analizar la viabilidad de cada uno demuestra que la osmosis inversa sigue siendo el pilar de la desalinización en el futuro, toda herramienta y desarrollo respecto a la energía para desalinizar se está aplicando en base a este método (Fundación Aquae, 2021).

La eficacia del sistema de osmosis inversa se refleja en su amplia aplicación en proyectos de desalinización a gran escala en todo el mundo, desde plantas industriales hasta instalaciones municipales, así como en sistemas portátiles para aplicaciones más pequeñas y específicas. Su versatilidad y adaptabilidad lo convierten en la elección ideal para satisfacer las demandas crecientes de agua dulce en comunidades costeras y regiones áridas, donde la disponibilidad de agua dulce es limitada y la calidad del agua es una preocupación constante. Además de su eficiencia en la producción de agua potable, el sistema de osmosis inversa también ofrece beneficios ambientales significativos en comparación con otras técnicas de desalinización. Su menor consumo de energía y su capacidad para operar con fuentes de energía renovable lo convierten en una opción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental asociado con la extracción y tratamiento de agua salobre o de mar. Esta evaluación se basó en criterios fundamentales, tales como el consumo de energía, el costo de la instalación, la capacidad de producción, la fracción de agua recuperada, el mantenimiento, el impacto en el medio ambiente y la pérdida de energía, a los cuales se les asignaron ponderaciones específicas para reflejar su importancia relativa en la toma de decisiones. En conclusión, los métodos basados en membranas es la tecnología base para tener un sistema eficiente y actualmente son los sistemas operativos más viables para zona rurales y zonas globales. (Valdivieso, 2021).

La ultrafiltración y la ósmosis inversa son dos procesos fundamentales en el tratamiento del agua. La ultrafiltración es un método de filtración por membrana que elimina partículas, microorganismos y turbidez del agua, mientras que la ósmosis inversa es un proceso de purificación que elimina moléculas más pequeñas presentes en el agua. La ultrafiltración podría servir como un pretratamiento antes de alimentar agua a la ósmosis inversa. En la primera etapa de un sistema de ultrafiltración, se utiliza presión para hacer pasar el líquido a través de los poros de membranas cerámicas, que son lo suficientemente pequeños como para filtrar bacterias, virus y otros materiales orgánicos. En la segunda etapa, se aplica más presión para filtrar partículas o moléculas grandes restantes, utilizando otro conjunto de membranas cerámicas con poros aún más pequeños. Este proceso elimina contaminantes adicionales del agua, como metales pesados presentes naturalmente en algunas fuentes de agua subterránea, como pozos perforados en acuíferos de granito, que pueden representar riesgos para la salud si se consumen sin un adecuado tratamiento. (Carbotecnia, (2023)). Teniendo en cuenta que un mantenimiento y funcionamiento de

una planta por osmosis inversa, claramente es un proceso de una década de funcionamiento para crear en un proyecto viable para zonas de difícil acceso (Valdivieso, 2021).

Tabla 10 Comparación entre Osmosis Inversa y Ultrafiltración

Características	Osmosis Inversa	Ultrafiltración
Costo	Requiere mantenimiento y monitoreo frecuente para prevenir obstrucciones y daños en las membranas. Es más técnica y necesita un control más riguroso.	Más fácil de usar y mantener, ya que no requiere cambios frecuentes de membranas y su operación es menos compleja.
Uso	Mayor costo inicial debido a la necesidad de equipos más sofisticados, como bombas de alta presión y membranas semipermeables. También puede requerir un tratamiento previo del agua para prevenir la obstrucción de las membranas.	Menor costo inicial, ya que los equipos son menos complejos y no necesitan bombas de alta presión. Sin embargo, puede requerir más mantenimiento a largo plazo debido a la necesidad de reemplazar los cartuchos de membrana con mayor frecuencia.
Energía	La osmosis inversa puede funcionar con energía eólica, pero requiere una inversión adicional en sistemas de almacenamiento de energía para garantizar un suministro constante de energía incluso cuando no haya viento. Además, las bombas de alta presión pueden necesitar energía de respaldo en caso de fluctuaciones en la producción de energía eólica.	La ultrafiltración puede ser más compatible con la energía eólica, ya que requiere menos energía para operar en comparación con la osmosis inversa. Los sistemas de ultrafiltración pueden ser más eficientes en el uso de energía y pueden funcionar de manera más estable con fuentes intermitentes de energía, como la energía eólica.
Implementación	Puede ser difícil de implementar en zonas alejadas debido a la necesidad de infraestructura sofisticada y suministro constante de energía para operar las bombas de alta presión. Además, el mantenimiento técnico puede ser un desafío en áreas remotas sin acceso fácil a servicios especializados.	Más adecuada para zonas alejadas debido a su menor complejidad y requerimientos de energía. Los sistemas de ultrafiltración pueden operar con fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, y son más fáciles de mantener con recursos limitados.
Ventaja competitiva	A pesar de que la instalación inicial de un sistema de osmosis inversa puede ser costosa, los costos operativos tienden a ser más bajos en comparación con otros métodos de tratamiento de agua a largo plazo. Esto se debe a la eficiencia en el consumo de energía y al bajo requerimiento de productos químicos.	A diferencia de algunos métodos tradicionales de tratamiento de agua que requieren la adición de productos químicos para coagulación o floculación, la ultrafiltración puede operar con poco o ningún uso de productos químicos, lo que reduce los costos y el impacto ambiental.

Nota. Adaptado de. (Carbotecnia, 2023)

Conclusiones

- Se analizaron correctamente los diferentes métodos de desalinización donde se evidencio las nuevas metodologías que se están aplicando alrededor del mundo de igual manera que opciones energéticas que se acoplan a cada uno de los territorios que necesitan acceso al recurso vital.
- La tecnología de desalinización ha experimentado avances significativos, lo que ha llevado a mejoras en la eficiencia y la rentabilidad de los procesos de desalinización. Estos avances incluyen mejoras en las membranas de ósmosis inversa, que son fundamentales en la mayoría de los sistemas de desalinización modernos. Además, la investigación en tecnologías de energía renovable, como la energía solar y la energía eólica, está permitiendo la integración de fuentes de energía más sostenibles en los procesos de desalinización, lo que ayuda a reducir tanto los costos operativos como el impacto ambiental de estas instalaciones. La continua inversión en investigación y desarrollo en este campo promete seguir impulsando la evolución de la tecnología de desalinización, haciendo que este recurso vital sea más accesible y sostenible en el futuro.
- La desalinización emerge como una solución crucial en regiones como La Guajira, donde la escasez de agua dulce es una preocupación significativa. Proporciona una fuente alternativa de agua potable en áreas donde los suministros tradicionales son limitados. Y no solo como alternativa de necesidad sino como una alternativa para el desarrollo exponencial para la sociedad, además de crear un inicio para un sistema autosustentable del recurso hídrico constante.
- Los sistemas de desalinización que utilizan como base las energías renovables representan el principio de mitigar el impacto ambiental de la utilización de recursos fósiles y de igual manera mitigando los daño en el ecosistema del cual se necesita.
- Analizando los costos/beneficios dados por la desalinización, se comprende que su beneficio es mayor en términos generales donde el sistema posee un funcionamiento autónomo y de mantenimiento por periodos largos con vida útil para una década lo que significaría una cantidad de agua mayor vista por su población mayor al lapso de funcionamiento.
- La desalinización desempeña un papel crucial en la mejora de la seguridad hídrica de las regiones afectadas por la escasez de agua; La desalinización ayuda a reducir la vulnerabilidad

de las comunidades frente a fenómenos climáticos extremos como sequías prolongadas o cambios en los patrones de precipitación. Esto significa que, incluso en condiciones de escasez de agua, las poblaciones pueden confiar en una fuente de agua más constante y confiable, lo que a su vez contribuye a la estabilidad social y económica. Además, al proporcionar una fuente de agua potable segura y confiable, la desalinización también puede mejorar la salud pública al reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. En resumen, la desalinización juega un papel vital en la creación de resiliencia ante los desafíos hídricos y climáticos, garantizando un suministro de agua seguro y sostenible para las generaciones presentes y futuras.

Referencias bibliográficas

- ABC.es. (2015). El 80% de las aguas residuales del mundo no reciben el tratamiento adecuado. Diario ABC. <https://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html>
- Acura,G. (2023) Presión Osmótica. [Blog]. Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/nlog/presion-osmotica/>
- Bermejo, L .(2017). Cómo puede una desaladora cambiar la vida de un pueblo. El mundo. <https://futurosostenible.elmundo.es/adaptacion/como-puede-una-desaladora-cambiar-la-vida-de-un-pueblo.html>
- Boesch, W. W. (1982). World's first solar powered reverse osmosis desalination plant. Desalination, 41(2). 233-237. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)88726-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)88726-3)
- Bonilla Torres, E, y Venera Martínez, R, S. (2017) , Diseño de una Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la isla de San Andrés, [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio Institucional. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10236>
- Cabero García, D. J. (2015). Proceso de desalación de agua de mar mediante un sistema de osmosis inversa de muy alta conversión en tres etapas con recirculación de permeado y doble sistema de recuperación de energía. [Tesis doctoral, Universidad del País Vasco]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10810/18530>
- Carbotecnia (2023) Diferencia entre Osmosis inversa y Ultrafiltración [Bolog]. Agua. <https://www.carbotecnia.info/diferencia-entre-ultrafiltracion-y-osmosis-inversa/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) .(2018).Censo Nacional de población y vivienda. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (24, abril de 2024). Comunicado de prensa; Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV). Dane. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ECV/cp-ECV-2023.pdf>
- Fundación Aquae. (2021). Todo sobre los métodos de desalinización - fundaciónaquae.org. <https://www.fundacionaquae.org/metodos-de-desalinizacion/>
- Galindo, A. (2024). ¿Qué es la energía nuclear? La ciencia de la energía nucleoelectrica. Organismo internacional de Energía Atómica (IAEA).

- <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>
- Gobernación de La Guajira. (2023) Información general del departamento de la Guajira. <https://www.laguajira.gov.co/LaGuajira/Paginas/La-Guajira.aspx>
- Grueso-Domínguez, MC, Castro-Jiménez, CC, Correa-Ochoa, MA & Saldarriaga-Molina, JC (2019). Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce . *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 18(35). 69-89. <http://hdl.handle.net/11407/6521>.
- Inarquia. (2024). ¿Es el Mar el futuro de las Energías Renovables? [inarquia.es](https://inarquia.es/mar-futuro-energias-renovables/). <https://inarquia.es/mar-futuro-energias-renovables/>
- Jacinto, GP, Clementi, LV, Carrizo, SC y Nogar, L. (2014). Vientos para el cambio. Territorios, energía eólica y cooperativas de electricidad en el sur bonaerense. *Revista Transporte y Territorio* , (11), 70-85. : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333032406005>
- Juárez Trujillo, A. J. (2011). Optimización un Sistema de Destilación Solar de Agua Basado en Humidificación-He humidificación de Aire Mediante Simulación Dinámica en Trnsys. [Tesis de Maestría, Cemtrp de Investigación en Materiales Avanzados]. Repositorio Institucional. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/503>
- Justo, J. B., & Martín, L. (2015, April 1). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Cepal. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/6d7bcc6b-611c-4d43-a7d6-55e9652da696>
- Lara. (2023, May 24). Ciclo hidrológico ¿Qué es? [airwater.mx](https://airwater.mx/ciclo-hidrologico/). <https://airwater.mx/ciclo-hidrologico/>
- Lucera. (2023). Energía Undimotriz: Definición y Ventajas [Blog]. Lucera. <https://lucera.es/blog/energia-undimotriz>
- Melo Leon, S. F. , Riveros Salcedo, L. C., Romero Otálora, G. , Álvarez A. C. , Díaz Giraldo, C., Calderón Díaz, S. L., (2020). " Efectos económicos de futuras sequías en Colombia: Estimación a partir del Fenómeno El Niño 2015 ", Archivos de economía. 466. 1-34. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Econmicos/466.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2021). San Andrés, Providencia y Santa Catalina con el Gobierno Duque tienen la inversión más alta en su historia en materia de

- agua y saneamiento. minvivienda.gov.co. <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/san-andres-providencia-y-santa-catalina-con-el-gobierno-duque-tienen-la-inversion-mas-alta-en-su-historia-en-materia-de-agua-y-saneamiento?&idss=D5kbMLaHZXxWOt4>
- Moreno Benavides, J, A (2011). Publicación: Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://hdl.handle.net/10614/3077>
- Nava Escudero, C. (2022). Desalación de agua y justicia energética. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Revista Mexicana De Derecho Constitucional*, 1(47), 243–272. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484881e.2022.47.17529>
- Nunez, C. (2024). Las fuentes de agua dulce del mundo reciben contaminantes procedentes de una amplia gama de sectores, que amenazan la salud humana y de la fauna. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/contaminacion-del-agua>
- Ojeda Hernández, D. A. (2020). Estudio técnico y económico de dos tecnologías de potabilización de agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure- La Guajira. [Trabajo de grado, Corporación Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11323/6916>
- Ospina, C., & Pinilla, Álvaro. (2008). Desarrollo de una bomba reciprocante de doble efecto para desalinización de agua por medio de ósmosis inversa. *Revista De Ingeniería*, 1(27), 49-55. <https://doi.org/10.16924/revinge.27.5>
- Piamba Escobar, D. (2014). Disponibilidad, cantidad y calidad del recurso hídrico en la Guajira en el siglo XXI. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50140>
- Presidencia de la República de Colombia. (2007). Decreto 1575 de 2007 - por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Diario Oficial No.46.623. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Rodríguez Ríos, N y Tovio Núñez, V. (2018). La inversión en la calidad del agua en la Región Caribe Colombiana: Un análisis de eficiencia y productividad. [Trabajo de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional.. <http://dx.doi.org/10.57799/11227/3417>

- Rojas Arenas, I., Lopera Estrada, C., & Restrepo Henao, N. (2021). Diseño De Desalinizador De Agua Para Solucionar Los Problemas De Escasez De Agua Potable En Poblaciones Vulnerables De La Costa Colombiana. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2021*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1687>
- Segui, P. (2024). Energía marina: Qué es, tipos, ventajas y desventajas. *ovacen.com*. <https://ovacen.com/energia-marina/>
- Soto Álvarez, G., & Soto Benavides, C. (2013). Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para suministro de agua potable en Isla Damas. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230987>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Colombia. (2020) Informe Nacional de Calidad del Agua para el Consumo Humano. (INCA). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>
- Toro González. D, Espinosa Espinosa. A.(2019) Capítulo 4. Acueducto y alcantarillado para la inclusión y la transformación social. En. Casa Grande Caribe. Banco de la Republica de Colombia.. (159-191). <https://repositorio.banrep.gov.co/items/6a6229b3-ad1e-411c-b82d-ad3a1c968a18>
- Truque, P. A. (2019). Armonización De Los Estándares De Agua Potable En Las Américas. Organización de Estados Americanos (OEA). <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/armoniz.estandaresaguapotable.pdf>
- Valdivieso Hernández, M. J. (2022). Planta desalinizadora : diseño y potenciales beneficios socioambientales en la aplicación de riego en La Guajira. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10554/59286>
- Veolia Colombia. (2024, May 23). Alertas Informativas - La Guajira. <https://www.guajira.veolia.co/medios-comunicacion/alertas-informativas?page=18>
- Villagram Morales, S. I. (2017). Factibilidad De Desalinización De Agua De Mar Para Pequeñas Comunidades Del Norte De Chile. Factibilidad De Desalinización De Agua De Mar Para Pequeñas Comunidades Del Norte De Chile. [Trabajo de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145387>

- Zarza Moya, E. (1997). Desalinización de agua de mar mediante energías renovables. En. Actas del I y II seminario del agua. Instituto de Estudios Almerienses. , (199-226).
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/566687.pdf>
- Zarza, L.F. (2024). Ejemplos de éxito mundiales de la desalación como fuente de agua potable. iAgua.es. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/ejemplos-exito-mundiales-desalacion-como-fuente-recursos>
- Zúñiga Santana, J. F., Fernández Rondón, M., Oviedo Rivero, I., y González Sánchez, K..(2005) La energía nuclear para la desalinización del agua de mar. Nucleus, (38).
<http://nucleus.cubaenergia.cu/index.php/nucleus/article/view/462>