



**DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE UN MODELO DE
DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR ACOPLADO A UNA CELDA
MICROBIANA DE DESALINIZACIÓN PARA COMUNIDADES
VULNERABLES EN RIOHACHA GUAJIRA**

**DETERMINATION OF THE FEASIBILITY OF A SEAWATER
DESALINATION MODEL COUPLED TO A MICROBIAL DESALINATION
CELL FOR VULNERABLE COMMUNITIES IN RIOHACHA, GUAJIRA.**

Daniel Fernando Daza González
Laura Alejandra Rodríguez Mancipe

Código: 2101-016

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2021-1

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

**DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE UN MODELO DE DESALINIZACIÓN DE
AGUA DE MAR ACOPLADO A UNA CELDA MICROBIANA DE DESALINIZACIÓN PARA
COMUNIDADES VULNERABLES EN RIOHACHA GUAJIRA**

Daniel Fernando Daza González
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe
Código: 2101-016

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Carel Elizabeth Carvajal Arias.

Áreas de investigación:
Sistemas Territoriales - Salud ambiental

Línea de Investigación:
Salud ambiental - Vida Saludable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2021

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

Dedicatoria

A nuestros docentes Carel Carvajal y Hommy Copete por guiarnos y servir como inspiración para la realización de este trabajo y hacer parte de este sueño, a nuestros padres por apoyarnos en nuestro proceso de formación y crecimiento personal.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

Agradecimientos

Queremos agradecer principalmente a nuestros padres y familiares por ser aquellos que nos han guiado y acompañado a lo largo del camino confiando en que podíamos lograrlo, por sus consejos, por su amor y dedicación cuyo esfuerzo dan resultado a dos personas de excelente calidad humana alcanzando los primeros pasos de su proyecto de vida.

A nuestra directora de proyecto de grado Carel por su paciencia, dedicación y amistad a lo largo de la construcción de este trabajo

Finalmente agradecemos a Dios por permitirnos encontrar a la pareja de tesis perfecta, a ese amigo/a que me acompañó de principio a fin, en las buenas y en las malas y con el cual logramos alcanzar este sueño.

Tabla de Contenido

1. Resumen	8
1.1. Abstract	9
2. Introducción	9
3. Planteamiento del problema	11
4. Pregunta de investigación	14
5. Justificación	14
6. Objetivos Generales y específicos	16
6.1. Objetivo general	16
6.2. Objetivos específicos	16
7. Marco de referencia	16
7.1. Marco Geográfico y descripción del territorio.....	17
7.2. Marco Institucional	20
7.3. Estado del Arte.....	22
7.4. Marco Teórico - Conceptual	23
7.5. Marco Legal y Normativo.....	30
8. Metodología.....	34
8.1. Metodología por objetivos	34
8.1.1. Primer objetivo específico.....	34
8.1.1.1. Criterios de inclusión:.....	35
8.1.1.2. Criterios de exclusión:	35
8.1.2. Segundo objetivo específico.....	35
8.1.3. Tercer objetivo específico	35
9. Plan de Trabajo	40
10. Resultados, análisis y discusión de resultados	40
10.1. Identificar las alternativas de desalinización de agua de mar que puedan ser acoplados a los modelos de celdas de desalinización microbiana.....	40
10.2. Comparar costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbiana con los sistemas tradicionales	45
10.3. Establecer los sistemas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbianas que se adaptan mejor a las condiciones sociales y ambientales de Riohacha.....	50
11. Conclusiones	52

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

12. Recomendaciones.....	52
13. Referencias Bibliográficas.....	53
Anexos	64

Listado de Tablas

Tabla 1.....	25
<i>Clasificación de agua salada según concentración de sólidos totales disueltos.....</i>	25
Tabla 2.....	25
<i>Tipos de tecnologías de desalinización.....</i>	25
Tabla 3.....	26
<i>Capacidad instalada mundial de las distintas tecnologías utilizadas en la desalinización</i>	26
Tabla 3.....	31
<i>Matriz Normativa Ambiental</i>	31
Tabla 4.....	37
<i>Matriz Metodológica.....</i>	37
Tabla 5.....	41
<i>Ventajas y desventajas de los métodos de desalinización.....</i>	41
Tabla 6.....	45
<i>Coefficiente de la regresión lineal de la técnica entre las variables consumo energético y costo de desalinización por metro cúbico</i>	45
Tabla 7.....	46
<i>Ecuaciones obtenidas mediante el modelo de regresión lineal para calcular el costo de los datos ausentes.....</i>	46
Tabla 8.....	47
<i>Coefficiente de la regresión lineal de la técnica entre las variables consumo energético y la capacidad de la planta.....</i>	47
Tabla 9.....	48
<i>Ecuaciones obtenidas mediante el modelo de regresión lineal para calcular la capacidad de las plantas de los datos ausentes</i>	48
Tabla 10.....	48
<i>Comparación de costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización.....</i>	48
Tabla 11.....	50
<i>Parámetros físico-químicos del agua de mar de Riohacha año 2019</i>	50

Listado de Figuras

Figura 1	13
<i>Mapa de cobertura de acueducto de la Guajira.....</i>	13
Figura 2	17
<i>Mapa de Riohacha.....</i>	17
Figura 3	18

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

<i>Clasificación climática de Riohacha</i>	18
Figura 4	19
<i>Demanda y disponibilidad hídrica de Riohacha</i>	19
Figura 5	20
<i>Oferta Ambiental y drenajes de Riohacha</i>	20
Figura 6	22
<i>Organigrama Institucional</i>	22
Figura 7	27
<i>Principios del proceso de ósmosis natural</i>	27
Figura 8	28
<i>Principios del proceso de Ósmosis Inversa</i>	28
Figura 9	30
<i>Funcionamiento de una celda de desalinización microbiana</i>	30
Figura 10	36
<i>Flujograma modelo que representa los pasos de la revisión sistemática</i>	36
Figura 11	43
<i>Gráfica Capacidad instalada mundial de desalación</i>	43

Listado de anexos

Anexo 1. Organigrama del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	64
Anexo 2. Organigrama de la Alcaldía de Riohacha.....	65
Anexo 3. Organigrama de CORPOGUAJIRA.....	66
Anexo 4. Metodología de investigación.	67
Anexo 5. Cronograma de actividades	68
Anexo 6. Matriz de datos de recolección sistemática	69
Anexo 7. Matriz de datos resultado de la regresión lineal	70

1. Resumen

La disponibilidad de agua dulce en la tierra es del 3%, lo cual es bajo teniendo en cuenta el crecimiento poblacional; en conjunto con la mala gestión del recurso hídrico son las principales problemáticas que afronta el municipio de Riohacha; por lo que se necesita de una tecnología que satisfaga la demanda de agua empleando agua salina, pero actualmente no se encuentran proyectos y/o estudios sobre técnicas de desalinización que contribuyan a mejorar las condiciones de acceso al agua apta para uso y consumo humano que sean viables en el territorio, por lo que se plantea determinar la viabilidad de un modelo de desalinización de agua de mar acoplado a una celda de desalinización microbiana para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura. La cual se desarrolló mediante un meta-análisis donde se recolectó la información, se elaboró un análisis estadístico, comparación entre las técnicas de desalinización convencionales y las celdas de desalinización microbiana (CDM) y finalmente se analizaron los resultados junto con las condiciones sociales y ambientales de Riohacha.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Dando como principal resultado que las técnicas acopladas a la CDM con bio-cátodo que son viables para su implementación en Riohacha son la Ósmosis Inversa (OI) y Destilación Flash Multietapa (MSF). Por ser las técnicas más eficientes, económicas, de alta disponibilidad a nivel mundial y facilidad de operación, aportando así al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar y agua limpia y saneamiento.

Palabras clave: **Desalinización, Celdas Microbianas, Agua Salada, Agua Dulce**

1.1. Abstract

The availability of fresh water on earth is 3%, which is low considering population growth; together with the mismanagement of water resources are the main problems facing the municipality of Riohacha; Therefore, a technology is needed that satisfies the demand for water using saline water, but currently there are no projects and / or studies on desalination techniques that contribute to improving the conditions of access to water suitable for human use and consumption that are viable in the territory, so it is proposed to determine the viability of a seawater desalination model coupled to a microbial desalination cell for vulnerable communities in Riohacha (Guajira) based on a literature review. Which was developed through a meta-analysis where the information was collected, a statistical analysis was developed, comparison between conventional desalination techniques and microbial desalination cells (CDM) and finally the results were analyzed along with social conditions and environmental of Riohacha. The main result is that the techniques coupled to CDM with bio-cathode that are viable for its implementation in Riohacha are Reverse Osmosis (RO) and Multistage Flash Distillation (MSF). Because they are the most efficient and economical techniques, with high availability worldwide and ease of operation, thus contributing to the fulfillment of the sustainable development objectives, ending poverty, zero hunger, health and well-being, and clean water and sanitation.

Keywords: **Desalination, Microbial Cells, Salt Water, Fresh Water.**

2. Introducción

El principal recurso que necesita el ser humano para su supervivencia es el agua, la tierra tiene una disponibilidad del precioso líquido de 1386 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales el 97% es agua salada de los océanos incluyendo la que se infiltra a pozos subterráneos y el otro 3% representa el agua dulce, de la cual alrededor del 69,7% se encuentra congelada en los polos, el 30% enterrado en los acuíferos y el 0,3% en lagos y ríos (Blanco y de la Torre, 2017). Sin embargo la escasez de agua es uno de los principales problemas que enfrentamos actualmente; la población mundial crece a un ritmo de unos 80 millones de personas al año (UNESCO, 2015), en el caso de Colombia crece alrededor de 1 millón de personas al año (DANE, 2018). El mal manejo de fuentes hídricas, vertimientos, cumplimiento parcial y falta de control estricto de la legislación y contaminación de los cuerpos de agua, generan pobreza, deserción escolar, hambre, enfermedades y conflictos culturales, siendo la Guajira una de las principales regiones afectadas, es por ello que se promueven buenas prácticas de protección y consumo del recurso hídrico en la región (Correa Assmus, 2018).

Actualmente se están empleando mecanismos de desalinización que utilizan combustibles fósiles, membranas y diferencias de presión, estas técnicas de desalinización se pueden clasificar como procesos térmicos y procesos de membranas; en los procesos térmicos se maneja la destilación, definida como el proceso de desalinización mediante el cual se reduce la presión de vapor del agua dando paso a una

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

evaporación súbita, el método de desalinización por congelación consiste en la separación de cristales de hielo puro de la solución. En cuanto a los procesos de membranas encontramos el método de desalinización de electrodiálisis que consiste en la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de una misma carga vayan a lugares diferentes a los iones de carga opuesta esto se logra mediante la aplicación de campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados a los electrodos y usando membranas que permitan solo el paso de los iones, así mismo en el proceso de desalinización de ósmosis inversa se hace pasar el agua aplicando una presión mayor a la presión osmótica mediante una membrana semipermeable logrando hacer pasar el agua pura o filtrando los iones de la sal.(Bonell Parada H ,2015 & Fernandez Contreras M, 2012).

Para el año 2017 se han implementado alrededor de 18.000 plantas de desalinización en el mundo que suplen entre el 1 al 3% de la demanda hídrica global (Martins, 2017). Diferentes países como Arabia Saudita, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Qatar, Bahrein, Libia, y Argelia ya dependen fuertemente de estos procesos de desalinización (Borja, 2013); Colombia posee una gran cantidad de recursos hídricos y una ubicación geográfica ideal para el aprovechamiento de estas tecnologías y a su vez cumplir los objetivos de desarrollo sostenible y agenda 2030.

Estas técnicas a pesar de ser ampliamente utilizadas a nivel mundial requieren de altas cantidades de energía y por tanto altos costos de producción que se ven reflejados en el precio del agua, por lo que se han ido desarrollando alternativas para impulsar los procesos de desalinización mediante las energías alternativas como las celdas de combustible microbiano que usan bacterias para convertir la energía química de la materia orgánica en energía eléctrica, a raíz de esto surge una variante de esta tecnología, las celdas microbianas de desalinización que pueden cumplir tres funciones simultáneamente, el tratamiento de aguas residuales, la generación de electricidad y la desalinización de agua; el primer dispositivo de este tipo de tecnología logró eliminar el 90% de la sal y generar una densidad de potencia máxima de 31 W/m³ utilizando concentraciones de sal de 5, 20 y 35 g/l de NaCl.(Cao et al., 2009; Wang & Wang, 2019)

Teniendo en cuenta el contexto de esta problemática nace la posibilidad de aprovechar el recurso hídrico disponible en los océanos y los pozos subterráneos donde se infiltra, mediante la desalinización, un proceso que consiste en retirar las sales disueltas del agua de mar o salobre, con el objetivo de obtener agua dulce (Cipollina, 2009). Sin embargo, el desarrollo tecnológico aún le queda mucho camino por recorrer para reducir su consumo energético, integrar el componente ambiental y hacerlas más económicamente viables, teniendo en cuenta lo anterior surge la pregunta ¿Cuál es la viabilidad de una celda microbiana acoplada a métodos de desalinización de agua de mar para comunidades vulnerables como Riohacha Guajira en términos de sostenibilidad y sustentabilidad?

El objetivo de esta investigación fue determinar la viabilidad de un modelo de desalinización de agua de mar acoplado a una celda microbiana de desalinización para comunidades vulnerables en Riohacha - Guajira, a partir de una revisión de literatura. Para dar cumplimiento a este objetivo se partió del planteamiento del problema en el cual se identificó un vacío de información asociada a este tipo de técnicas que pueden contribuir a la reducción de la escasez de agua apta para el uso y el consumo humano en Riohacha - Guajira, posteriormente se especificó la importancia de esta investigación desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, luego se analizaron los marcos de referencia donde se encontró información relacionada con la geografía, descripción del territorio, y su organización institucional, por otra parte se encuentra información asociada a los antecedentes y el estado actual de la investigación, sus teorías y conceptos relacionados con la gestión del recurso hídrico, las diferentes técnicas de

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

desalinización, entre otros conceptos relevantes para la investigación; también se realizó una revisión de la normatividad relevante para el proyecto, más adelante se desarrolló la metodología donde se definió el método, el alcance, las técnicas e instrumentos necesarios para la investigación, posteriormente se presentaron los resultados con su respectivo análisis y discusión para finalmente dar las conclusiones y recomendaciones. Se espera que este documento contribuya al desarrollo de proyectos que empleen la tecnología recomendada para mejorar la calidad de vida de la población y la gestión del recurso hídrico en el territorio.

3. Planteamiento del problema

La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático (Pedraza & Vesga, 2019). El agua potable es un recurso fundamental para la salud y el desarrollo de actividades económicas tales como la industria y la agricultura. Según datos del World Resources Institute cerca de 1.000 millones de personas viven en regiones con escasez de agua o en vulnerabilidad de escasez y hasta 3.500 millones podrían sufrir escasez de agua en 2025. Entre los países más afectados por la escasez de agua se encuentran Kuwait, Bahrein, Emiratos Árabes Unidos, Egipto y Qatar, países que han invertido en investigación y desarrollo de tecnologías para la desalinización de agua y de las cuales dependen fuertemente en la actualidad. (World Resources Institute, 2021)

Las principales causas de la escasez del recurso son la contaminación de las matrices agua, suelo y aire, las prolongadas sequías producto del cambio climático, el descontrolado uso del agua en los patrones de producción y consumo y las falencias en las políticas de los estados para regular su captación, utilización y consumo; causando numerosas enfermedades producto del consumo de agua contaminada y falta de saneamiento básico, hambre producto de la incapacidad para producir alimentos, desaparición de especies vegetales, conflictos de uso y pobreza. (Peña, 2007)

América Latina cuenta con una tercera parte del agua dulce del planeta, es decir una dotación per cápita de alrededor de 23.000 metros cúbicos de agua por persona al año, 3 veces más que la media mundial; sin embargo se presentan importantes desigualdades, que no son creadas directamente por el hombre, sino por la naturaleza. América Latina presenta una distribución geográfica del agua desigual, con zonas extraordinariamente ricas y otras más secas, y con el 80% de la lluvia concentrada en pocos meses del año. Estos hechos provocan escasez en algunos lugares y durante determinados períodos, y está limitando el desarrollo de la agricultura irrigada, la industria, la minería, la producción hidroeléctrica, e incluso ocasionando conflictos entre sectores debido a la competencia por el recurso. (Musseta, 2013).

Colombia es un país que presenta gran disponibilidad hídrica, es catalogado como el cuarto país en el mundo en cuanto agua se refiere, sin embargo el acelerado crecimiento de la población ejerce una gran presión en el recurso por la alta demanda hídrica que se requiere para mantener la estructura socio-económica; en los países donde la disponibilidad hídrica es de 1000 m³ por habitante al año se considera que tiene escasez de agua, Colombia por su parte para el año 1985 tenía una disponibilidad de aproximadamente 60000 m³ por habitante al año y para el año 2000 se redujo a 40000 m³ por habitante al año, producto del constante crecimiento del país, se estima que para el año 2048 se alcanzará el valor crítico de disponibilidad, en dado caso que el crecimiento poblacional y los hábitos de consumo se mantengan. (Domínguez Calle et al., 2008)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Según el estudio nacional del agua de 2018 elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales el recurso hídrico del país es vasto, sin embargo este recurso no está repartido de manera uniforme en el tiempo y en el espacio. La variación de la oferta en Mm^3 impacta sobre los sistemas naturales y las estructuras socioeconómicas regionales; siendo las áreas hidrográficas de mayor oferta el amazonas y el orinoco con un valor de 728247 Mm^3 y 533843 Mm^3 respectivamente y las de menor oferta son las áreas hidrográficas pacífico, Magdalena Cauca y el Caribe con valores de 287405 Mm^3 , 273338 Mm^3 y 200280 Mm^3 respectivamente. De igual forma es de gran importancia relacionar estos valores de la oferta hídrica y las precipitaciones en las diferentes zonas del país para establecer cuáles son los que presentan mayores deficiencias de este recurso, se estableció que en el norte del país se encuentran las subzonas con menores valores de escorrentía, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente el IDEAM establece que:

“La subzona con menor escorrentía corresponde a Directos Caribe-Ay. Sharimahana Alta Guajira, con 26 mm/año. Seguida por las subzonas del río Carraipía-Paraguachón, directos al Golfo Maracaibo y La Guajira, con 43 mm/año. Otras subzonas con bajos valores de escorrentía son el río Ariguani, en la cuenca del río Cesar (198 mm/año) y el río Ranchería, también en La Guajira (219 mm/año).” (IDEAM, 2018).

La Guajira ha sido uno de los departamentos en los cuales se ha identificado grandes problemáticas a nivel socioeconómico y ambiental, gran parte de estas problemáticas se encuentran asociadas al déficit hídrico para abastecer a la población y para la ejecución de diferentes actividades económicas como lo son la agricultura y la ganadería que garantizan la seguridad alimentaria y sanitaria de las comunidades que se encuentran en la región. (León Linares & Acosta Arias, 2015).

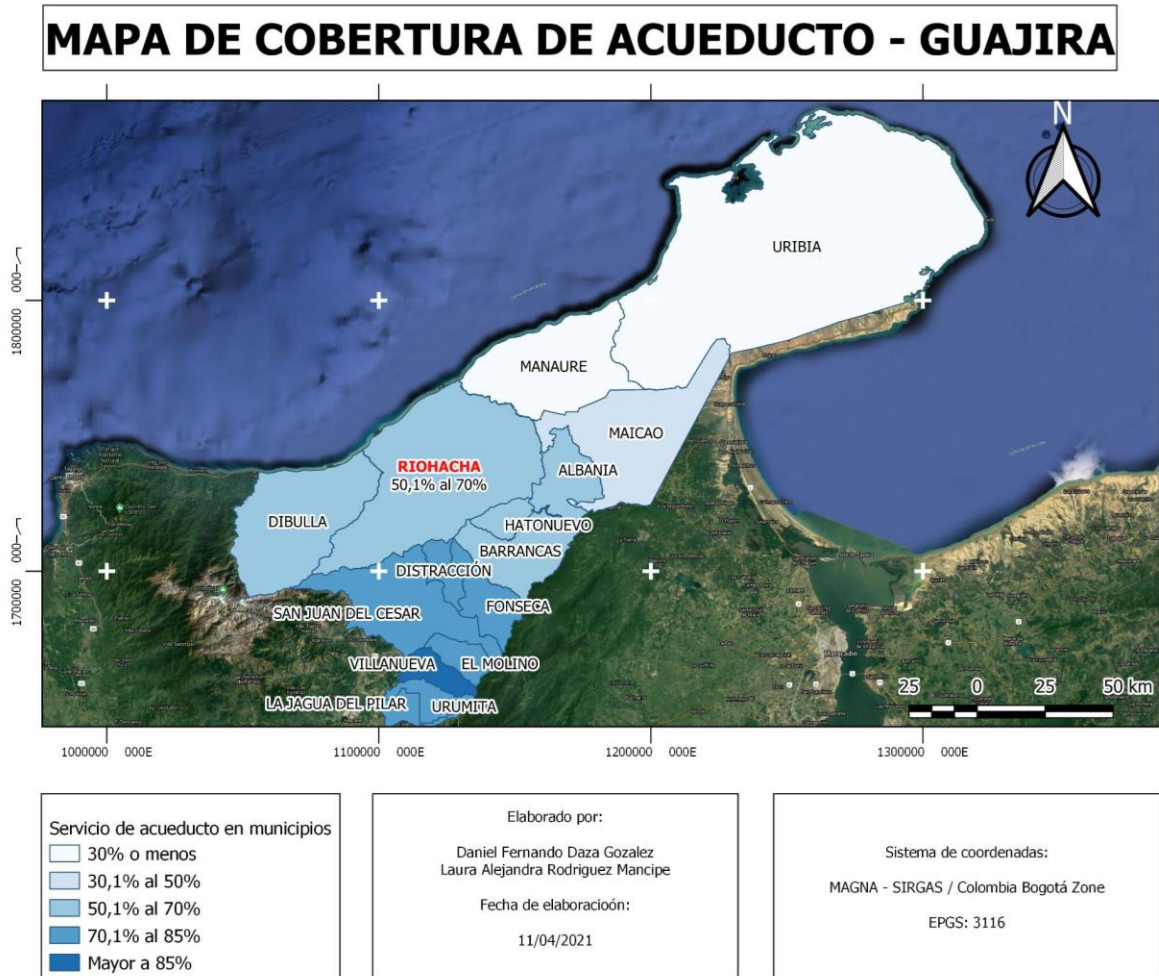
La escasez del recurso hídrico de uso doméstico y económico en el municipio de Riohacha es producto de la falta de capital para proyectos de abastecimiento hídrico, según la Contraloría General de la República en un boletín publicado en el 2018 se estableció lo siguiente:

“La Guajira aparece dentro de los 17 departamentos señalados de tener una ejecución presupuestal inferior al 80%; a enero de 2017 no se habían ejecutado poco más de \$39 mil millones para acueducto, alcantarillado y aseo, pese a las necesidades de inversión. Tampoco se han invertido recursos del SGP de municipios descertificados y la Gobernación no ha pagado subsidios del servicio de aseo en los municipios de Distracción y Riohacha. (Contraloría General de la Nación, 2018)

Actualmente según censos realizados por el DANE el porcentaje de servicios inadecuados en Riohacha es del 9.3%, Por otra parte, también tenemos que el abastecimiento en Riohacha es de 50.1 al 70 % como se muestra en el mapa a continuación

Figura 1

Mapa de cobertura de acueducto de la Guajira.



Fuente: Autores,2021; Sistema Estadístico Nacional,2020.

Según el DANE la cobertura de acueducto que tiene el municipio es del 69% para el 2018; por otra parte, según el Ministerio de Vivienda la continuidad más baja en el servicio de agua es en promedio 9 horas en zona urbana (Portal Minvivienda ABC Guajira Azul. (n.d.)) y a pesar de tener amplia cobertura el acueducto principal del municipio depende del Río Tapia y el Río Ranchería los cuales se ven afectados y reducen su nivel debido a la tala ilegal e indiscriminada de los bosques, incendios forestales naturales y antrópicos, los primeros causados por tormentas eléctricas donde la caída de un rayo genera el incendio, las altas temperaturas y las largas temporadas de sequías generados por fenómenos naturales del niño y la niña; de igual forma los incendios antrópicos cuya frecuencia es mayor son causados por quemas agrícolas para ejecutar actividades de siembra, fogatas, caídas de las líneas eléctricas, fuegos artificiales, entre otros que pueden llegar no solo a reducir sus niveles sino que también llega afectar la calidad del

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

agua de los ríos evitando así que pueda ser consumida por los animales y los seres humanos, es por esta razón que actualmente el acueducto de Riohacha se encuentra en alerta amarilla, desde el 16 de Diciembre del 2019 el caudal del río tuvo una notoria reducción. (El Herald, 2020; Umaña Ramírez, 2017).

Por otra parte Riohacha posee una población dispersa a nivel cultural producto de la falta de educación en temas de saneamiento básico y salud ambiental, dificultando la comunicación y la cooperación de las comunidades étnicas para el abastecimiento de agua dulce; Riohacha posee una población Afrocolombiana indígena total de 53.002 habitantes la cual se divide en los pueblos indígenas Wayúu siendo este el que ocupa la mayor parte del territorio, los Wiwa, Kogui, Arhuaco, Zenú, Kamkuamo, entre otros. (Sistema Estadístico Nacional, 2020).

El vertimiento y mal manejo de residuos y el acaparamiento de los recursos hídricos por industrias extractivas genera desabastecimiento de agua dulce a la comunidad, lo que puede llegar a causar un incremento de enfermedades por el consumo de agua insalubre, reducción de las actividades agrícolas y ganaderas, alta desnutrición y calamidades públicas por la muerte de ganado. Por otra parte también tenemos una reducción del turismo y la mano de obra, aumentando la pobreza y la deserción escolar que a su vez ocasiona un incremento en el analfabetismo de la Guajira, también genera un aumento en las necesidades básicas insatisfechas y la desaparición de especies animales y vegetales. (Castillo, 2017).

Esto conlleva a la necesidad de una tecnología que permita satisfacer la demanda de agua mediante el uso de agua salina, sin embargo estas tecnologías requieren altas cantidades de energía, son costosas, de difícil acceso y mantenimiento. De acuerdo a lo anterior, se definió como problema central *la ausencia de proyectos y estudios en el territorio que contribuyan a mejorar las condiciones de acceso al agua apta para uso y consumo humano, mediante procesos de desalinización que sean viables en términos de efectividad, costos y consumo energético*, por lo que se pretende determinar la viabilidad de las celdas de desalinización microbiana como una alternativa de vanguardia que acoplados a sistemas tradicionales permitan bajar costos de implementación y mantenimiento, contando a su vez con una alta adaptabilidad a las condiciones ambientales presentes en la región (León Linares & Acosta Arias, 2015).

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es la viabilidad en términos de efectividad, costos y consumo energético de una celda microbiana acoplada a métodos de desalinización de agua de mar para comunidades vulnerables como Riohacha Guajira?

¿Cuáles son las especificaciones técnicas de los métodos convencionales de desalinización para que puedan ser acoplados a una celda de desalinización microbiana que sea viable en términos de efectividad, costos y consumo energético?

5. Justificación

La protección del medio ambiente y la reducción de los impactos ocasionados por las actividades antrópicas son de vital importancia para conservar la salud ambiental de un territorio, las afectaciones provocadas en el ambiente tienen repercusiones no solo en la pérdida de biodiversidad sino que también trae consecuencias negativas sobre la salud humana. La salud ambiental se encarga de la prevención de

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

enfermedades ocasionadas por la contaminación del agua, aire y suelo por lo que se asocia como un componente de la salud pública (Ordoñez, 2000). Para mitigar estos impactos ocasionados en el ambiente y por consecuencia en la salud humana es de vital importancia aprender a gestionar nuestros recursos naturales y tomando en cuenta los problemas asociados a déficit del recurso hídrico apto para uso y consumo humano en la Guajira uno de los enfoques principales en esta investigación es mejorar la gestión del recurso hídrico del territorio.

La gestión del recurso hídrico “Se define como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2021). Teniendo en cuenta esta definición, la investigación desde la perspectiva de la ingeniería ambiental busca garantizar el acceso al agua apta para uso y consumo humano, y la reducción de la presión sobre las fuentes de agua dulce tradicionales mediante el uso de celdas microbianas de desalinización que en contraste con las metodologías de desalinización convencionales, generan menos impactos negativos, son más económicas y se podrían adaptar mejor a las condiciones ambientales del territorio de estudio. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se pretende que el proyecto abarque las tres grandes ramas de la ingeniería ambiental como se muestra a continuación:

En el contexto **ecológico** se debe tener en cuenta que las fuentes hídricas que abastecen las actividades extractivas de la región, los incendios forestales, la tala indiscriminada y el fenómeno del niño causan una disminución y contaminación de los cuerpos de agua superficiales y degradación al sistema de filtración natural de agua salina, poniendo en riesgo a su vez fuentes subterráneas de las que dependen numerosos municipios de La Guajira puesto que estos al no tener una recarga de agua dulce natural igual a la que se extrae, estos se recargan con agua salina que se infiltra. (Zechinnelli Lezama, 2018).

En el escenario **económico** se evidencia que Riohacha es una de las regiones más afectadas por el desabastecimiento de agua dulce, pues a pesar de ser un municipio con más de 287 mil habitantes cuenta con un acueducto que no supe la totalidad de la demanda de la población, esto le impide desarrollar las actividades económicas típicas de la región tales como turismo, comercio, ganadería, pesca y agricultura; compromete la salud pública, la educación y genera pobreza por lo que mediante el desarrollo del proyecto contribuirá al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible como hambre cero, mediante la ejecución de todas las metas establecidas en este objetivo ya que mediante la potabilización del agua se mejoran las condiciones para producción de alimentos. (Castillo, 2017; Sistema Estadístico Nacional,2020)

En cuanto al escenario **social** encontramos que el acceso al agua potable y saneamiento seguro son necesidades humanas básicas y son esenciales para la salud y el bienestar de la población, esta tarea es crucial para la reducción de la pobreza. Se estima que el departamento de la Guajira tiene una cobertura del 69% de acueducto en zonas urbanas y una cobertura del 7% en zonas rurales (Contraloría, 2019). Sin embargo el agua que se distribuye es de uso doméstico y no apto para consumo humano, lo que se ve reflejado con la situación de salud pública ya que el consumo de esta agua es la principal causa de enfermedades como la diarrea, el cólera o la disentería, siendo la población infantil la más afectada y la que muestra la más alta tasa de mortalidad del país. (Banco de la República, 2018)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Según la OMS 2010, es mucho más costoso tratar temas de salubridad que de sed, la reducción en los niveles de educación, productividad agrícola y ganadera, aumento en casos de desnutrición y una alta mortalidad infantil son causales de pobreza y falta de desarrollo. A pesar de los esfuerzos realizados por el programa “Guajira Azul” para aumentar la cobertura, la calidad del agua y saneamiento, no se han presentado resultados aun con los grandes recursos económicos que recibe el territorio con las regalías por extracción y explotación de recursos naturales, por lo que es necesario una tecnología de fácil acceso, económica, efectiva y de fácil mantenimiento, que se ajuste a las necesidades de la población y a las condiciones de la región para aprovechar el recurso hídrico marino y subterráneo; y contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible acordados por naciones unidas, específicamente, el objetivo fin de la pobreza mediante la ejecución de la meta 1.4 por la cual se mejorará el acceso a los servicios públicos como el agua potable; el objetivo hambre cero mediante la ejecución de todas las metas establecidas en este objetivo ya que mediante la potabilización del agua se mejoran la condiciones para producción de alimentos; el objetivo salud y bienestar mediante la ejecución de las metas 3.1, 3.2 y 3.3 ya que con agua limpia se reducen las tasas de mortalidad causada por enfermedades transmitidas por el agua; agua limpia y el objetivo saneamiento mediante la ejecución de las metas 6.1 y 6.4 ya que esto permitirá un accesos equitativo al agua potable a un precio asequible para todos y reducirá la presión que ejerce sobre el agua dulce usada para abastecimiento. (Instituto Danés de derechos humanos. (n.d.))

Es por esto que se crea la necesidad de determinar la viabilidad de las celdas microbianas en la desalinización de agua de mar para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) teniendo en cuenta las condiciones sociales, económicas y ambientales del municipio, aprovechando su fácil acceso al agua de mar. La implementación de tecnologías para la desalinización del agua de mar requiere de una evaluación de alternativas que sean eficientes, de bajo costo, bajo requerimiento energético y alto rendimiento con el fin de llevar el municipio hacia el desarrollo mediante el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

6. Objetivos Generales y específicos

6.1. Objetivo general.

Determinar la viabilidad de un modelo de desalinización de agua de mar acoplado a una celda microbiana de desalinización para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura

6.2. Objetivos específicos

1. Identificar las alternativas de desalinización de agua de mar que puedan ser acoplados a los modelos de celdas de desalinización microbiana
2. Comparar costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbiana con los sistemas tradicionales
3. Establecer los sistemas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbianas que se adaptan mejor a las condiciones sociales y ambientales de Riohacha

7. Marco de referencia

En este apartado se trataron los diferentes marcos de referencia del proyecto, con el fin de identificar diferentes variables, geográficas, institucionales, legales y conceptuales que deben ser tenidas en cuenta

a la hora de definir cuál es la alternativa de desalinización de agua de mar que más se adecua al ambiente y a las necesidades de la población; estos marcos de referencia son la base de todo el estudio.

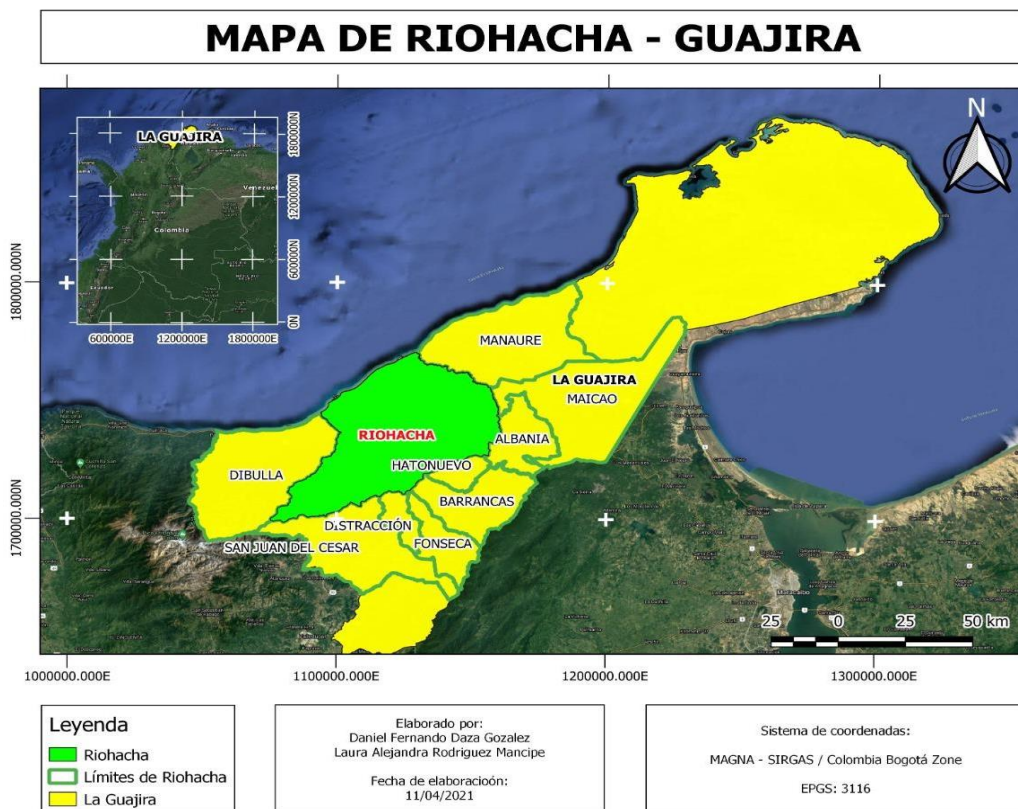
7.1. Marco Geográfico y descripción del territorio

La Guajira, esta se encuentra en el norte de la llanura del caribe y del país, este departamento limita hacia el norte con el mar caribe y la república de Venezuela, hacia el sur limita con el departamento del Cesar, y por el Oeste con el mar caribe y el departamento del Magdalena, su población es de 88.560 Hab (Proyección DANE, 2018). Este cuenta con una extensión de 20.848 km² la cual está dividida en 15 municipios, 44 corregimientos y 69 inspecciones de policía. (Gobernación de la Guajira, 2020)

Riohacha es municipio de la Guajira reconocido por ser la capital del departamento posee una población de 177.573 Hab y tiene una extensión de 3.084,45 km², dentro de esta extensión se encuentran zonas de resguardos indígenas, Parque Nacional Natural Sierra de Santa Marta y el Santuario de Flora y Fauna de los Flamencos. Sus límites son hacia el norte el mar caribe en la desembocadura del Río Ranchería; hacia el sur los Municipios de Hatonuevo, Barrancas, Fonseca, Distracción, San Juan del Cesar, Cerro Oqui cerca al nacimiento del Río Ranchería, por el oriente con el municipio de Albania y el río Ranchería que lo separa del Municipio de Maicao y del Municipio de Manaure y hacia el occidente el Municipio de Dibulla en la Boca de La Enea, desembocadura del río Tapias. (Alcaldía de Riohacha, 2020).

Figura 2

Mapa de Riohacha.



Fuente: Autores, 2021.

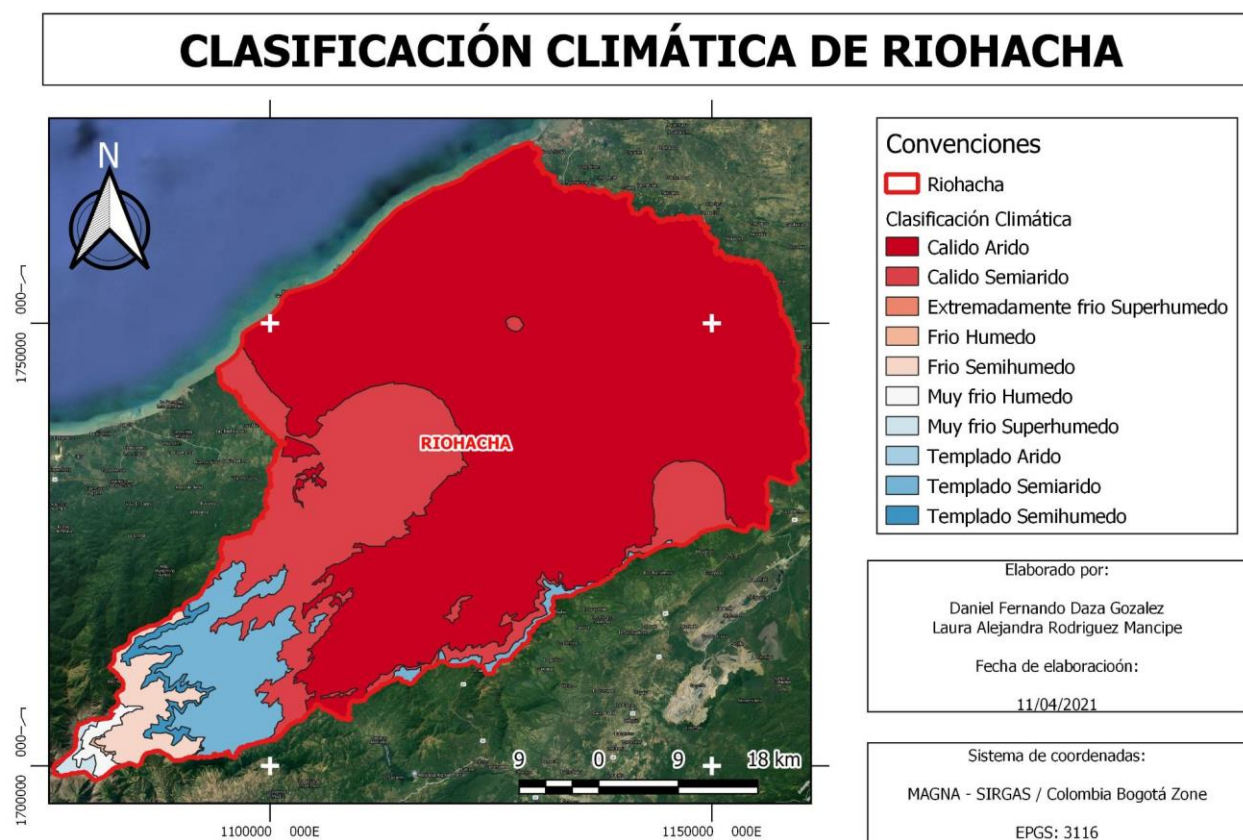
Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Dada la posición geográfica de la Guajira el clima es dependiente de los vientos alisios del noreste, que entran por el valle del río Ranchería y siguen por el río Cesar con velocidades de entre 1.38 y 5.03 m/s, provocando condiciones de aridez ya que las nubes son dirigidas a la Sierra Nevada de Santa Marta donde se presentan las mayores precipitaciones del departamento con valores promedio de 200 mm anuales en las zonas más secas y de 2000 mm anuales en las zonas húmedas, además los valles altos de los ríos San Miguel, Garavito, Ranchería y Barcino, en la Baja Guajira, se constituyen en la zona de mayor pluviosidad con promedios de 2500 mm anuales. La humedad relativa es baja y por ende la evapotranspiración bastante elevada con valores promedios entre 59.3% y 77.5% respectivamente, temperaturas medias anuales superiores a los 24°C, en la Media y Alta Guajira y parcialmente en la Baja Guajira. Las temperaturas inferiores a los 12°C se presentan en la Sierra Nevada de Santa Marta. Estas condiciones de evapotranspiración y temperaturas hacen que el departamento tenga requerimientos de agua para riego si las tierras son utilizadas en actividad agropecuaria (CORPOGUAJIRA, 2009; CIOH, 2010). La clasificación climática de Riohacha se presenta en el mapa a continuación

Figura 3

Clasificación climática de Riohacha



Fuente: Autores, 2021.

El régimen de lluvias es bimodal, con un primer período en los meses de abril, mayo y junio y otro, más representativo, en los meses de septiembre y octubre principalmente. De igual modo, los dos períodos

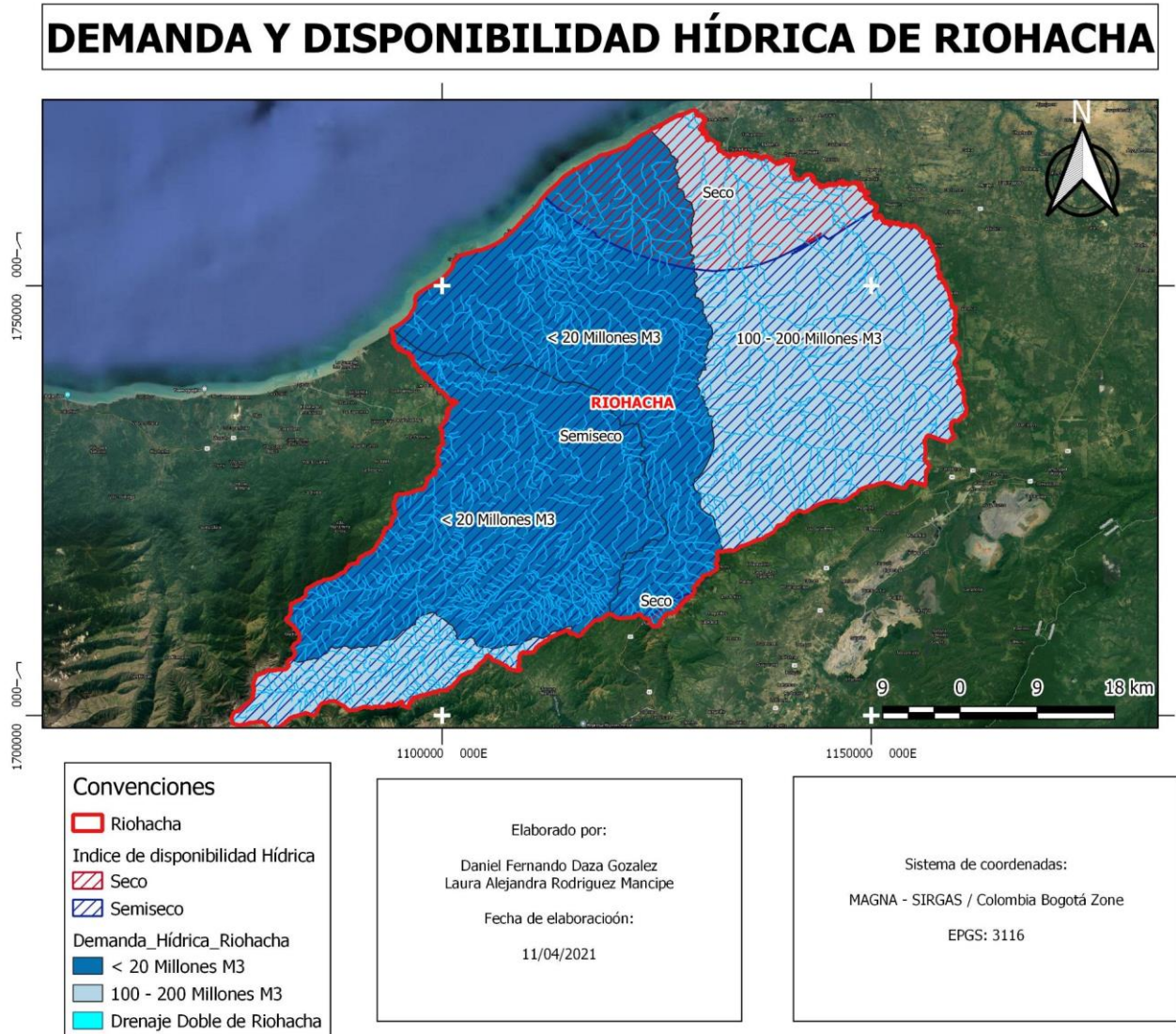
Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

más secos se registran en los meses de junio y julio, otro en enero, febrero y marzo, con temperaturas medias de hasta 34.3°C en la región Subtropical y de 30°C en la Tropical (CORPOGUAJIRA, 2009).

Figura 4

Demanda y disponibilidad hídrica de Riohacha



Fuente: Autores, 2021.

De acuerdo con la metodología de las zonas de vida de holdridge y las variables meteorológicas previamente mencionadas en la Guajira se presentan pisos térmicos Subtropical, Tropical, Premontano, Montano Bajo y Montano, distribuidos en zonas de vida de matorral desértico sub tropical, monte espinoso subtropical, bosque seco subtropical, bosque seco tropical, bosque húmedo tropical, bosque

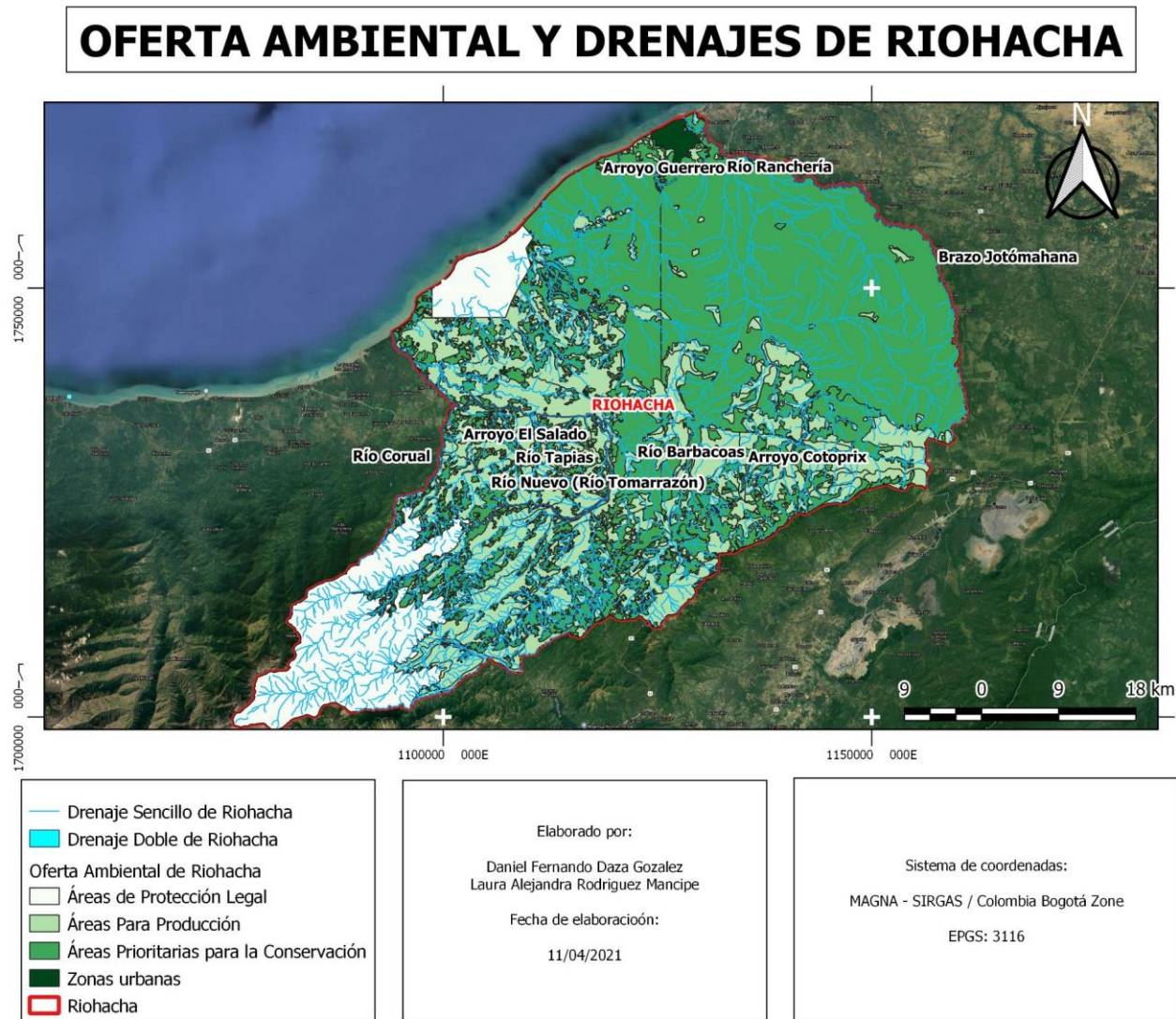
Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

húmedo premontano, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo montano bajo y bosque pluvial montano. (CORPOGUAJIRA, 2009)

Figura 5

Oferta Ambiental y drenajes de Riohacha



Fuente: Autores, 2021.

7.2. Marco Institucional

Las instituciones que se asocian con el proyecto de investigación y que se encuentran en la zona de estudio son el **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible** esta cumple una función de vital importancia en el desarrollo de políticas y condiciones para el aprovechamiento de los recursos naturales, es una de las instituciones más importantes que rigen el proyecto de desalinización para abastecer agua potable a la población. Según el Artículo 1 del decreto 3570 esta institución es quien gestiona el ambiente

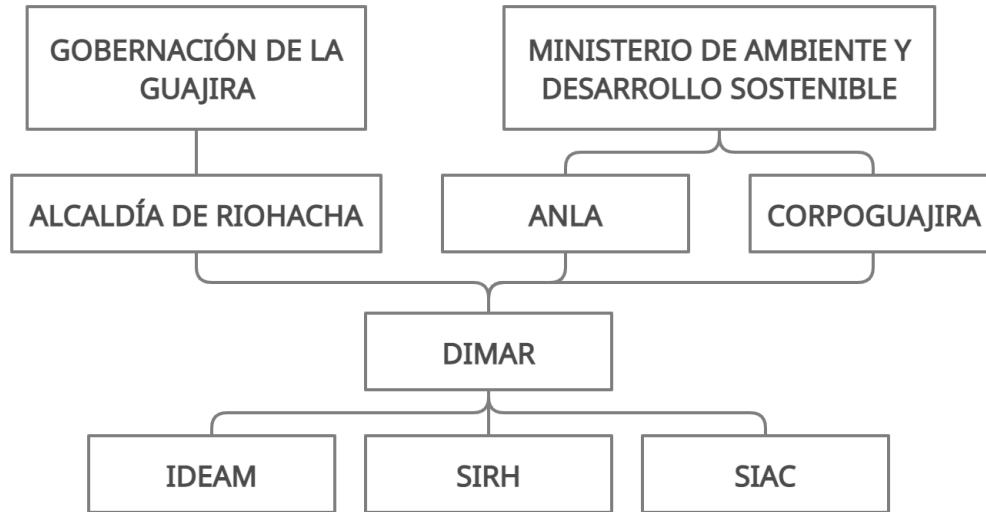
Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

y los recursos naturales, define las políticas para el aprovechamiento de los recursos asegurando el desarrollo sostenible. En su estructura organizacional podemos observar 5 secciones principales en las cuales se encuentran el despacho del ministro, el despacho del viceministro de ordenamiento ambiental del territorio y de políticas y normalización ambiental, la secretaría ambiental y los órganos, comités y consejos de asesoría y coordinación, la sección que compete al proyecto es la del despacho del viceministro de políticas y normalización ambiental en la dirección de asuntos marinos, costeros y recursos acuáticos y la dirección de la gestión integral del recurso hídrico.(Anexo 1) Por otra parte encontramos a la **Gobernación de la Guajira** cuyo deber es atender los requerimientos de la comunidad mediante la ejecución de planes, programas y proyectos que atiendan a las necesidades identificadas en el departamento, ligada directamente con la **Alcaldía de Riohacha** quien debe velar por el bienestar y la calidad de vida de sus habitantes, esta debe asegurar el cumplimiento de las leyes, debe liderar la modernización y transformación del municipio hacia el desarrollo sostenible, para la desalinización del agua que corresponde a este sector de la Guajira en Riohacha es competencia del alcalde conceder el permiso y dar seguimiento al proyecto es por ello que dentro de su organización las áreas a las cuales incumbe son la dirección de salud , la secretaría de gobierno, seguridad y convivencia ciudadana en temas de dirección de asuntos indígenas y de afrodescendientes, la secretaria de turismo y desarrollo económico específicamente en la dirección de turismo y desarrollo rural, la dirección de banco de programas y proyectos y finalmente la secretaria de infraestructura y servicios públicos.(Anexo 2) De igual manera **Corpoguajira** es una institución de gran importancia ya que esta es la que provee los permisos junto con la **Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)** para el uso y aprovechamiento del agua del mar de las zonas Costeras, dentro de su estructura funcional las áreas que competen al proyecto son la subdirección de gestión y autoridad ambiental ya que dentro de sus funciones se encuentra la administración integral del recurso hídrico y el licenciamiento, permiso y autorizaciones para la elaboración de proyectos en la región.(Anexo 3)Asociado a las entidades ambientales encontramos a la **Dirección General Marítima (DIMAR)** quien asesora al gobierno con relación a las políticas y programas relacionados con las actividades marítimas adoptadas y ejecutarlas dentro de su jurisdicción, de igual forma fueron de gran importancia para la elaboración del proyecto las instituciones que brindaron información como el **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)** cuya función es brindar información hidrológica, meteorológica y ambiental, **El sistema de información del recurso hídrico (SIRH)** quien brinda información relacionada con las fuentes hídricas subterráneas y superficiales de la región y **El Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)** quien gestiona la gestión de información ambiental del país para la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible.

Figura 6

Organigrama Institucional



Fuente: Autores, 2021

7.3. Estado del Arte

Poder aprovechar el recurso hídrico que yace en los océanos ha sido desde siempre un objetivo para la humanidad, el único obstáculo son las grandes concentraciones de sales que se encuentran disueltas en el líquido. En la prehistoria se creó el primer método térmico que es la evaporación basándose en el análisis y observación del ciclo del agua, en la antigua Grecia Demócrito y Tales de Mileto crearon las bases de la desalinización creando el método de filtración haciendo correr el agua de mar a través de la tierra, más adelante en el siglo I, Plinio publicó en su enciclopedia ensayos de métodos específicos para la desalación del agua. Un siglo más adelante Alejandro de Afrodisias detalló por primera vez la destilación, ya en la edad media el físico británico John Gaddesden explicó los fundamentos del proceso y sus ventajas en su obra “Rosa medicine” (Fajardo, 2018).

En el siglo XVI debido a la necesidad de abastecer de agua potable a las tripulaciones de las embarcaciones que debían hacer viajes marítimos extensos a causa del comercio de la época y los documentos redactados por Andrés Laguna (1499-1550) para el rey de España causaron que se empezara a utilizar alambiques, aparatos para desalinizar el agua que consisten en evaporación y condensación del agua. Giovanni Battista della Porta (1525-1615) llevó a cabo experimentos sobre desalinización y publicó la segunda edición del “Magiae Naturalis”. El avance más importante llegó en el año 1884 cuando James Weir diseñó una desalinizadora que empleaba para su funcionamiento la energía residual de la caldera de los barcos. (Borja, 2013).

Para 1940, Kuwait, Aruba y las Antillas Holandesas crean los primeros destiladores de 1 o 2 m³/d para uso en barcos. Diez años después se inician las primeras investigaciones sobre desalinización, con el objeto de construir grandes instalaciones de producción de agua dulce, dando como grandes resultados

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

el sistema de destilación súbita en 1957, lo que permite construir la primera planta de desalinización a gran escala en 1960 (Dévora et al., 2013).

En los años 80 con la aparición de la primera membrana comercial capaz de trabajar con agua de mar popularizó el proceso de ósmosis inversa puesto que la reducción a la mitad del consumo energético, mejoras en los tratamientos químicos y considerable reducción de la inversión permitió que los costes de la desalación y potabilización sean accesibles, sin embargo, se han presentado diferentes variaciones en la efectividad de remoción de sales según el tipo de tecnología a usar (Borja, 2013).

Para el año 2017 se han implementado alrededor de 1800 plantas de desalinización en el mundo que suplen entre el 1 al 3% de la demanda hídrica (Martins, 2017). Diferentes países como Arabia Saudita, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Qatar, Bahrein, Libia, y Argelia ya dependen fuertemente de estos procesos de desalinización (Borja, 2013).

Colombia posee una gran cantidad de recursos hídricos y una ubicación geográfica ideal para el aprovechamiento de estas tecnologías con el fin de alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible y cumplir con la agenda 2030, actualmente se desarrollan algunos proyectos de desalinización de agua, como es el caso de la planta desalinizadora en la región de Manaure, donada por el gobierno de Corea del Sur como parte de los acuerdos de cooperación internacional en el 2018, esta planta abastece 150 mil litros de agua potable a 7.500 personas y el otro proyecto es una innovadora técnica conocida como aero desalinizadores, un invento del ingeniero Juan Carlos Borrero que lleva desarrollando desde 2013, esta técnica utiliza la energía eólica para generar la presión necesaria para succionar el agua salada de pozos subterráneos y pasarla a través de una serie de filtros y membranas mezcladas con iones de cobre y plata que eliminan patógenos y retiran los sólidos disueltos, reemplazando los compuestos químicos más costosos que se utilizan normalmente en las plantas de ósmosis inversa (Harris, 2016).

7.4. Marco Teórico - Conceptual

Para el desarrollo del proceso investigativo es necesario la recolección, sistematización y exposición de los conceptos fundamentales que rodean la problemática, esto nos permitió orientar las búsquedas e identificar los recursos asegurando metodología necesaria para el procesamiento de los datos. Partiendo de teorías y conceptos que van desde lo general hasta lo particular y que están implícitas en los objetivos generales y específicos. Teniendo en cuenta que es un proyecto de investigación asociada con el manejo del recurso hídrico partimos de la comprensión del concepto de **gestión del recurso hídrico** definida como un proceso que “Promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2021); esta gestión se lleva a cabo gracias a la implementación de políticas, programas y proyectos que basados en el conocimiento del ciclo hidrológico y funcionamiento de los diferentes cuerpos de agua de un territorio, se puede definir, a partir de un análisis del mismo la mejor opción del manejo; de modo que se garanticen las condiciones adecuadas sobre las cuencas hidrográficas; dado que actualmente no se está llevando a cabo una buena gestión de las cuencas hidrográficas de la Guajira y la presión que ejercen las diferentes actividades antrópicas sobre las fuentes hídricas, el recurso hídrico para uso y consumo humano se ve limitado; sumado a esta presión también se están generando procesos de contaminación de los cuerpos de agua causando a su vez impactos en la **salud ambiental** definida como:

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

“disciplina que comprende aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida y el bienestar social, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psico-sociales. También se refiere a la teoría y práctica de la evaluación, corrección, control y prevención de aquellos factores en el medio ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones.” (Organización Mundial de la Salud, 1993)

Para gestionar el recurso hídrico de Riohacha Guajira se plantea la desalinización como un proyecto para reducir la presión que se ejerce sobre este recurso y para mejorar la salud ambiental del territorio, sin embargo para poder llevar a cabo este tipo de proyectos es necesario conocer la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento hídrico, comprendiendo como **calidad del agua** el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas del agua que en comparación con la norma puede ser o no apta para uso y consumo humano. (Ministerio de protección social, 2007)

Teniendo en cuenta que el recurso hídrico que se tendrá en cuenta en la investigación del proyecto de desalinización es agua de mar se define al **agua salina** recurso con el cual se tratará a lo largo del documento, el servicio geológico de Estados Unidos,(s.f.) define al agua salina por las siguientes concentraciones de sal, expresadas en partes por millón como se muestra a continuación:

- a. Agua dulce – menos de 1.000 ppm
- b. Agua ligeramente salina – desde 1.000 ppm a 3.000 ppm
- c. Agua moderadamente salina – desde 3.000 ppm a 10.000 ppm
- d. Agua altamente salina – desde 10.000 ppm a 35.000 ppm
- e. Agua del océano – contiene aproximadamente 35.000 ppm de sal.

La **fente de abastecimiento** definida como un depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas de Riohacha posee grandes cantidades de agua salina para transformar a agua potable que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el decreto 1575 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para uso y consumo humano; para ello es importante tener en cuenta la calidad del agua que es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia. (Decreto 1575 de 2007)

Este proceso de transformación se conoce como **desalinización** uno de los conceptos claves del presente proyecto, según Dévora González Ruiz, 2013 la desalinización es un “Proceso de separación de sales disueltas de aguas salobres o de mar para convertirlas en aguas adecuadas para consumo humano, industrial o de riego”. Para lograr este proceso se han desarrollado diferentes tecnologías que varían en la cantidad de energía consumida, en su diseño, en su producción o en el tipo de agua que se requiera tratar, pues la calidad del agua varía según la región y el subsuelo marino, la calidad del agua según la concentración de sólidos disueltos totales se muestra en la siguiente tabla.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Tabla 1

Clasificación de agua salada según concentración de sólidos totales disueltos.

Agua	SDT (mg/L)
Ultrapura	0.03
Pura	0.3
Desionizada	3.0
Potable	< 1 000.0
Salobre	1 000.0 - 10 000.0
Salina	10 000.0 - 30 000.0
Marina	30 000.0 - 50 000.0

Fuente: Dévora, González, Ruiz, 2013.

Para la desalinización y potabilización de agua son necesarias las **plantas de potabilización** las cuales se definen como el “Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.” (Decreto 1575 de 2007)

Los **procesos de desalinización** actualmente se encuentran clasificados en dos ramas, la primera son aquellos que utilizan combustibles fósiles y los segundos son los que utilizan membranas y diferencias de presión, la diferencia entre ellos es que unos separan el agua de las sales y los otros separan las sales del agua respectivamente. En la tabla 2 podemos ver una clasificación de los diferentes métodos utilizados según el tipo de separación que se quiere hacer.

Tabla 2

Tipos de tecnologías de desalinización.

Separación	Energía	Proceso	Método	
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (Flash)	
			Destilación multiefecto	
			Termocompresión de vapor	
			Destilación solar	
		Cristalización	Congelación	
			Formación de hidratos	
		Filtración y evaporación	Destilación con membranas	

Separación	Energía	Proceso	Método
Sales de Agua	Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica vapor
		Filtración	Ósmosis inversa
	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Fuente: Borja, 2013

Actualmente existen dos categorías generales para el proceso de desalinización del agua estos son los procesos térmicos y los procesos de membranas como los que se explica más adelante (Ramilo et al, 2003), Actualmente un 44,2% de las plantas desalinizadoras utilizan Evaporación Multi-Etapas Flash seguidas de un 39,2% que utilizan ósmosis inversa como se muestra en la tabla 3. (Lechuga et al., 2007)

Tabla 3

Capacidad instalada mundial de las distintas tecnologías utilizadas en la desalinización

Tecnología	Capacidad instalada M ³ / d	Distribución Porcentual
Evaporación Multi-Etapas Flash (MSF)	10 020 672	44,2%
Ósmosis Inversa (OI)	8 986 209	39,6%
Electrodialisis	1 262 929	5,6%
Destilación Multiefecto (MED)	921 387	4,1%
Compresión de Vapor (CV)	971 792	4,3%
Destilación Solar	510 043	2,2%
Congelación	210	0,0%
Total	22 674 242	

Fuente: Lechuga et al,2007

En los procesos térmicos se maneja la **destilación** definida como el proceso de desalinización mediante el cual se reduce la presión de vapor del agua dando paso a una evaporación súbita, este proceso se logra calentando el agua a su punto de ebullición con una fuente de vapor externa en una cámara con un orificio para reducir la presión de vapor del agua. Al momento de aumentar el vapor del agua este pasa a través de una superficie en la cual se deshace de la salmuera y el vapor de agua extraído se condensa sobre los tubos que conducen el agua de mar a la planta donde se realiza este proceso de desalinización, este condensado del agua repite el proceso varias veces en una cámara distinta que realice el mismo proceso anteriormente mencionado pero disminuyendo cada vez más la presión relativa entre ellas obteniendo el agua desalinizada como resultado del condensado de la última etapa.(Ramilo et al., 2003)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

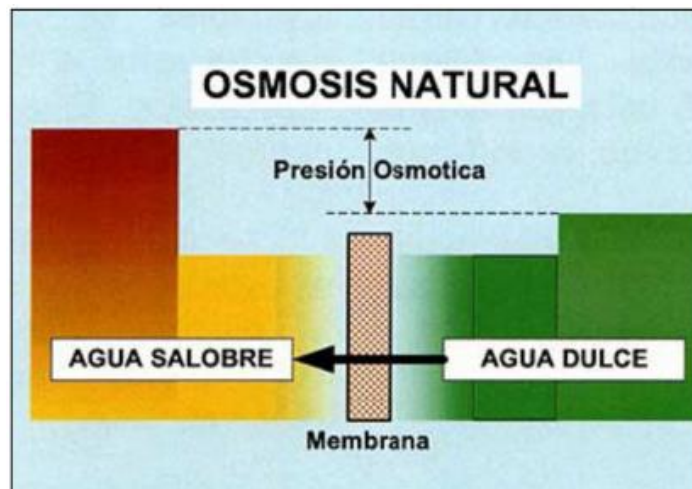
Por otra parte, encontramos el método de desalinización por **congelación** consiste en la separación de cristales de hielo puro de la solución, en este proceso se tienen en cuenta los puntos de fusión del agua dulce y del agua salada y los cristales de hielo puro obtenidos son aquellos que se encuentran libres de sales son posteriormente derretidos para obtener el agua dulce. (Bonell Parada H ,2015 & Fernandez Contreras M, 2012)

En cuanto a los procesos de membranas encontramos el método de desalinización de **electrodiálisis** que consiste en la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de un mismo signo vayan a lugares diferentes a los iones del signo opuesto esto se logra mediante la aplicación de campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados a los electrodos y usando membranas que permitan solo el paso de los iones de esta forma en un lado de la membrana se recolecta agua con alta cantidad de iones y al otro lado agua con una baja cantidad de iones. (Bonell Parada H ,2015 & Fernandez Contreras M, 2012)

Así mismo el principal proceso de desalinización de membrana es la **ósmosis inversa** en el cual se hace pasar el agua aplicando presión mayor a la osmótica mediante una membrana semipermeable logrando hacer pasar el agua pura u filtrando los iones de la sal. (Bonell Parada H ,2015) La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de ósmosis, fenómeno natural que se produce en las células mediante el cual soluciones con distintas concentraciones de soluto se ponen en contacto mediante una membrana semipermeable de manera que se igualan las concentraciones mediante el movimiento de soluto desde la solución más diluida hacia la más concentrada, hasta alcanzar el equilibrio entre las soluciones. La fuerza que produce ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la presión de sales en el interior de ambas soluciones.

Figura 7

Principios del proceso de ósmosis natural



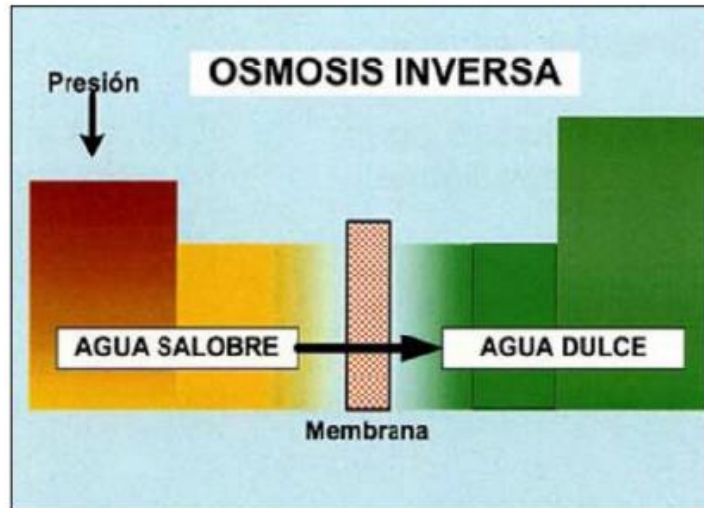
Fuente: Fernández Contreras M, 2012

Si al proceso se le aplica una presión en el recipiente de la solución más concentrada, el movimiento se produce desde ésta hacia la más diluida alcanzando se alcanza el equilibrio en función de la presión

aplicada, de las características de la membrana y de las concentraciones de ambas soluciones. Este proceso es lo que constituye la ósmosis inversa. (Fernandez Contreras M, 2012)

Figura 8

Principios del proceso de Ósmosis Inversa



Fuente: Fernandez Contreras M, 2012

Algunos de estos procesos generan bioenergía; se considera **bioenergía** aquella manera de generar energía a partir de materia viva o derivada de seres vivos; estos combustibles se clasifican en sólidos como leña o carbón y líquidos como etanol o biodiesel. La producción de los combustibles líquidos se fundamenta en la generación directa de combustibles o electricidad a través del uso de enzimas en sistemas bio electroquímicos donde los sustratos orgánicos se convierten en electrones exocelulares y protones que posteriormente pueden ser recuperados de forma directa para producir energía eléctrica, agua y dióxido de carbono. (Panwar et al., 2011).

La conversión de energía química en energía eléctrica a partir de procesos biológicos de microorganismos se denomina **bioenergética microbiana**. Los microorganismos más eficientes y más usados en este tipo de procesos se denominan bacterias electrogénicas que se encuentran en ambientes anaerobios como en sedimentos de cuerpos de agua. (Esteves, 2008). El término transferencia directa de electrones entre especies (Direct Interspecies Electron Transfer, DIET) parte de la existencia de microorganismos electro activos, capaces de donar o aceptar electrones a elementos conductores a través de unas proteínas denominadas citocromos C (Estévez et al., 2015).

Estos microorganismos anteriormente mencionados se conocen como **microorganismos electrogénicos**; son microorganismos capaces de transferir electrones al ánodo en ausencia de mediadores redox artificiales sino mediante contacto directo con el ánodo, eliminando el problema de la toxicidad en los dispositivos electroquímicos y los modelos propuestos con estos quedan restringidos al combustible orgánico y a la cepa de microorganismos utilizados como catalizador biológico. El género *Geobacter* es el modelo mejor estudiado gracias a su alta disponibilidad y su dominancia en las comunidades microbianas electrogénicas. (Bond et al., 2002)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

Las características de los microorganismos electrógenos se han utilizado en una propuesta de vanguardia ante los problemas de crisis energética y disponibilidad de agua no contaminada. La **celda de combustible microbiano** utiliza microorganismos para convertir la energía química que hay en un sustrato en energía eléctrica ya que durante la actividad metabólica se liberan electrones libres que pueden ser capturados por un electrodo (ánodo) en lugar de ser recibidos por un aceptor natural de electrones como el oxígeno. (Revelo et al., 2013).

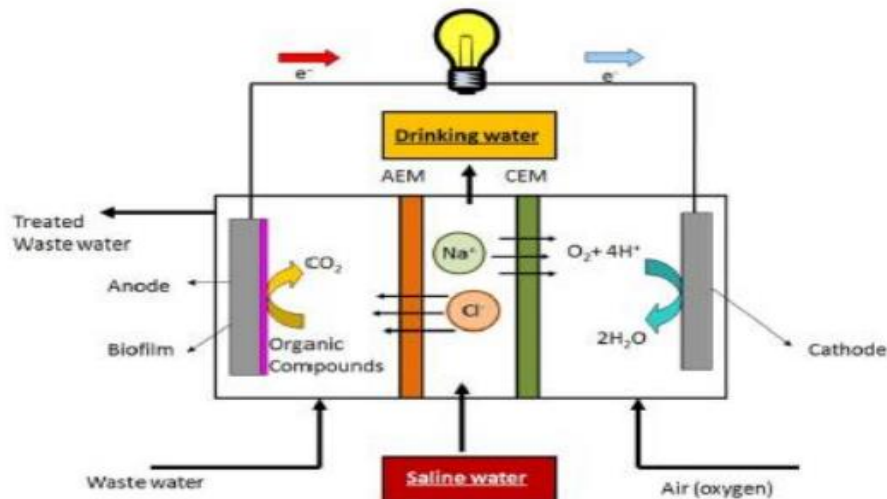
Este sistema tiene como ventajas que opera eficientemente desde bajas temperaturas hasta temperaturas cercanas a la ambiente, sus emisiones de CO₂ son reducidas en comparación con los métodos tradicionales de obtención de energía, además al aprovechar la materia orgánica de las aguas residuales como sustrato para la producción de energía, se consigue un pretratamiento de las aguas contaminadas y en el caso de CCM con biocatodos permite remoción de nutrientes y biorremediación (Huang et al., 2010). Algunos estudios han demostrado que este sustrato también puede ser obtenido de la materia orgánica y sólidos disueltos del agua de mar aprovechando las características de las sales como catalizadores naturales del proceso y realizando un proceso previo de desalinización, reduciendo el consumo energético de los métodos convencionales que en conjunto con la energía producida por las CCMs podrían ser auto sustentables.

Como desventajas tiene una baja densidad de potencia que puede ser solucionado con un diseño en serie para proporcionar mayor poder, el diseño más ampliamente utilizado y de bajo costo es una cámara construida en forma de "H", que consiste por lo general de dos cámaras conectadas por un puente que contiene un separador que normalmente es una membrana de intercambio catiónico (PEM) o Ultrex, (Bond et al., 2002).

Por otra parte se han creado las **celdas de desalinización microbiana** (CDM) a partir de la modificación de CCM en CDM con el fin de tratar agua salina junto con las aguas residuales en un solo dispositivo y al mismo tiempo producir energía. La característica distintiva entre las CDM y las CCM es la incorporación de una cámara de desalinización entre la membrana de intercambio aniónico (AEM) y la membrana de intercambio catiónico (CEM). Debido a que la diferencia de potencial entre las soluciones de ánodos y cátodos facilita el movimiento de cationes y aniones desde la cámara de desalinización a las cámaras catódica y anódica (Sevda et al., 2015). De manera que las bacterias presentes en la cámara anódica oxidan los sustratos orgánicos produciendo el flujo de electrones, mientras que en la cámara catódica los iones de hidrógeno reaccionan con el oxígeno y los electrones para formar agua. Gracias a esto se mantiene la neutralidad eléctrica y los aniones del agua salina (cloruro, sulfato, etc.) se dirigen al ánodo y los cationes (sodio, calcio, etc.) se mueven hacia el cátodo, produciendo agua desalada en un 90% (Wang & Ren, 2013)

Figura 9

Funcionamiento de una celda de desalinización microbiana



Fuente: Fernandez Contreras M, 2012

7.5. Marco Legal y Normativo

En la actualidad la constitución colombiana es comúnmente conocida como la “Constitución Ecológica” gracias a la gran cantidad de normas asociadas a un medio ambiente sano y a un manejo eficiente de los recursos naturales. De igual forma Colombia es conocido como uno de los países con mejor normatividad ambiental la cual ha sido alimentada de la normatividad internacional planteada inicialmente en las diferentes conferencias tales como la de Estocolmo y Río y precedidos por otros eventos y conferencias de importancia ambiental; a pesar que esta normatividad cada vez promete mayores grados de protección al medio ambiente, el cumplimiento de la misma no es el adecuado, no importa que tan bien establecida este una norma si las instituciones encargadas de aplicarlas no cuenta con las capacidades para hacerlas cumplir es por ello que si realmente se piensa en la protección del medio ambiente, se deben buscar los mecanismos para que la sociedad comprenda su utilidad y de cumplimiento a lo establecido en la normatividad, de igual forma es importante lograr el equilibrio entre el aspecto económico, ecológico y social, lograr un desarrollo sostenible minimizando los impactos ocasionados por el desarrollo de las diferentes actividades económicas. Es por ello que para la elaboración del presente documento se estableció un marco normativo relacionado a grandes rasgos el manejo, control, y calidad del recurso hídrico, relacionada con los beneficios que genera la implementación de plantas de desalinización, como por ejemplo el cumplimiento a un ambiente sano y al acceso a los servicios públicos como se establece en el artículo 365 de la constitución Política de Colombia, artículo que le está siendo vulnerado a la población que se encuentra en Riohacha Guajira. A continuación se presenta la normatividad asociada al proyecto de investigación:

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Tabla 3*Matriz Normativa Ambiental*

Matriz de Normatividad Ambiental				
Tema	Norma	Año	Entidad quien la expide	Descripción/Aporte
Derechos humanos	Constitución Política (Artículo 93)	1991	Asamblea Nacional Constituyente	Se reconocen los derechos humanos y se prohíben su limitación en los estados de excepción, prevalecen en orden interno. Estos se interpretan teniendo en cuenta los tratados internacionales de derechos humanos. (Asamblea Nacional Constituyente, 1991)
Delito ambiental	Ley 599	2000	Fiscalía	Se definen y dictaminan los delitos, específicamente delitos ambientales en el título XI (Fiscalía, 2000)
SINA	Ley 99	1993	Congreso de la República	Se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)(Congreso de la república , 1993)
Gestión de riesgo	Ley 1523	2003	Congreso de la República	formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.(Congreso de la República, 2003)
Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Decreto 2811	1974	Presidente de la República de Colombia	El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. La preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.(presidencia de la república, 1974)

Matriz de Normatividad Ambiental

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Tema	Norma	Año	Entidad quien la expide	Descripción/Aporte
Licencias ambientales	Decreto 1076	2015	Presidente de la República de Colombia	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible para la petición y otorgamiento de licencias ambientales (Presidente de la república, 2015)
1era norma ambiental	Ley 23	1973	Congreso de la República	Concede facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente (Congreso de la República, 1973)
ANLA	Ley/Decreto 3573	2011	Presidencia de la República de Colombia	Se crea' la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (Presidente de la república 2011)
Proceso administrativo	Ley 1437	2011	Congreso de la República	Código de proceso administrativo y contención administrativo (Congreso de la República, 2011)
Ambiente y Desarrollo sostenible	Decreto 1076	2015	Presidencia de la República de Colombia	Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.(Presidencia de la República de Colombia, 2015)
Acción de Tutela	art.86 Decreto Ley 2591	1991	Presidencia de la República de Colombia	Protege los derechos fundamentales-individuales. Se puede realizar ante todos los jueces (Presidencia de la República de Colombia, 1991)
Acción Popular	art. 88, 46, 9 Ley 472	1998	Congreso de la República	Evitar, impedir, prevenir y atender el riesgo contingente; restituir las cosas al estado inicial. Cuando falla en contra se hace apelación y luego casación. Se realiza ante un juez civil o administrativo (Congreso de la República,1998)

Matriz de Normatividad Ambiental

Tema	Norma	Año	Entidad quien la expide	Descripción/Aporte
-------------	--------------	------------	--------------------------------	---------------------------

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Acción de Grupo	art. 88, 46, 9 Ley 473	1998	Congreso de la República	Busca una indemnización por daños; se aplica cuando hay mínimo 20 personas. Se realiza ante un juez civil o administrativo (Congreso de la República, 1998)
Acción de Cumplimiento	art.87 Decreto Ley 393	1997	Congreso de la República	Es para obligar, requerir al funcionario público que cumpla con su deber legal. Se puede realizar ante todos los jueces(Congreso de la República,1997)
	Res. 1074	28/10/19 97	DAMA	Por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos(DAMA, 1997)
	Dec. 1594	26/06/19 84	Presidente de la República de Colombia	Usos del agua y residuos líquidos(Presidente de la República de Colombia, 1984)
Agua	Dec.1575	09/05/20 07	Presidente de la República de Colombia	Se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.(Presidente de la República de Colombia, 2007)
	Res. 2115	22/06/20 07	Ministerio de la Protección social Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible	Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano(Ministerio de la Protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible, 2007)

Fuente: Autores,2021

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

8. Metodología

La determinación de la viabilidad de las celdas microbianas en la desalinización de agua de mar para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura tuvo una investigación de **enfoque mixto** ya que tomando en cuenta nuestra pregunta de investigación se realizó un análisis y recolección de datos mediante revisión bibliográfica de los métodos existentes a nivel nacional e internacional y las celdas microbianas de desalinización; en los datos obtenidos en los procesos de desalinización se realizó una comparación sobre la efectividad de cada uno de los procesos y se tomó una decisión frente a cuál de las metodologías de desalinización acopladas a las celdas de combustible microbiano son las más efectivas y económicamente viables para que puedan ser implementadas en una región de bajos recursos como lo es Riohacha. (Hernández Sampieri, R, 2014).

El proyecto tuvo varias fases en la cual se establecieron diferentes alcances, para la primera fase el alcance de la investigación fue **exploratorio** ya que la investigación acerca de la desalinización en esta zona es un tema que ha sido poco estudiado y en gran medida con relación a los métodos biológicos para la desalinización del agua de mar, por otro lado tiene un **alcance descriptivo** ya que este busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de cada una de las técnicas de desalinización para poder ser sometidas a un análisis con relación a la variable de salinidad en el agua. El **alcance correlacional** se evidenció al comparar las tecnologías para la desalinización con relación a su efectividad, costo y al evaluar si estas técnicas se pueden optimizar al ser combinadas. (Hernández Sampieri, R, 2014).

Dado que para la investigación se partió de la comprensión de los conceptos y teorías generales u holísticas como la desalinización a evaluar cada una de las técnicas de desalinización posibles entre los métodos convencionales y biológicos, se tomó como referencia el **método deductivo** en el cual se establece como conclusión al documento la técnica más viable para implementar en el área de estudio.(Hernández Sampieri, R, 2014).

La técnica de la metodología de investigación consiste en una adaptación del meta análisis expuesto por Botella & Zamora (2017) que comprende en la recolección sistemática de información, su posterior clasificación y el análisis enfocado en la pregunta de investigación tomando como principales instrumentos los artículos científicos, libros y documentos que den sustento a la investigación, de igual manera se requiere se de software estadísticos para hacer el análisis cuantitativo y de esta manera obtener una conclusión acertada sobre el mejor modelo para implementar en Riohacha. La metodología por objetivos se muestra a continuación.(Hernández Sampieri, R, 2014).

8.1. Metodología por objetivos

8.1.1. Primer objetivo específico

En cumplimiento del primer objetivo se llevó a cabo la primera fase del meta análisis la cual consistió en la identificación del problema asociado al déficit hídrico presente en Riohacha- Guajira, tecnologías de desalinización y celdas de desalinización microbiana mediante la recolección sistemática de información en bases de datos como Mendeley, e-book, Google académico, Science Direct, Pubmed, entre otras bases de datos, siguiendo los criterios de inclusión y de exclusión como se puede ver en la figura 8 y determinando las técnicas más factibles para su acoplamiento con celdas microbianas de desalinización.

8.1.1.1. Criterios de inclusión:

- Artículos con datos cuantitativos y cualitativos sobre efectividad, costos y productividad sobre métodos de desalinización
- Artículos que tratarán temas relacionados con métodos de desalinización y celdas microbianas de desalinización.
- Artículos que tratarán temas relacionados con escasez y gestión del recurso hídrico en Riohacha - Guajira
- Artículos publicados desde 2010 a la actualidad

8.1.1.2. Criterios de exclusión:

- Artículos en exclusivamente en inglés o español.
- Artículos que no cuenten con relevancia científica o investigativa.
- Artículos con información antigua o desactualizada

8.1.2. Segundo objetivo específico

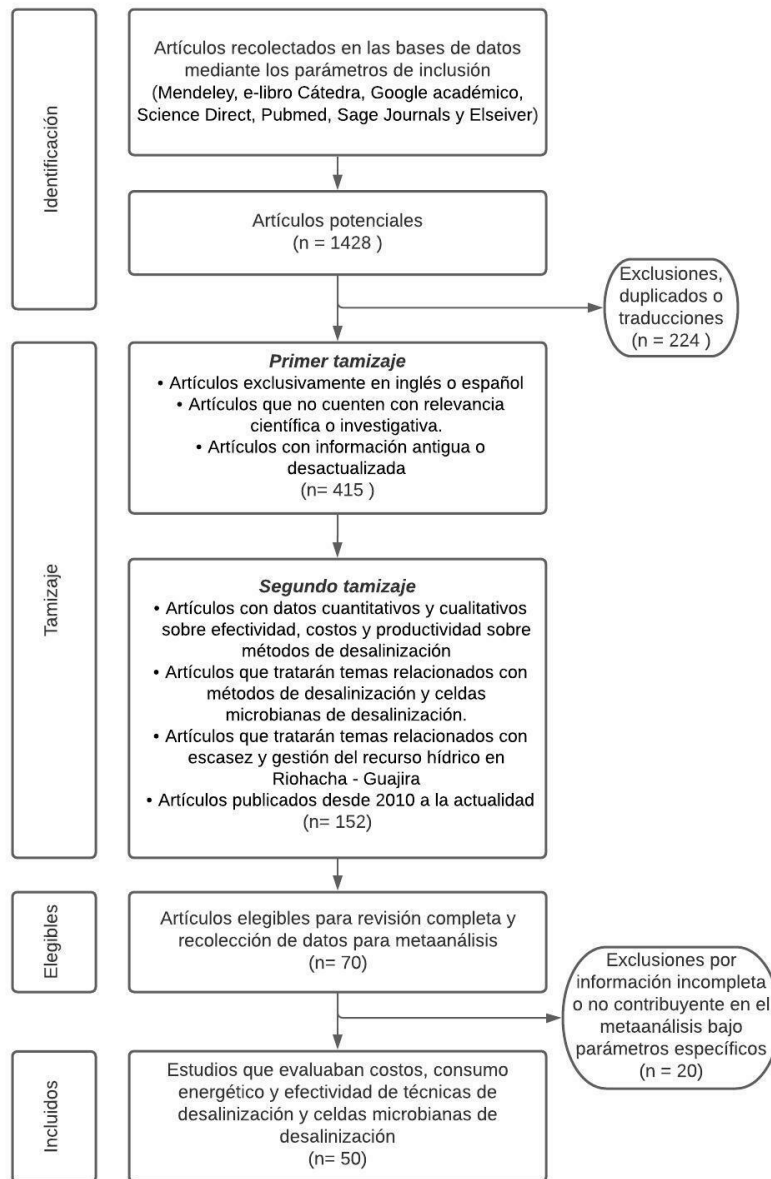
Para el cumplimiento del segundo objetivo se llevó a cabo la segunda fase del meta análisis, la cual consistió en la codificación y clasificación de la bibliografía consultada en una base de datos con las principales tecnologías de desalinización utilizadas en el mundo y de celdas de desalinización microbiana, de tal manera que se recolectó una muestra de datos homogénea sobre costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad. Posteriormente se realizó el análisis estadístico de las variables de estudio mediante las medidas de tendencia central y regresiones lineales sencillas utilizando el software estadístico SPSS versión 21.0; con el fin de determinar las relaciones entre las variables, aproximar datos incompletos o insuficientes e identificar las tecnologías más eficientes en relación costo - beneficio.

8.1.3. Tercer objetivo específico

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se llevó a cabo la tercera fase del meta análisis la cual consiste en el análisis y comparación de los resultados obtenidos en el segundo objetivo, con la normatividad ambiental vigente, la capacidad económica y los parámetros fisicoquímicos del agua de mar de Riohacha.

Figura 10

Flujograma modelo que representa los pasos de la revisión sistemática



Fuente: Autores, 2021

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Tabla 4*Matriz Metodológica*

Objetivo		Actividad	Enfoque	Alcance	Método	Metodología	
General	Específico					Técnica	Instrumento
		Identificar la problemática a trabajar en el proyecto de grado					- Conexión a internet
Determinar la viabilidad de un modelo de desalinización de agua de mar acoplado a una celda microbiana de desalinización para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura	Identificar las alternativas de desalinización de agua de mar que puedan ser acoplados a los modelos de celdas de desalinización microbiana	Realizar una revisión bibliográfica acerca de la guajira -Riohacha					- Computador - Revisión Bibliográfica
		Realizar una revisión bibliográfica sobre proyectos previos de desalinización					
		Revisar los parámetros físico-químicos del agua de mar del agua de Riohacha	Mixto	Exploratorio y descriptivo	Deductivo		- Meta-análisis - Análisis cualitativo
		Realizar una revisión bibliográfica sobre funcionamiento de las celdas de combustible microbiano					- Artículos científicos, libros, documentos
		Construir la base de datos de los métodos tradicionales de desalinización y las celdas de desalinización microbiana					

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Objetivo		Actividad	Enfoque	Alcance	Método	Metodología	
General	Específico					Técnica	Instrumento
Determinar la viabilidad de un modelo de desalinización de agua de mar acoplado a una celda microbiana de desalinización para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura	Comparar costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbiana con los sistemas tradicionales	<p>Hacer un análisis de las metodologías de desalinización encontradas</p> <p>Realizar una revisión de los porcentajes de desalinización por cada método</p> <p>Revisar si los parámetros removidos en las diferentes metodologías coinciden con los parámetros físico químicos del agua apta para uso doméstico y económico .</p>	Mixto	Correlacional	Deductivo	<p>Meta-análisis</p> <p>- Análisis cuantitativo</p>	<p>- Porcentajes de desalinización</p> <p>- Parámetros físicoquímicos del agua</p> <p>- Excel</p> <p>- Herramientas estadísticas</p>
Determinar la viabilidad de un modelo de		Realizar una revisión de costos de cada una de las alternativas de					- Modelos de simulación

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

desalinización de agua de mar acoplado a una celda microbiana de desalinización para comunidades vulnerables en Riohacha (Guajira) a partir de una revisión de literatura	Determinar cuál de los sistemas de desalinización acoplados a celdas de combustible microbiano se adapta mejor a las condiciones sociales y ambientales de Riohacha	desalinización. Análisis de efectividad de cada una de las alternativas consultadas Análisis costo-beneficio de cada una de las alternativas consultadas	<hr/> -Programas de cómputo para el manejo de datos
--	---	--	---

Fuente: Autores, 2021

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

9. Plan de Trabajo

El cronograma de actividades para el proceso de investigación se dividió en tres fases , la primera se realizó en el periodo 2020-2 en el cual se dio inicio al proceso de investigación, se estableció el problema mediante revisión bibliográfica en el cual se enfocaría este proceso, también se estructuró el documento de una forma generalizada , se comenzó con la revisión bibliográfica con relación a las técnicas de desalinización y la normatividad o los marcos referenciales relacionados con el proyecto; la segunda fases se realizó en el periodo 2021-1 en la cual se continuó estructurando el documento más específicamente se dio paso a la elaboración de resultados mediante la comparación de la efectividad de remoción de sal de los diferentes procesos , así mismo se realizó un análisis detallado de cada una de las técnicas y se determinó cual tenía una mayor efectividad y la posibilidad de combinar técnicas para una mayor remoción de sales en el agua de mar , finalmente la tercera fase se desarrolla en el periodo 2020-2 en el cual se perfecciona el documento se detallan los métodos y se verifica el análisis realizado, se efectúen los arreglos y finalmente se presenta frente a los jurados de evaluación; el cronograma se presenta en el anexo 5.

10. Resultados, análisis y discusión de resultados

10.1. Identificar las alternativas de desalinización de agua de mar que puedan ser acoplados a los modelos de celdas de desalinización microbiana

Para el desarrollo del primer objetivo se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos como Mendeley, e-libro Cátedra, Google académico, Science Direct, Pubmed, Sage Journals, Elseiver, entre otras bases de datos, obteniendo inicialmente 1428 artículos potenciales. A partir de este punto se realizó un primer tamizaje siguiendo con los parámetros de exclusión y de artículos duplicados obteniendo 415 artículos, el siguiente tamizaje se realizó siguiendo con los criterios de inclusión, obteniendo 205 artículos, posteriormente se realizó la revisión de introducción y resumen donde se obtuvieron 135 artículos relevantes para la construcción de la problemática, los marcos geográfico, institucional, estado del arte, normativo, teórico y en el análisis de resultados; y finalmente 70 artículos contribuyeron a la recolección sistemática de datos cualitativos y cuantitativos de los diferentes métodos de desalinización, de los cuales 20 se excluyeron por información incompleta o no contribuyente en el metaanálisis bajo parámetros específicos. Como se evidenció en la figura 8.

Tomando en cuenta lo anterior durante la revisión sistemática se identificaron ventajas y desventajas de las principales tecnologías de desalinización en el mundo, expuestas en la tabla 3 del marco teórico y conceptual que son: Destilación Multiefecto (MED), Destilación Flash Multietapa (MSF), Destilación por compresión de vapor (CV), Ósmosis inversa (OI) y Electrodiálisis (ED), como se muestra en la tabla 5.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Tabla 5

Ventajas y desventajas de los métodos de desalinización

Proceso	Ventajas	Desventajas
MED	<ul style="list-style-type: none"> - El consumo de energía es menor que en una planta de MSF. - Puede operar de 0 a 100% de su capacidad total desde que se mantenga el vacío en la cámara. - Es más eficiente en términos energéticos y de costo de producción. - El rango de salinidades a las que puede operar es muy amplio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesitan químicos antiincrustantes para evitar la formación de incrustaciones en la superficie interna del evaporador que pueden ser tóxicos. - Alta complejidad operacional. - Generación de residuos de salmuera con residuos tóxicos. - Costos de inversión altos.
MSF	<ul style="list-style-type: none"> - Los parámetros físico químicos del caudal de entrada no son tan determinantes como en otros procesos. - Fácil de construir y operar. - Puede procesar agua con una salinidad de hasta 70.000 mg/L. - La pureza del agua es muy alta (<10 ppm de SDT). - Los indicadores microbiológicos del agua no son tan determinantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es la técnica de desalinización que requiere un mayor consumo energético. - Agregar más etapas mejora su eficiencia pero aumenta costos de inversión y operación. - No puede operar a menos del 60% de su capacidad total. - Alta generación de residuos que deben ser tratados especialmente.
CV	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de operación a escalas pequeñas. - Puede acoplarse a otros métodos para aumentar su productividad. - Bajo consumo energético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los indicadores microbiológicos del agua no son tan determinantes. - Incapacidad para eliminar compuestos tóxicos. - Su tasa de eliminación de sales es de aproximadamente 50% por lo que no puede competir con los procesos térmicos MED y MSF.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

Proceso	Ventajas	Desventajas
OI	<ul style="list-style-type: none"> - Se opera a temperatura ambiente, reduciendo los problemas de corrosión. - La tasa de recuperación es muy baja cuando las salinidades son muy altas. - Alta tasa de desalinización a costos bajos. - Residuos bajos y aprovechables. - Tolerancia al cloro libre. Toleran concentraciones de CL2 de entre 0,1 y 0,5 ppm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ensuciamiento de las membranas. - Configuración compleja y por tanto requiere personal calificado para operación y mantenimiento. - Los pretratamientos son muy importantes para una adecuada operación. - Dependiendo la configuración el caudal de salida puede contener compuestos tóxicos o microorganismos.
ED	<ul style="list-style-type: none"> - Las membranas tienen una duración de hasta 15 años si se siguen recomendaciones. - Al acoplarse con OI pueden generarse tasas de recuperación de hasta el 98% 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos muy altos. - Solo se puede utilizar en aguas salobres (<10.000 ppm). - Se deben realizar pretratamientos especializados.

Fuente: Autores,2021

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Como resultado, se identificó que la evaporación multietapa flash (MSF) y la ósmosis inversa son los métodos de desalinización más utilizados en el mundo como lo exponen Lechuga et al., 2007 y Ramilo et al., 2003 en donde la distribución porcentual de estos tipos de desalinización son 44,2% y 39,6% respectivamente. En la figura 10 se puede observar cómo desde el año 2000 la evolución anual de la capacidad instalada mundial de desalación se concentró especialmente en la aplicación de tecnologías de membranas debido a su bajo coste de producción, mientras que las tecnologías térmicas se han desarrollado en países de medio oriente donde el precio de combustible es más accesible (Buendía, 2019). Por consecuencia, las investigaciones y desarrollo tecnológico se centraron en hacer de los métodos de membrana cada vez más eficientes y económicos.

Figura 11

Gráfica Capacidad instalada mundial de desalación



Fuente: Buendía, 2019

En la ósmosis inversa el flujo de permeado y el rechazo de sales son los parámetros clave en su funcionamiento. En condiciones específicas, el flujo y el rechazo de sales son propiedades intrínsecas del funcionamiento de las membranas y se pueden ver afectados por parámetros como la presión, la temperatura, la conversión y la concentración de sales de alimentación. En la práctica, si una o varias de estas variables no se encuentran en los rangos óptimos se dificulta su funcionamiento normal. El incremento de la presión de alimentación provoca un aumento del flujo de permeado del caudal de entrada, así como un aumento del rechazo de sales, sin embargo dependiendo del tipo y la calidad de la membrana tiende a un límite cuando el flujo es elevado hasta el punto de generar una desalación inferior al 70%. En cuanto a la temperatura el incremento de temperatura provoca un descenso en el paso de sales a través de la membrana, debido al aumento de la solubilidad de sales y al hinchamiento de la membrana; la temperatura ambiente no suele afectar mucho el proceso, sin embargo el desgaste de las membranas y caudales altos de producción generan mayor susceptibilidad a temperaturas cercanas al ambiente de la zona de estudio. La conversión del sistema es la proporción entre el flujo de permeado y el flujo de

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

alimentación; si se incrementa la conversión, el flujo de permeado decrece hasta el punto en el que dejará de producirse permeado si la concentración de sales alcanza un valor en el que la presión osmótica del rechazo es tan alta como la presión de alimentación, es decir el rechazo de sales, decrece cuando se incrementa la conversión. Además si la concentración de sales del caudal de entrada aumenta, el flujo de permeado disminuye ya que aumenta la presión osmótica de la solución y en consecuencia el rechazo de sales. Por otra parte el flujo del caudal de salida varía muy poco con el pH del caudal de entrada hasta un pH próximo a 8.5 donde el rechazo de sales desciende. (Buendía, 2019)

En cuanto a la Destilación Flash Multietapa (MSF) el caudal de entrada debe ser previamente calentado a temperatura de ebullición en un tanque por medio de tubos en paralelo que contienen algún fluido caliente, posteriormente se pasa a los tanques de presión, llamados etapa, donde se aplica una presión negativa, de manera que el agua se vaporice. Posteriormente, el agua vaporizada es condensada para obtener el agua desalinizada. La tasa de producción depende de la temperatura del agua salada, los parámetros fisicoquímicos y del número de etapas que se lleven a cabo. El agua desalinizada en este proceso contiene generalmente de 2 a 10 ppm de sólidos disueltos, por lo tanto es remineralizada por potabilización. (Khawaji et al., 2008 Dévora et al., 2012). Este tipo de tecnología solo puede ser aplicada a proyectos de mediana a gran escala puesto que el costo de maquinaria y el alto consumo energético no la hacen viable, sin embargo en los últimos años se han diseñado configuraciones en las que se utilizan energías alternativas y cámaras de baja presión de para reducir las temperaturas requeridas y facilitar la vaporización. (Lechuga et al., 2007). Estos procesos solamente evaporan un pequeño porcentaje de los caudales de entrada por lo que la producción de la planta debe realizarse en un circuito en paralelo, generan una gran cantidad de residuos con alto contenido mineral que deben ser tratados especialmente y no pueden ser utilizados como materias primas en otros procesos. (Sánchez, 2019) La viabilidad de acoplamiento de este proceso con las celdas de desalinización microbiana es baja, puesto que las membranas catiónicas, aniónica y los microorganismos del sistema son sensibles a las altas temperaturas en las que se encuentra el agua durante el proceso. Sin embargo las CMD podrían ser viables como pretratamiento puesto que los bajos caudales de entrada de cada etapa y la tasa de desalinización de las CDM con bio cátodos reducirían significativamente el consumo energético, incrementarían la productividad y mejoraría los indicadores microbiológicos de calidad de agua. (Al-Shammiri et al., 2000; El-Ghonemy et al., 2018)

Para identificar la viabilidad de acoplamiento de las CDM se evaluaron diferentes configuraciones, la configuración tradicional consta de una adaptación de una celda de combustible microbiano tradicional (CCM) de 2 cámaras incorporando una cámara de desalinización entre la membrana de intercambio aniónico (AEM) y la membrana de intercambio catiónico (CEM), logrando una desalinización del 90% aproximadamente, la cámara catódica de esta configuración es aeróbica y presenta limitaciones como la necesidad de catalizadores costosos (platino) y oxidantes químicos tóxicos (permanganato y ferricianuro) en las células; como alternativa surgió una configuración que utiliza bio cátodos donde se utiliza una biopelícula con microalgas de la especie *Chlorella vulgaris* adherida al cátodo que actúa como catalizador en la reducción del oxidante. Este tipo de CDM es sostenible y renovable, y si el crecimiento de la biopelícula en el cátodo se optimiza durante el proceso, incluso el tiempo de inicio para la generación de energía y la desalinización puede reducirse significativamente (Navarro, 2017). Sin embargo, esta configuración tiene limitaciones en el parámetro de indicadores microbiológicos de calidad de agua, pues aumenta la concentración de estos microorganismos patógenos y la reducción de la tasa de desalinización a un 60%. Existen otras configuraciones de CDM que se derivan de estos dos principales

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

tipos de celdas creando sistemas más eficientes pero más costosos y con altos requerimientos de mantenimiento (Zahid et al, 2021).

Se identificó que según las características específicas de las CDM y del área de estudio, técnicas de desalinización como MED, CV y ED no son viables puesto que la capacidad de desalinización, la generación de residuos tóxicos, altos costos, las condiciones de operación y la baja disponibilidad a nivel mundial no permiten un acoplamiento correcto; en caso de ser evaluado como pretratamiento se aumentan los tiempos de retención y no se garantiza que los parámetros fisicoquímicos del caudal de salida cumplan con los requisitos exigidos en la normatividad colombiana. Por otra parte los procesos de OI y MSF se acomodan a las necesidades de las CDM, poseen una alta disponibilidad, fácil operación y se cuentan con estudios que soportan el uso de ambas tecnologías en conjunto, sin embargo debido a los cuidados que se deben tener en las membranas de la OI y especialmente las altas temperaturas de la MSF se recomienda tratar las CDM como pretratamiento ya que se puede reducir significativamente los costos de producción y el consumo energético (Fajardo, 2018).

10.2. Comparar costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbiana con los sistemas tradicionales

A partir de la recolección sistemática se generó una base de datos de los costos, consumo energético, capacidad de la planta y la efectividad en términos de % de remoción de SDT mínimos y máximos de los métodos de desalinización: Osmosis inversa (OI), Destilación multiefecto (MED), Destilación Flash Multietapa (MSF), Compresión de Vapor (CV) y Electrodiálisis (ED). Se identificaron vacíos de información en los diferentes artículos como se muestra en el anexo 6, por lo que se generaron modelos mediante regresiones lineales simples usando el programa SPSS versión 21.0 con el fin de determinar datos faltantes e inconclusos y generar una base de datos completa y confiable , para realizar la comparación entre las técnicas. Ver anexo 7

Luego de introducir los datos para cada una de las técnicas de desalinización se obtuvieron los resultados de la regresión lineal entre dos variables, en la primera regresión se evidencia la relación entre el consumo energético variable independiente y el costo como variable dependiente, obteniendo como resultado la tabla 6.

Tabla 6

Coefficiente de la regresión lineal de la técnica entre las variables consumo energético y costo de desalinización por metro cúbico

COEFICIENTES COSTO			
Modelo	Coefficientes no estandarizados	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

		B	Error típ.		Límite inferior	Límite superior
OI	(Constante)	0,822	0,194	0,001	0,406	1,237
	ConsEnerPr om	0,034	0,032	0,315	-0,036	0,103
MED	(Constante)	1,651	0,161	0	1,236	2,065
	ConsEnerPr om	0,032	0,003	0	0,023	0,04
MSF	(Constante)	1,353	0,23	0	0,822	1,884
	ConsEnerPr om	0,014	0,006	0,051	0	0,028
CV	(Constante)	1,625	0	.	1,625	1,625
	ConsEnerPr om	0,063	0	.	0,063	0,063
ED	(Constante)	31,822	21,184	0,272	-59,324	122,968
	ConsEnerPr om	0,785	2,271	0,763	-8,987	10,558

Fuente: Autores, 2021

A partir de la ejecución del programa se genera el modelo con el que se obtuvieron los datos faltantes de los costos a partir de la siguiente ecuación:

$$y = B + m(x) \text{ donde,}$$

$$Y = (\text{Costo de la planta})$$

$$B = (\text{Coeficiente no estandarizado } B(\text{Constante}))$$

$$m = ((\text{Coeficiente no estandarizado } B(\text{Constante})))$$

$$x = (\text{Consumo de energía requerida})$$

De igual forma se logró la obtención de los datos del consumo de energía requerida a partir del despeje de las siguientes ecuaciones:

Tabla 7

Ecuaciones obtenidas mediante el modelo de regresión lineal para calcular el costo de los datos ausentes.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Técnica	Ecuación
OI	$Y = 0,822 + 0,034X$
MED	$Y = 1,651 + 0,032X$
MSF	$Y = 1,353 + 0,014X$
CV	$Y = 1,625 + 0,063X$
ED	$Y = 31,822 + 0,785X$

Fuente: Autores, 2021

Así mismo se ejecutó la segunda regresión de las técnicas de desalinización obteniendo como resultado la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 8

Coefficiente de la regresión lineal de la técnica entre las variables consumo energético y la capacidad de la planta

COEFICIENTES CAPACIDAD DE LA PLANTA						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.		Límite inferior	Límite superior
OI	(Constante)	12631,007	24232,714	0,615	-42187,199	67449,214
	ConsEnerPr om	1443,787	2456,519	0,571	-4113,244	7000,818
MED	(Constante)	42165,547	46580,321	0,432	-106073,824	190404,918
	ConsEnerPr om	-2209,802	9006,533	0,822	-30872,609	26453,005
MSF	(Constante)	42326,058	18294,94	0,06	-2440,048	87092,163
	ConsEnerPr om	-213,564	304,579	0,509	-958,844	531,715
CV	(Constante)	20342,346	9950,713	0,29	-106093,447	146778,138
	ConsEnerPr om	-1084,147	704,283	0,367	-10032,911	7864,618
ED	(Constante)	-37,608	0	.	-37,608	-37,608

COEFICIENTES CAPACIDAD DE LA PLANTA

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.		Límite inferior	Límite superior
ConsEnerPr om	40,273	0	.	40,273	40,273

Fuente: Autores, 2021

A partir de los datos de la tabla anterior se procedió a ejecutar el modelo de las diferentes ecuaciones de la tabla 9 y se completaron los datos de la capacidad de las plantas

Tabla 9

Ecuaciones obtenidas mediante el modelo de regresión lineal para calcular la capacidad de las plantas de los datos ausentes

Técnica	Ecuación
OI	$Y = 12631,007 + 1443,787 X$
MED	$Y = 42165,547 - 2209,802 X$
MSF	$Y = 42326,058 - 213,564 X$
CV	$Y = 20342,346 - 1084,147 X$
ED	$Y = -37,608 + 40,273 X$

Fuente: Autores, 2021

Según Sampieri, 2014 la significancia de los datos es de vital importancia para conocer el nivel de probabilidad de equivocarse, de modo que se genera un porcentaje de confianza, si la significancia es inferior a 0,05 indica que los datos tienen un 95% de probabilidad de ser correctos y solo un 5% de probabilidad de que no lo sean; tomando en cuenta lo mencionado anteriormente luego de completar los datos se calculó la significancia por cada técnica evaluada obteniendo valores menores de 0,06 asegurando la confiabilidad de estos, se analizó la coherencia de los datos obtenidos y se procedió al cálculo de las medidas de tendencia central obteniendo como principal resultado la media de los costos, consumo energético, capacidades de planta y porcentaje de remoción de SDT de cada método de desalinización como se muestra a continuación:

Tabla 10

Comparación de costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización

Técnica de	Resultados obtenidos
------------	----------------------

desalinización empleada	Costo (Us\$/m3)	Cantidad de energía requerida (Kwh/m3)	Capacidad de la planta (m3/día)	Efectividad % de SDT retirados
OI	1,011	6,628	22199,773	97,577
MED	2,021	16,845	41467,733	92,555
MSF	1,726	28,249	36292,882	93,756
CV	2,413	15,160	7093,750	76,938
ED	30,850	11,488	437,500	95,083

Fuente: Autores, 2021

A partir de los datos obtenidos se realizó el análisis estadístico mediante las medidas de tendencia central para determinar los costos, consumo energético, capacidades de planta y porcentaje de remoción de SDT de cada método de desalinización, como se muestra en la tabla 10. Podemos observar que la efectividad la OI es la más alta con un valor de 97,6% de remoción, seguida de la ED con un 95,1%, esto lo soportan los autores Lechuga et al., 2007 y Jimenez et al., 2019 pues la ED es uno de los métodos más eficientes y en algunas configuraciones puede llegar a una tasa de desalinización del 99,9%, sin embargo se debe tener en cuenta que solo puede operar con salinidades inferiores a los 10000 ppm y en proyectos de pequeña a mediana escala; en el caso de la OI la efectividad depende altamente de los parámetros fisicoquímicos del caudal de entrada y del tipo de membrana utilizada, sin embargo Domínguez et.al, 2019 y Lechuga et.al, 2007 sostienen que la efectividad mínima de estos procesos es del 90%, en cuanto al resto de tecnologías, todas a excepción de la CV superan las tasas de desalinización del 90%. En cuanto al consumo energético la OI es el proceso más eficiente mientras que la MSF es la menos eficiente. En cuanto a costos podemos observar que la OI es el método de desalinización más económico con un valor promedio de 1 US\$/m3 seguido de la MSF con un valor de 1,7 US\$/m3, lo que se soporta teniendo en cuenta que son las técnicas de desalinización más utilizadas en el mundo, con mayor inversión en investigación y desarrollo tecnológico. Se debe tener en cuenta que los costos de operación están relacionados directamente con el consumo energético, la operación y el mantenimiento de las técnicas de desalinización, esta es la principal razón del porque la OI posee costos tan bajos pues requiere de muy poca energía para operar, por otra parte la MSF no requiere altos costos de operación y mantenimiento, sin embargo al ser el método menos eficiente energéticamente aumenta sus costos, la tasa de desalinización también depende directamente del consumo energético independientemente si una técnica de desalinización es más eficiente energéticamente que otra (Khawaji et al., 2008; Ramilo et al., 2003).

Las CDM con configuración de cátodo aeróbico tienen tasas de desalinización de alrededor del 80% al 90% y las de bio cátodo poseen tasas de desalinización del 60 al 70%, si se usan en conjunto con las técnicas de desalinización se reduce significativamente la salinidad del agua y procesos como OI y MSF requieren menos energía para operar, generan menos residuos y por ende sus costos de operación disminuyen, se estima que estos procesos reducirán los costos y el consumo energético alrededor del 50%; en el caso de la OI aumentará la vida útil de las membranas y se reducirían la cantidad de catalizadores necesarios para operar siendo aún mayor la disminución de costos (Navarro, 2007; Chaparro, 2020; Kokabian et al, 2015). En el caso de la MSF adicionalmente las salmueras o vertidos de desalinización y su toxicidad se reducirían drásticamente descartando la necesidad de utilizar

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

tratamientos especializados (Zhu et al., 2014; Yuan et al., 2015).

10.3. Establecer los sistemas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbianas que se adaptan mejor a las condiciones sociales y ambientales de Riohacha

Los parámetros fisicoquímicos de los caudales de entrada, indicadores ambientales y las características sociales de Riohacha son necesarios para determinar la tecnología que mejor se adapte a la región. A continuación se presentan los parámetros fisicoquímicos del agua de mar de la Guajira recuperados de un documento que realizó el análisis en el Laboratorio Biopolab LTDA, un laboratorio especializado en el análisis de agua; este laboratorio está acreditado ante el IDEAM y el ONAC, lo cual aumenta la confiabilidad de los resultados (Nieves, 2019).

Tabla 11

Parámetros físico-químicos del agua de mar de Riohacha año 2019

Parámetro	Resultado
Alcalinidad Bicarbonatos	31155
Alcalinidad Carbonatos	<25,5
Alcalinidad Total (A)	31155
Bario	<0,50
Calcio	931,04
Conductividad (A)	32550
Cloruros (A)	4728,32
Dureza Total (A)	9512,8
Hierro Total (A)	1,37
Manganeso (A)	0,06
Magnesio (A)	1283,05
Nitratos (A)	3,05
Nitritos (A)	<0,0140
Ortofosfato(Fosfatos) (A)	<0,184
pH (A)	7,1
Sulfatos (A)	2095,26

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Parámetro	Resultado
Turbiedad	2,32
Fluoruros	1,07
Cinc (A)	<0,0500
Selenio (A)	<0,0014
Sílice	1177,36
Aluminio (A)	<0,0460
Litio	0,08
Sodio(A)	11522
Potasio(A)	369,75
Calcio	349,92
Berilio	<0,10
COT	1294,55
Sólidos Suspendidos Totales (A)	161
Plata (A)	<0,0370
Sólidos Disueltos Totales	16270
Salinidad	55,6

Adaptado de: Nieves,2019

De la tabla anterior se identificó principalmente una concentración de sales superior al 10000 mg/L, distintos componentes alcalinos, algunos metales y alta dureza producto de la presencia de calcio y magnesio, parámetros que pueden ser tratados en su totalidad por tecnologías como OI y MSF; además las características ambientales de la región expuestas en los marcos geográficos son viables para la implementación de CDM, por lo tanto se cumplen las condiciones de aplicación en la región de estas tecnologías con acoplamiento o con pretratamiento. Las demás tecnologías analizadas a lo largo del documento no son viables ya que, la ED sólo opera a menos de 10000 mg/L, la CV no cumple con las demandas de la región y con la tasa de desalinización y por último la MED genera residuos tóxicos para los cuales no existe el tratamiento adecuado y tiene altos costos (Hernández et al., 2019).

Los vertidos de desalinización son el residuo más importante de una planta desaladora. Está constituido por las aguas de rechazo; una planta con una producción de 70.000 m³/d de agua producto generará un vertido líquido de 1 m³/s, si es de OI de 0.2 m³/s y si es de MSF de 7.3 m³/s (Ruiz, 2007). En Baja California Sur, el vertido se dispone en el mar directamente; mientras que en Quintana Roo, el vertido se inyecta en pozos de absorción, se ha demostrado que estos vertimientos generan aumentos en la temperatura del agua del mar y reducen la cantidad de oxígeno disuelto en el agua lo que ocasiona

Daniel Fernando Daza Gonzalez
Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
(Guajira)

graves daños a la vida acuática y por ende al funcionamiento de los sistemas acuáticos (Dévora et al., 2013). En la Guajira, la ausencia de proyectos a mediana y gran escala han impedido la regulación de vertimientos de salmuera, sin embargo como se mencionó anteriormente las CMD reducen considerablemente la generación y concentración de salmuera.

Finalmente al momento de evaluar las características sociales se tomó en cuenta los recursos económicos disponibles que tiene la región para la ejecución de este tipo de proyectos, actualmente se aprobaron recursos por el valor de más de \$79000 millones de pesos destinados a proyectos de infraestructura de Guajira azul, como se mencionó en la problemática los proyectos de Guajira Azul están enfocados a cerrar las brechas de acceso al agua y saneamiento básico por lo que la las celdas microbianas de desalinización con biocatodo acopladas a la técnica de desalinización de ósmosis inversa o MSF gracias a su amplio uso a nivel mundial facilita su implementación en zonas vulnerables y por tanto contribuye al cumplimiento de esta meta propuesta por el gobierno nacional. (MINVIVIENDA, 2021).

11. Conclusiones

Lo expuesto anteriormente permite concluir que se logró identificar que las alternativas de desalinización de agua de mar que pueden ser acoplados a los modelos de celdas de desalinización microbiana son la Ósmosis inversa (OI) y la destilación flash multietapa (MSF) gracias a su alta disponibilidad y fácil operación, estas técnicas no presentan grandes limitaciones para poder acoplarlas a las CDM y aportaría a reducir significativamente los costos de producción y el consumo energético si se implementa como pretratamiento.

Por otra parte al comparar costos, consumo energético, caudales de diseño y efectividad de las técnicas de desalinización acoplados a celdas de desalinización microbiana con los sistemas tradicionales se determinó que la técnica de desalinización de mayor efectividad y menores costos y consumo energético es la OI de igual forma se comparó este proceso como técnica convencional y acoplado a una CDM encontrando que usando las celdas como pretratamiento se reducen los requerimientos de costos por mantenimiento y operación por la reducción en el consumo energético gracias a que este proceso reduce significativamente la salinidad del agua.

Además las CDM son derivadas de las CCM aparte de desalinizar agua, tratan aguas residuales, generan energía y las configuraciones con biocatodos capturan dióxido de carbono, lo que la hace una tecnología innovadora, sostenible y renovable. Además son accesibles, no requieren mantenimientos complejos, son de fácil operación y son económicas; si se acopladas a tecnologías tradicionales o se aplican como pretratamiento, reducen el consumo energético, costos de operación y mantenimiento y reducen la generación y toxicidad de los residuos.

Finalmente el acoplamiento de CDM con OI y MSF son viables para su implementación en Riohacha Guajira, puesto que son de fácil acceso, económicas y con bajos requerimientos energéticos y operación, contribuyendo a la gestión del recurso hídrico, la salud ambiental y reduciendo la vulnerabilidad de las comunidades.

12. Recomendaciones

Se recomienda que las instituciones como la CORPOGUAJIRA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realicen investigaciones profundas y acertadas acerca del estado actual de la gestión del

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

recurso hídrico en Riohacha con el fin de mejorar, recuperar y proteger el mismo, mediante la financiación y apoyo a proyectos de desalinización que busquen suplir la demanda del recurso.

Es necesaria la ampliación en la investigación y desarrollo de tecnologías que emplean microorganismos electrogénicos y celdas de desalinización microbiana puesto que es una tecnología sostenible, renovable y aplicable en distintas ramas de investigación como generación de energía y captura de CO₂.

Este trabajo abre la posibilidad al diseño y construcción de un modelo de desalinización de bajo costo, eficiente energéticamente, sostenible y renovable que puede ser aplicado no solo a Guajira sino a cualquier región vulnerable del mundo.

13. Referencias Bibliográficas.

- Aguilar González, M., Buitrón, G., Shimada Miyasaka, A., & Mora Izaguirre, O. (2016). Estado actual de los sistemas bioelectroquímicos: Factibilidad de su uso para aumentar la producción ruminal de propionato. *Agrociencia*, 50(2), 149–166.
- Al-Shammiri, M., & Safar, M. (1999). Multi-effect distillation plants: State of the art. *Desalination*, 126(1–3), 45–59. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(99\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(99)00154-X)
- Alcaldía de Riohacha. (2020). Información del Municipio. <http://www.riohachalaguajira.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Plan de Ordenamiento territorial de Riohacha. Decreto No.078 dl 29 de octubre de 2015, (2015). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2011). Manejo de los residuos peligrosos generados en las viviendas. Alcaldía Mayor de Bogotá. http://ambientebogota.gov.co/documents/sda/residuos/RESPELcartilla_noviembre2011.pdf
- Arreguín Cortés, F. I., & Martín Domínguez, A. (2000). Desalinización del agua.
- Assmus, G. C. (2018). Diez temas que los políticos deben saber acerca. 2018(76), 141–155.
- autónoma regional, C. (2019). Memorias Congreso Nacional de Investigación e Innovación Ambiental - Foro Ambiental. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e610bbc0002f.pdf>
- BARRACCHINI MORENO, O. (2008). LA DESALINIZACION DEL AGUA Teoría, técnica y procedimientos para obtener un recurso vital para sociedad contemporánea.
- Benito, M. B. De, & Lafuente, M. C. (2010). Diseño de una desaladora de agua de mar de 60.000 m³/día con pretratamiento de ultrafiltración.
- Blanco y de la Torre, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo : cuantificación y distribución. El Agua: ¿fuente de Conflicto o Cooperación?, 21–70. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115629>
- Bocanegra, E., & Custodio, E. (1994). Utilización de acuíferos costeros para abastecimiento. *Ingeniería Del Agua*, 1(4), 49–78.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Bond, D. R., Holmes, D. E., Tender, L. M., & Lovley, D. R. (2002). Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. *Science*, 295(5554), 483–485. <https://doi.org/10.1126/science.1066771>
- Bonell Parada, H. D. (2015). Sistema De Desalinización De Agua Autosostenible Para Zonas No Interconectadas. Universidad de los Andes.
- Borja, S. (2013). Análisis económico de la desalinización. https://www.fundacionaquae.org/sites/default/files/tesis_borja_montano.pdf
- Bosch Roig, P., Allegue, H., & Bosch, I. (2019). Granite Pavement Nitrate Desalination: Traditional Methods vs. Biocleaning Methods. <https://doi.org/10.3390/su11154227>
- Botella, J., & Zamora, A. (2017). EL META-ANÁLISIS: UNA METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN. 17–38. <http://revistas.uned.es/index.php/educacionXX1/article/view/19030/18903>
- Buendía Candel, R. (2019). Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea. 422. http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9705/1/TFG_RAFAEL_BUENDIA.DEFINITIVO.FIRMADO.pdf
- Buitrón, G., & Pérez, J. (2011). PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS UTILIZANDO AGUA RESIDUAL RESIDUALRESIDUAL: EFECTO DE LA DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 14(1), 5–11. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2011/cqb111a.pdf>
- Calduch, R. (2017). Metodos y técnicas de investigación. *Escuela Normal Superior-Maestros Argentinos*, 2, 180. https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01-Metodos_y_Técnicas_de_Investigación_Internacional_v2.pdf?fbclid=IwAR2KXBz1RzAkj45LIQ6lzqqBGK_QTv3CUsmY_T4trbkJc20lLwSPf-yhEvc
- Canales, A. G., Wehncke, E. V., & Gudino Elizondo, N. (2020). Review of water desalination techniques towards an energy saving approach. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(4), 279–305. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-04-09>
- Cao, X., Huang, X., Liang, P., Xiao, K., Zhou, Y., Zhang, X., & Logan, B. E. (2009). A new method for water desalination using microbial desalination cells. *Environmental Science and Technology*, 43(18), 7148–7152. <https://doi.org/10.1021/es901950j>
- Carrasco Mantilla, W. (2020). Estado Del Arte Del Agua Y Saneamiento Rural En Colombia.
- Castillo, J. M. (2017). Crisis en La Guajira: Una Aproximación Bourdiana [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40495/u808492.pdf?sequence=1>
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH. (2010). Geología de la Península de la Guajira. <https://www.cioh.org.co/index.php/es/centro-de-documentacion/new-biblioteca.html>

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Chaparro Diaz, L. K. (2020). CELDA DE DESALINIZACIÓN MICROBIANA CON BIOCÁTODO FOTOSINTÉTICO: GENERACIÓN DE ENERGÍA, DESALINIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE DQO [Universidad de Alcalá]. https://ebuah.uah.es/xmlui/bitstream/handle/10017/44051/TFM_Chaparro_Diaz_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cipollina, A., Micale, G., & Rizzuti, and L. (2009). Seawater Desalination for Freshwater Production. *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*, 306. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01150-4>
- Colombia Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575 de 2007. Diario Oficial, 1, 15. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=30007
- Contraloría General de la Nación. (2018). La Guajira: revisión de la situación en Agua Potable y Saneamiento Básico. *Boletín Macro Sectorial*, 18, 6. www.elcampesino.co
- Contreras Fernandez, M. (2012). Obtención de agua potable a partir de agua de mar por congelación - fusión. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18378/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CORPOGUAJIRA. (n.d.). Organigrama | Corpoguajira Corporación Autónoma Regional de La Guajira. Retrieved October 7, 2020, from <http://corpoguajira.gov.co/wp/organigrama/>
- CORPOGUAJIRA. (2009). Plan De Gestión Ambiental Regional PGAR 2009 – 2019. http://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/216/PGAR_CORPOGUAJIRA_2009-2019_Consejo_DirectivoII.pdf
- DANE. (2018). Proyecciones de población. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- DANE. (2020). Sistema Estadístico Nacional - SEN.
- Daza, A. R., Serna Mendoza, C. A., & Carabalí Angola, A. (2018). The water resource in the wayuu indigenous communities of la guajira colombiana. Part 2: Qualitative study of the conditions of hygiene, cleanliness and water availability. *Información Tecnológica*, 29(6), 25–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600025>
- De la Cruz, C. (2006). La desalinización de agua de mar mediante el empleo de energías renovables Carlos de la Cruz.
- Defensoría del Pueblo. (2014). Crisis Humanitaria en La Guajira: Acción integral de la Defensoría del Pueblo en el departamento. Defensoría Del Pueblo Colombia, 196.
- Departamento nacional de estadísticas. DANE. (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 Riohacha, La Guajira. 31.
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). Conpes 4021 - Política Nacional para el Control de la Deforestación y la Gestión Sostenible de los Bosques. DNP Colombia, 1–110.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Dévora, G., González, R., & Ruiz, S. (2013). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(3), 27–46.
- Domínguez Calle, E. A., Gonzalo Rivera, H., Vanegas Sarmiento, R., & Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 32(123), 195–212. <https://www.researchgate.net/publication/228463075>
- Du, Z., Li, H., & Gu, T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*, 25(5), 464–482. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.05.004>
- Edilson, W., & Bonilla, T. (2016). EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO QUIRÚRGICO DE LA MANO REUMÁTICA: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO QUIRÚRGICO DE LA MANO REUMÁTICA: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS. 1–69.
- Eduardo, D., & Rosario, M. (2015). Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Bastidor De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar. http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/20.500.12390/315/3/2015_Moreno_Control-predictivo-generalizado-multivariable.pdf
- El-Ghonemy, A. M. K. (2018). Performance test of a sea water multi-stage flash distillation plant: Case study. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 2401–2413. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.08.019>
- El Heraldo. (2016). Colombia recibe planta desalinizadora para La Guajira donada por Corea del Sur. *Archivo de La Presidencia 2015-2018*, 33–34. <http://es.presidencia.gov.co/noticia/160404-Colombia-recibe-planta-desalinizadora-para-La-Guajira-donada-por-Corea-del-Sur>
- El Heraldo. (2020). Sequía comenzó a afectar nivel de fuente de abastecimiento en acueducto de Riohacha. <https://www.elheraldo.co/la-guajira/sequia-comenzo-afectar-nivel-de-fuente-de-abastecimiento-en-acueducto-de-riohacha-694482>
- Esteve Núñez, A. (2008). Bacterias productoras de electricidad. Del subsuelo a la pila de combustible. *Temas de Actualidad*, 45, 34–39. www.genomatica.com
- Estevez Canales, M., Kuzume, A., Borjas, Z., Füeg, M., Lovley, D., Wandlowski, T., & Esteve-Núñez, A. (2015). A severe reduction in the cytochrome C content of *Geobacter sulfurreducens* eliminates its capacity for extracellular electron transfer. *Environmental Microbiology Reports*, 7(2), 219–226. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12230>
- Fajardo, A. (2018). Desalinización del agua ¿una alternativa sostenible para la potabilización del agua? *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/159039-2018-I-GA.pdf>
- Feo García, J. J. (2013). Optimización De Costes En Líneas De Producción Para Plantas Desalinizadoras De Agua De Mar Mediante Osmosis Inversa En Las Islas Canarias.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Ferreira García, B. (2020). DESALINIZACIÓN DE LA PIEDRA POSTAER “ALTE POSTE” MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BACTERIAS NITRATO Y SULFATO-REDUCTORAS.
- Ferrer, J., Gabaldón, C., Seco Granados, G., & Marzal, P. (1994). Utilización de sistemas informáticos para el diseño de estaciones de tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Del Agua*, 1(4), 15–32. <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2647>
- Fredy Ore Huamán, & Edyn Smith Pompa Quispe. (2020). Diseño de las Celdas de Combustible Microbianas considerando los antecedentes de producción de bioelectricidad utilizando *Gebacter sulfurreducens* [UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/3189/Fredy_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, A. P. (2007). Una perspectiva social de la problemática del agua A social perspective on water issues. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 62, 125–137. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n62/n62a8.pdf>
- García Fonseca, S. A., & Saldarriaga, L. F. (2020). Análisis del desempeño de un biofiltro con adsorbentes convencionales y no convencionales para el tratamiento de agua de producción petrolera ubicadas en el sector de caño Lima , Arauquita (Arauca). 27–29.
- GOBERNACIÓN DE LA GUAJIRA. (n.d.). La Guajira. Retrieved October 6, 2020, from https://www.laguajira.gov.co/web/index.php?option=com_content&view=article&id=1182&Itemid=
- Grueso Domínguez, M. C., Castro Jiménez, C. C., Correa Ochoa, M. A., & Saldarriaga Molina, J. C. (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. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a5>
- Grupo de Investigación de Estudio de Microorganismos Halófilos de la Universidad de Sevilla. (2015). ¿Qué tipo de microorganismos viven en salinas y lagunas saladas? <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Que-tipo-de-microorganismos-viven-en-salinas-y-lagunas-saladas>
- Guerrero Gnecco, N. D., & neider.guerrero@campusucc.edu.co. (2020). Practica empresarial u/o solidaria en la empresa asaa (avanzada soluciones de acueducto y alcantarillado s.a. e.s.p.) en la ciudad de Riohacha. Lajo Pérez, Rosina (1990). *Léxico de Arte*. Madrid - España, 2–4. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/17828>
- Guerrero, S. (2020). Sequía comenzó a afectar nivel de fuente de abastecimiento en acueducto de Riohacha. *El Heraldo*.
- Gujjala, L. K. S., Dutta, D., Sharma, P., Kundu, D., Vo, D. V. N., & Kumar, S. (2022). A state-of-the-art review on microbial desalination cells. *Chemosphere*, 288(P1), 132386. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132386>
- Harris, J. (2016). Outsmarting Climate Change: Affordable Solutions to the Climate Crisis. *Discover Magazine*. <https://www.discovermagazine.com/environment/outsmarting-climate-change-affordable-solutions-to-the-climate-crisis>

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- HERNÁN DARÍO PEDRAZA CORZO GÓMEZ, & VESGA, D. M. (2019). Dimensionamiento Y Simulación De Un Sistema Solar Térmico Tipo Fresnel Para La Desalinización De Agua De Mar Ubicado En El Departamento De La Guajira. *Sereal Untuk*, 51(1), 51.
- Hernández Prada, C. F., Román Campos, F. J., & Algecira Enciso, N. A. (2019). CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS: DESARROLLO, APLICACIONES Y MEDIO AMBIENTE (Vol. 1).
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología De La Investigación (R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, & M. del P. Baptista Lucio (eds.); 6th ed.). McGRAW-HIL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huang, Y., He, Z., & Mansfeld, F. (2010). Performance of microbial fuel cells with and without Nafion solution as cathode binding agent. *Bioelectrochemistry*, 79(2), 261–264. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2010.03.009>
- IDEAM. (2018). Evaluación Nacional del Agua 2018. In Cartilla ENA 2018.
- Instituto Danés de derechos humanos. (n.d.). Objetivos, metas e indicadores | La guía de los derechos humanos a los ODS. Retrieved November 19, 2020, from <https://sdg.humanrights.dk/es/goals-and-targets?page=1>
- Jimenez, B., & Leneth, H. (2019). EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DESALINIZADORAS USANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN DE LA GUAJIRA COLOMBIANA. *Foresight*, 23(3), 1–9. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7253/1/480689-2019-I-GA.pdf>
- Jiménez Pastrana, F. (2019). Comparación De Sistemas De Desalinización En Un Contexto De Desarrollo Sostenible. 26. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29778>
- Jingyu, H., Ewusi-Mensah, D., & Norgbey, E. (2017). Microbial desalination cells technology: A review of the factors affecting the process, performance and efficiency. *Desalination and Water Treatment*, 87(November), 140–159. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21302>
- Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., & Wie, J. M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1–3), 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>
- Kokabian, B., & Gude, V. G. (2015). Sustainable photosynthetic biocathode in microbial desalination cells. *Chemical Engineering Journal*, 262, 958–965. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.048>
- Lechuga, J., Rodríguez, M., & Lloveras, J. (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería*, 11(3), 14. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf>
- León Linares, E., & Acosta Arias, C. M. (2015). ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL TERRITORIO POR SEQUÍA EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA, COLOMBIA, A PARTIR DE UNA VISIÓN BASADA EN NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS. 3, 2015.

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2706/1/Análisis-vulnerabilidad-por-sequía-La_Guajira-a-partir-de-NBI.pdf

- Li, Y., Chen, X., Xu, Y., Zhuo, Y., & Lu, G. (2021). Sustainable thermal-based desalination with low-cost energy resources and low-carbon footprints. *Desalination*, 520(October), 115371. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115371>
- Lorena Cortes Posada Leidy Liliana Lesmes Ayala, L., & Eduardo Dévora Isiordia, G. (2014). SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR, POR MEDIO DEL SOFTWARE IMS DESING COMO ESTRATEGIA PARA FORTALECER EL DESARROLLO SOCIAL DEL NORTE CARIBE COLOMBIANO-MUNICIPIO DE URIBÍA-LA GUAJIRA.
- Luo, H., Xu, P., & Ren, Z. (2012). Long-term performance and characterization of microbial desalination cells in treating domestic wastewater. *Bioresource Technology*, 120, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.054>
- Marcela N. Gatti, Facundo Quiñones, & Rubén H. Milocco. (2016). ESTUDIO DE DIFERENTES CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS [Universidad Nacional del Comahue]. https://www.researchgate.net/profile/Marcela-Gatti/publication/318659546_ESTUDIO_DE_DIFERENTES_CELDAS_DE_COMBUSTIBLE_MICROBIANAS_PARA_LA_GENERACION_DE_ENERGIA_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_ORGANICOS_DE_EFLUENTES_LIQUIDOS/links/59761580aca2728d026fc8ae/ESTUDIO-DE-D
- Martínez Ortiz, A. (2019). La Guajira Caracterización Departamental y municipal. Informe presentado a Cerrejón Minería responsable. Cerrejon, 192. https://repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3736/Repor_Enero_2019_Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martins, A. (2017). ¿Puede la desalinización ser la solución para la crisis mundial del agua?
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.-a). Objetivos y funciones. Retrieved October 7, 2020, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (n.d.-b). Organigrama. Retrieved October 7, 2020, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/organigrama>
- Ministerio de la protección social. (2007). Resolución 2115/2007. Gaceta Oficial, 23. http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES
- Ministerio de Turismo. (2015). Plan Integral de Gestión. 47.
- Minvivienda. (n.d.-a). \$79 mil millones aprobados para más obras de Guajira Azul. Retrieved November 8, 2021, from <https://minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/79-mil-millones-aprobados-para-mas-obras-de-guajira-azul>

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Minvivienda. (n.d.-b). Portal Minvivienda ABC Guajira Azul. Retrieved October 4, 2020, from <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/guajira-azul>
- Mock, J. (2019). Why Desalinating Water is Hard — and Why We Might Need To Anyway. *Discover Magazine*. <https://www.discovermagazine.com/environment/why-desalinating-water-is-hard-and-why-we-might-need-to-anyway>
- Montoya Domínguez, E., & Rojas Robles, R. (2019). Water Regulations in Colombia democratization or privatization? *Revista Luna Azul*, 49, 126–145. <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.49.7>
- Muñoz, M. E. G. (2015). BACTERIAS REDUCTORAS DE SULFATO DE SEDIMENTOS COSTEROS COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/704/1/PCER_M_Tesis_2015_Muriel_Elisa_González_Muñoz.pdf
- Mussetta, P. C. (2013). El agua en discordia: balance cualitativo en Latinoamérica. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 113–127. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169427489004.pdf>
- Nava-Diguero, P. †, Castillo-Juárez, & Marcela. (2018). Celdas de combustible microbianas como alternativa para atender los retos de la sostenibilidad: Agua, energía y contaminación Microbial fuel cells as an alternative to solve the challenges of sustainability: Water, energy and pollution. In *Artículo Revista de Ingeniería Innovativa Marzo (Vol. 2, Issue 5)*. www.ecorfan.org/republicofperu
- Navarro Chao, M. (2017). Incorporación de celdas de desalación microbianas a pequeños sistemas de desalación con energías renovables. <https://idus.us.es/handle/11441/63647#.YXiKtZS9coU.mendeley>
- Nieves Olmos, E. (2019). Selección, dimensionamiento y diseño de una planta desalinizadora de agua impulsada por energía solar en La Guajira. *Instname:Universidad de Los Andes*. <http://hdl.handle.net/1992/44721>
- OMS. (1992). Comision OMS de salud y medio ambiente. Informe del director general. 45a Asamblea Mundial de La Salud, 15. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/202687>
- Ordoñez, G. A. (2000). Salud ambiental: conceptos y actividades. Informe Especial. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 7(3), 137–147. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v7n3/1404.pdf>
- Ospina Noreña, J. E., Domínguez Ramírez, C. A., Vega Rodríguez, E. E., Darghan Contreras, A. E., & Rodríguez Molano, L. E. (2017). Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. *Atmosfera*, 30(1), 63–76. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.01.06>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
- Pasqualin, P., Lefers, R., Mahmoud, S., & Davies, P. A. (2022). Comparative review of membrane-based desalination technologies for energy-efficient regeneration in liquid desiccant air conditioning of

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154(April 2021), 111815.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111815>

Pineda, Ana; Rosas, M. (2016). Estado Del Arte En Celdas De Combustible Microbianas (Ccm) Para Producción De Bioenergía Ana. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3837/PinedaMarínAnadelPilarRosasTafurMarthaLizeth2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Program, K. R., Security, E., Change, C., & Change, C. (2020). Regional Study : Desalination as an alternative to alleviate water scarcity and a climate change adaptation option in the MENA region.

Ramilo, L. B., Gómez de Soler, S. M., & Copprari, N. R. (2003). Tecnologías de proceso para desalinización de aguas. *La Revista de La CNEA*, 3(9/10), 1–13. <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/20405248>

Ramírez-Moreno, M., Rodenas, P., Aliaguilla, M., Bosch-Jimenez, P., Borràs, E., Zamora, P., Monsalvo, V., Rogalla, F., Ortiz, J. M., & Esteve-Núñez, A. (2019). Comparative Performance of Microbial Desalination Cells Using Air Diffusion and Liquid Cathode Reactions: Study of the Salt Removal and Desalination Efficiency. *Frontiers in Energy Research*, 7(December), 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00135>

Ramírez, R., Palacios, J., & Alonso, G. (2015). Determinación de los costos de la desalación nuclear utilizando el código DEEP del OIEA. *Analisis Standar Pelayanan Minimal Pada Instalasi Rawat Jalan Di RSUD Kota Semarang*, 3, 103–111.

Requena Oquendo, D., & Martínez, M. F. (2020). Análisis general de los departamentos Caquetá, Cundinamarca y la Guajira. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/17987>

Revelo, D. M., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información Tecnológica*, 24(6). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>

Ricciulli-Marin, D., Arismendi, C., & Romero, E. (2018). La pobreza en Riohacha: diagnóstico, análisis y propuestas. Banco de La República de Colombia. Documento de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana, No. 275. <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/9555>

Roa, J. M. (2019). Sobre la eficacia de las normas ambientales - Derecho del Medio Ambiente. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/sobre-la-eficacia-de-las-normas-ambientales/>

Rodríguez Fonseca, J. F., Rodríguez Torres, I. L., & Martínez Rojas, A. F. (2013). Conflictividad ambiental en La Guajira: derecho al agua. *Revista Investigaciones Andina (En Línea)*, 15(27), 221–250.
<https://doi.org/10.33132/01248146.42>

Ruge María Catalina. (2015, April 23). El sueño del agua en la Alta Guajira | El PNUD en Colombia. PNUD. <https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/presscenter/articles/2015/04/23/el-sue-o-del-agua-en-la-alta-guajira-.html>

Ruiz Mateo, A. (2007). Los vertidos al mar de las plantas desaladoras. *Ambienta*, 62, 51–59.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2212023>

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

- Saeed, H. M., Husseini, G. A., Yousef, S., Saif, J., Al-Asheh, S., Abu Fara, A., Azzam, S., Khawaga, R., & Aidan, A. (2015). Microbial desalination cell technology: A review and a case study. *Desalination*, 359, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.024>
- Saleem, M. W., Abbas, A., Asim, M., Uddin, G. M., Chaudhary, T. N., & Ullah, A. (2021). Design and cost estimation of solar powered reverse osmosis desalination system. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(6), 1–11. <https://doi.org/10.1177/16878140211029090>
- Sánchez Arancibia, D. F. (2019). Generador De Agua Dulce Por Destilación Al Vacío 2019. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46865/3560901543765UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sataloff, R. T., Johns, M. M., & Kost, K. M. (n.d.). Metodología de la investigación.
- Sataloff, R. T., Johns, M. M., & Kost, K. M. (2019). Humedales artificiales y celdas de combustible microbiana como sistemas individuales para el tratamiento de aguas residuales.
- Satélites Pro. (n.d.). Mapa de Colombia. Retrieved October 6, 2020, from https://satellites.pro/mapa_de_Colombia#10.989728,-73.042603,8
- Sevda, S., Yuan, H., He, Z., & Abu-Reesh, I. M. (2015). Microbial desalination cells as a versatile technology: Functions, optimization and prospective. *Desalination*, 371, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.05.021>
- Shraon De Maziel Riquelme, A., & Rodríguez Palomino, J. C. (2018). PROPUESTA DE MEJORA DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE MAR DE LA EMPRESA ENGIE SAC A TRAVÉS DE LA TÉCNICA DE DESALACIÓN OSMOSIS INVERSA. 1807(2010), 1–5. [http://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/UNIARM/1921/1/Fisfalen Huerta%2C Mario Heinrich_Cueto Burneo%2C José Adolfo_Tesis_Maestría_2018.pdf](http://repositorio.uarm.edu.pe/bitstream/UNIARM/1921/1/Fisfalen%20Huerta%20Mario%20Heinrich_Cueto%20Burneo%20José%20Adolfo_Tesis_Maestría_2018.pdf)
- Sistema Estadístico Nacional. (2020). La Información Del DANE En La Toma De Decisiones De Los Departamentos, La Guajira.
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Singh, K., Douba, I., Kabakebji, D., & Alkasrawi, M. (2020). Microbial desalination cells for water purification and power generation: A critical review. *Energy*, 209, 118493. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118493>
- Torres, M. (2004). Avances Técnicos En La Desalación De Aguas. Octubre, 17–26. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/AM_2004_37_17_26.pdf
- Trujillo, C., & Torres, M. (2012). Contribución de la Universidad del Rosario al debate sobre la educación superior en Colombia (Issue September). <http://editorial.urosario.edu.co>
- Umaña Ramírez, D. E. (2017). Zonificación De Amenaza A Incendios Forestales En El Municipio De Riohacha, La Guajira Zoning Of Threat To Forest Fires In The Municipality Of Riohacha, La Guajira [Universidad Militar Nueva Granada].

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17257/UmañaRamirezDiegoEdison2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- UNDP. (2019). UNV Especialista Social en Agua, Saneamiento e Higiene. https://jobs.undp.org/cj_view_job.cfm?cur_job_id=87696
- USGS. (n.d.). La Ciencia del Agua para Escuelas: El agua salina. Retrieved November 19, 2020, from <https://water.usgs.gov/gotita/saline.html>
- Vargas-Sandoval, G. A., Cotes-cantillo, K., Alvis-Zokzuk, N., Díaz-Jiménez, D., Vallejo, E. D., & Castañeda-Orjuela, C. (2016). Hambre y desnutrición en La Guajira. *Instituto Nacional de Salud*, 7(8), 1–32. <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/publicaciones alternas/boletin8-wayuu/resultados.html>
- Villar García, A. del. (2014). *Investigaciones Geográficas*. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/40932>
- Wang, H., & Ren, Z. J. (2013). A comprehensive review of microbial electrochemical systems as a platform technology. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1796–1807. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.10.001>
- Wang, J., & Wang, Q. (2019). Intelligent explicit model predictive control based on machine learning for microbial desalination cells. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 233(7), 751–763. <https://doi.org/10.1177/0959651818816845>
- World Resources Institute. (n.d.). Asociación de Agua, Paz y Seguridad |. Retrieved May 20, 2021, from <https://www.wri.org/initiatives/water-peace-security-partnership>
- Yuan, H., Abu-Reesh, I. M., & He, Z. (2015). Enhancing desalination and wastewater treatment by coupling microbial desalination cells with forward osmosis. *Chemical Engineering Journal*, 270, 437–443. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.02.059>
- Zahid, M., Savla, N., Pandit, S., Thakur, V. K., Jung, S. P., Gupta, P. K., Prasad, R., & Marsili, E. (2022). Microbial desalination cell: Desalination through conserving energy. *Desalination*, 521(October 2021), 115381. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115381>
- Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022). Worldwide research trends on desalination. *Desalination*, 519(May 2021), 115305. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>
- Zarza Moya, E. (1997). Desalinización de agua del mar mediante energías renovables. *Plataforma Solar de Almería-CIEMAT*, 1, 199–225. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687>
- Zechinnelli Lezama, G. (2018). Solución Analítica Para La Determinación De La Interfase Agua Salada-Agua Dulce En Acuíferos Costeros. 1–70. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/7921>
- Zhu, X., & Logan, B. E. (2014). Microbial electrolysis desalination and chemical-production cell for CO₂ sequestration. *Bioresource Technology*, 159, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.062>

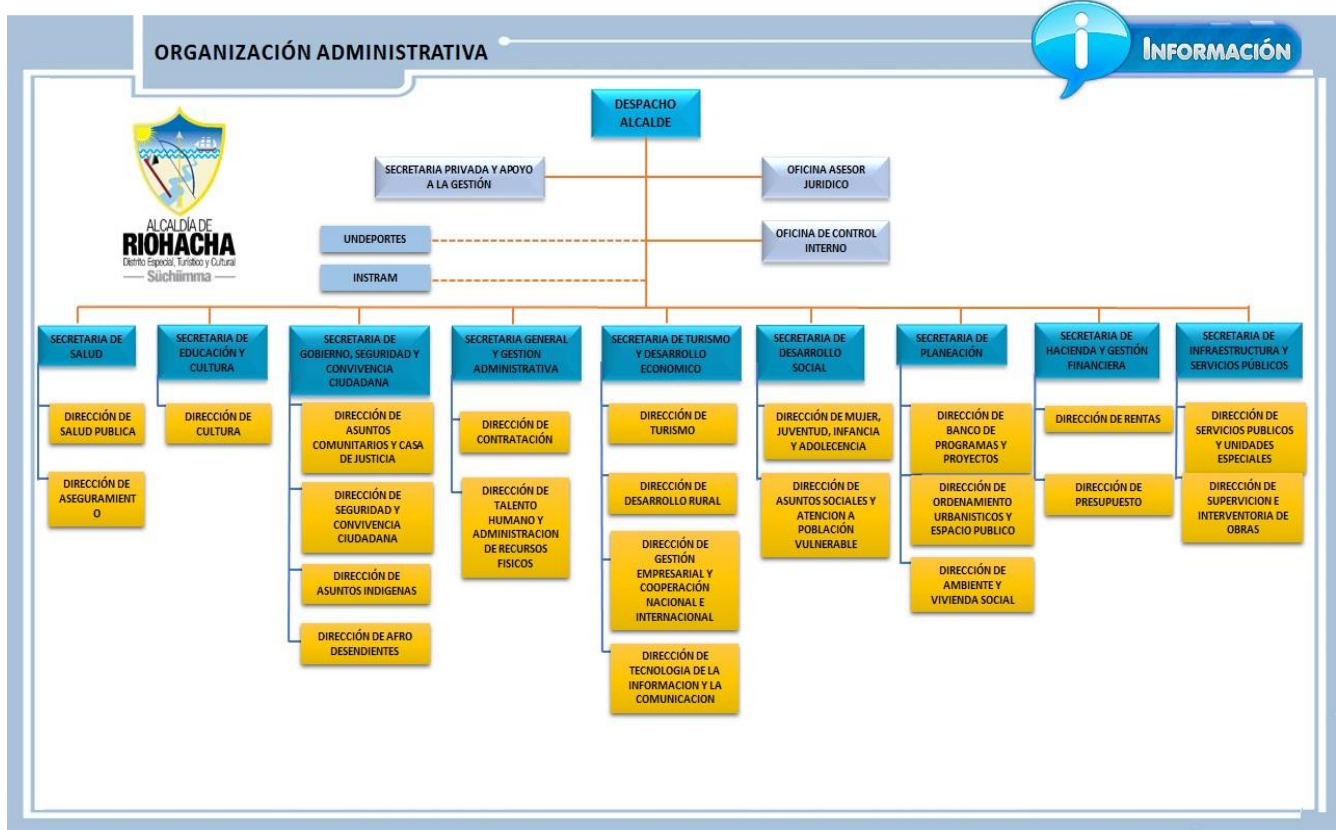
Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha
 (Guajira)

Anexos

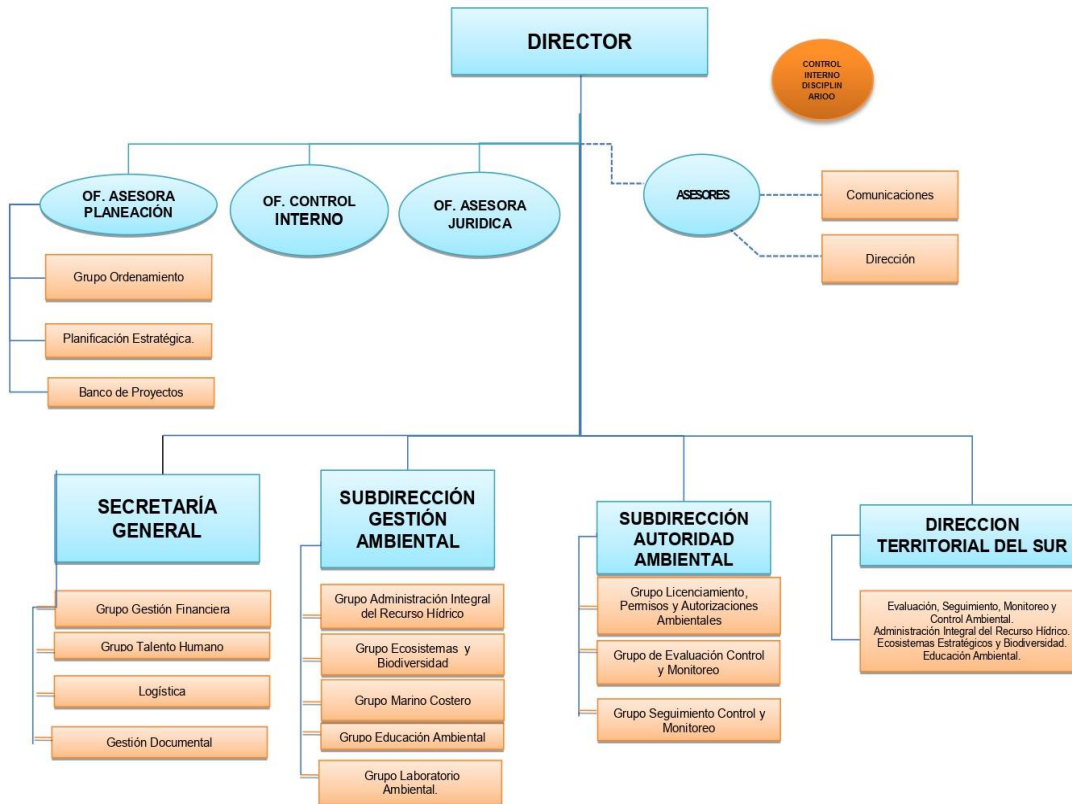


*Anexo 1. Organigrama del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
 Fuente: Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (2020)*



Anexo 2. Organigrama de la Alcaldía de Riohacha
 Fuente: Alcaldía de Riohacha (2020)

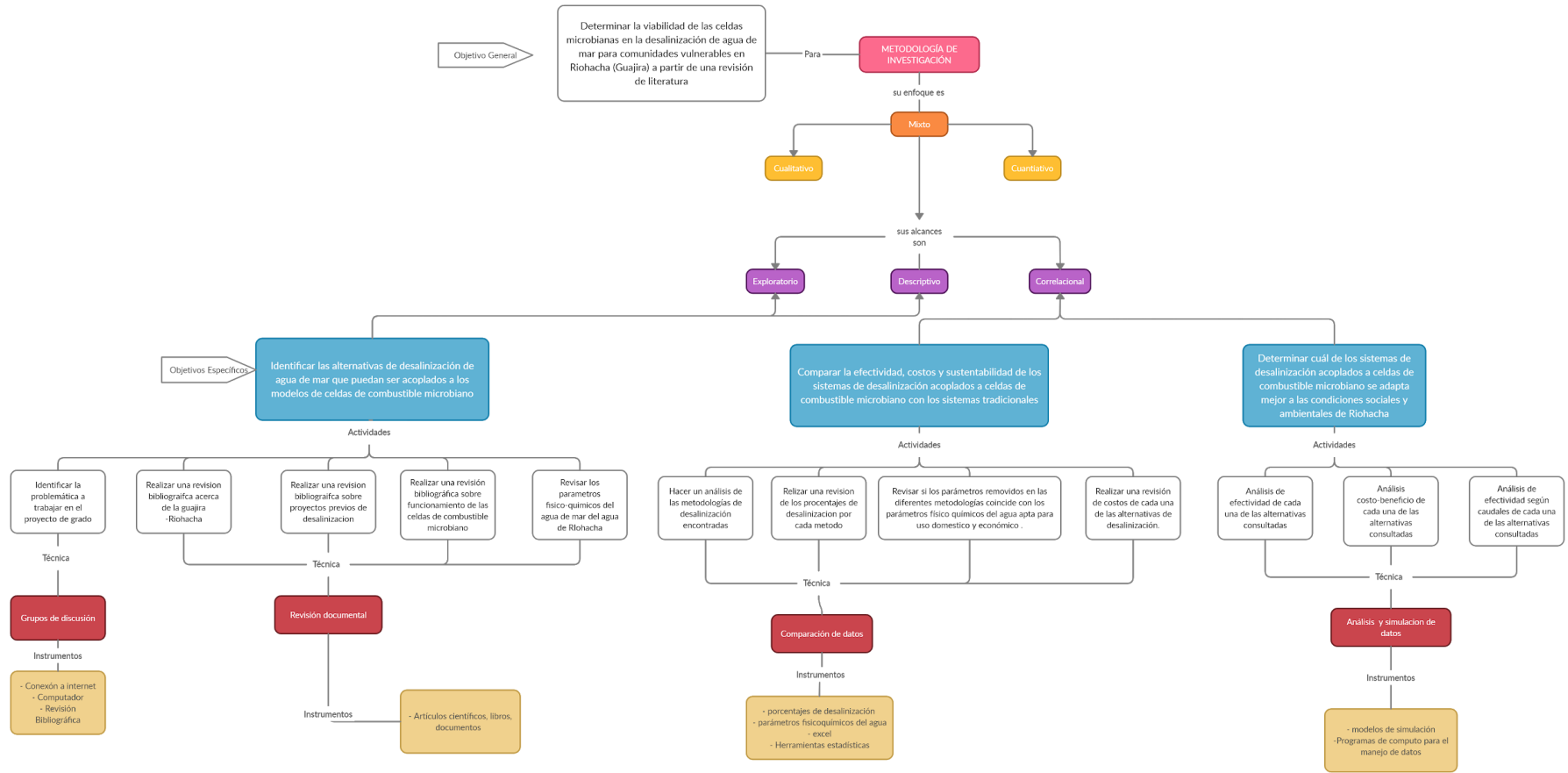
	ESTRUCTURA FUNCIONAL	CODIGO: PC- M- 01
		VERSIÓN:6
		FECHA:07 /07/2017
		Página 1 de 1



*Anexo 3. Organigrama de CORPOGUAJIRA
 Fuente: CORPOGUAJIRA (2020)*

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)



Anexo 4. Metodología de investigación.

Fuente: Autores

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

N°	Año	Titulo	Autores	de desalinización	Costo (USD/m ³)			Cantidad de energía requerida (Kwh/m ³)			Resultados obtenidos			Efectividad % de SDI retirados
					min	max	Prom	min	max	Prom	min	max	Prom	
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Basidór De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Derrys Eduardo Moreno Rosario	OI	0,50	3,00	1,75	2,50	5,00	3,75				96,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Basidór De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Derrys Eduardo Moreno Rosario	MED	0,70	3,50	2,10	5,70	7,80	6,75				90,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Basidór De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Derrys Eduardo Moreno Rosario	MSF	0,40	4,00	2,20	12,70	15,00	13,85				91,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Basidór De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Derrys Eduardo Moreno Rosario	CV	1,00	3,50	2,25	8,00	12,00	10,00				85,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce* https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenieria/articulo/view/2443	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina Maria Grueso Dominguez	ED	50,00	60,00	55,00	2,00	3,00	2,50				90,40
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenieria/articulo/view/2443	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina Maria Grueso Dominguez	OI	0,46	2,53	1,50	1,50	2,00	1,75				97,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenieria/articulo/view/2443	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina Maria Grueso Dominguez	MED	1,53	1,53	1,53							92,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenieria/articulo/view/2443	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina	CV	0,98	0,98	0,98							90,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Buendía Candel, Rafael	MSF	1,10	1,25	1,18	12,70	15,00	13,85				95,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Buendía Candel, Rafael	OI	0,45	0,92	0,69	2,50	4,50	3,50				95,00
4	2004	Avances Técnicos En La Desalación De Aguas	Miguel Tormo	OI	0,40	0,44	0,42	2,40	2,50	2,45				90,00
		Dimensionamiento Y Simulación De Un Sistema Solar Térmico Tipo Finesal Para La Desalinización De Agua De Mar Ubicado En El Departamento De La Guajira	HERNAN DARIO PEDRAZA CORZO DIANA MARCELA VESGA GÓMEZ	MSF				4,00	5,00	4,50				97,00
6	2020	Review of water desalination techniques towards an energy saving approach http://www.scitecresearch.com/journals/index.php/water/article/view/17771826	Armando G. Canales Eliudat V. Wehrcke Napoleón Gudino Elizondo	OI	0,50	1,00	0,75	2,00	3,00	2,50	10000	10000	10000	90,00
6	2020	Review of water desalination techniques towards an energy saving approach http://www.scitecresearch.com/journals/index.php/water/article/view/17771826	Armando G. Canales Eliudat V. Wehrcke Napoleón Gudino Elizondo	MSF	1,00	1,50	1,25	20,00	25,00	22,50	10000	10000	10000	90,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	MED	0,70	1,00	0,85							93,50
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	MSF	0,80	1,50	1,15							95,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	CV				10,00	14,00	12,00				80,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	OI	0,80	1,50	1,15	5,00	15,00	10,00	1000	12000	6500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionqueas.org/files/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montano Sanz	MSF	2,70	3,00	2,85				800	800	800	94,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionqueas.org/files/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montano Sanz	OI	0,34	0,53	0,44				7500	7500	7500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionqueas.org/files/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montano Sanz	ED	1,70	2,00	1,85				1500	1500	1500	99,80
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN/FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNANDEZ	OI	0,51	0,80	0,66	8,00	12,00	10,00	1000	1000	1000	98,00
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN/FUSIÓN	FERNANDEZ	CF	0,18	0,50	0,34	7,30	10,00	8,65	19000	19000	19000	80,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joseqam Lloveras M.	MSF	1,00	1,10	1,05	5,00	8,00	6,50				93,50
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joseqam Lloveras M.	OI	0,60	1,00	0,80	2,00	2,80	2,40				95,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joseqam Lloveras M.	ED	50,00	58,00	54,00	16,00	19,00	17,50				90,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joseqam Lloveras M.	MED	1,50	2,00	1,75	3,40	4,00	3,70				84,50
11	2021	Design and cost estimation of solar powered reverse osmosis desalination system https://doi.org/10.1177/21687814021102900	Muhammad Wajid Saieem1, Asad Abbas1, Muhammad Asim1, Ghulam Mowen Usdin1, Tariq Naveez Chaudhry1 y Asad Ullah2 Ramón L. E. Gómez de Soler, S. M. Coppari N. R. Unidad de Actividad	OI				0,25	1,30	0,77				97,00
		TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS												

Activar Windows
 Ve a Configuración para activar

Anexo 6. Matriz de datos de recolección sistemática

Daniel Fernando Daza Gonzalez
 Laura Alejandra Rodriguez Mancipe

Viabilidad de un modelo de MDC en Riohacha (Guajira)

N°	Año	Titulo	Autores	Se desalinización	Costo (Us\$/m3)			Cantidad de energía requerida (Kwh/m3)			Resultados obtenidos			Efectividad % de SDT retirados
					min	max	Prom	min	max	Prom	min	max	prom	
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DEBALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Diermy Eduardo Moreno Rosario	OI	0,50	3,00	1,75	2,50	5,00	3,75	18045	18045	18045	98,00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DEBALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Diermy Eduardo Moreno Rosario	MED	0,70	3,50	2,10	5,70	7,80	6,75	27249	27249	27249	90,00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DEBALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Diermy Eduardo Moreno Rosario	MSF	0,40	4,00	2,20	12,70	15,00	13,85	39368	39368	39368	91,00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DEBALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Diermy Eduardo Moreno Rosario	CV	1,00	3,50	2,25	8,00	12,00	10,00	9501	9501	9501	85,00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Conesa Ochoa Julio Saldanias Molina	ED	50,00	80,00	55,00	2,00	3,00	2,50	63	63	63	99,40
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Julio Saldanias Molina	OI	0,46	2,53	1,50	1,50	2,00	1,75	15158	15158	15158	97,00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Conesa Ochoa Julio Saldanias Molina	MED	1,53	1,53	1,53	3,83	3,83	3,83	33692	33692	33692	92,00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Conesa Ochoa Julio Saldanias Molina	CV	0,98	0,98	0,98	10,32	10,32	10,32	9154	9154	9154	90,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediana	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Conesa Ochoa Julio Saldanias Molina	MSF	1,10	1,25	1,18	12,70	15,00	13,85	39368	39368	39368	95,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediana	Maria Grueso Dominguez Camilo Castro Jimenez Mauricio Conesa Ochoa	OI	0,45	0,92	0,69	2,50	4,50	3,50	17684	17684	17684	95,00
4	2004	AVANCES TÉCNICOS EN LA DESALACIÓN DE AGUAS	Miguel Torrea	OI	0,40	0,44	0,42	2,40	2,50	2,45	18168	18168	18168	99,00
5	2019	DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO TIPO FRESNEL PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	HERNÁN DARIO PEDRAZA CORZO DIANA MARCELA VESGA GÓMEZ	MSF	1,42	1,42	1,42	4,00	5,00	4,50	41365	41365	41365	97,00
6	2020	Revisión de las técnicas de desalinización de agua con perspectiva de optimizar requerimiento de energía	Armando O. Canales Eliabet V. Wehncke Nicolaeon GudnoEliozondo	OI	0,50	1,00	0,75	2,00	3,00	2,50	10000	10000	10000	99,00
6	2020	Revisión de las técnicas de desalinización de agua con perspectiva de optimizar requerimiento de energía	Armando O. Canales Eliabet V. Wehncke Nicolaeon GudnoEliozondo	MSF	1,00	1,50	1,25	20,00	25,00	22,50	10000	10000	10000	90,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	MED	0,70	1,00	0,85	25,42	25,42	25,42	14010	14010	14010	93,50
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	MSF	0,80	1,50	1,15	14,45	14,45	14,45	39239	39239	39239	95,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	CV	2,38	2,38	2,38	10,00	14,00	12,00	7333	7333	7333	80,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	OI	0,80	1,50	1,15	5,00	15,00	10,00	1000	12000	6500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montañó Sanz	MSF	2,70	3,00	2,85	106,54	106,54	106,54	800	800	800	94,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montañó Sanz	OI	0,34	0,53	0,44	11,24	11,24	11,24	7500	7500	7500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montañó Sanz	ED	1,70	2,00	1,85	38,18	38,18	38,18	1500	1500	1500	99,80
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN-FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNANDEZ	OI	0,51	0,80	0,66	8,00	12,00	10,00	1000	1000	1000	96,00
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN-FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNANDEZ	CF	0,18	0,50	0,34	7,30	10,00	8,65	19000	19000	19000	90,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquín Lloveras M.	MSF	1,00	1,10	1,05	5,00	8,00	6,50	49336	49336	49336	93,50
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquín Lloveras M.	OI	0,80	1,00	0,80	2,00	2,80	2,40	18096	18096	18096	95,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquín Lloveras M.	ED	50,00	58,00	54,00	18,00	19,00	17,50	667	667	667	99,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquín Lloveras M. Muhammad Wajid Saleem1, Asad Akbar1, Muhammad Raza1	MSF	1,40	2,00	1,70	4,40	4,00	4,70	5069	5069	5069	84,50

Anexo 7. Matriz de datos resultado de la regresión lineal

Nº	Año	Título	Autores	de desalinización	Resultados obtenidos									
					Costo (Us\$/m3)			Cantidad de energía requerida (Kwh/m3)			Capacidad de la planta (m3/día)			Effectividad
					min	max	Prom	min	max	Prom	min	max	prom	% de SDT retrados
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Bastidor De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Dennys Eduardo Moreno Rosario	OI	0,50	3,00	1,75	2,50	5,00	3,75				96,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Bastidor De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Dennys Eduardo Moreno Rosario	MED	0,70	3,50	2,10	5,70	7,80	6,75				90,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Bastidor De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Dennys Eduardo Moreno Rosario	MSF	0,40	4,00	2,20	12,70	15,00	13,85				91,00
1	2015	Control Predictivo Generalizado Multivariable De Un Bastidor De Osmosis Inversa De Una Planta Desalinizadora De Agua De Mar	Dennys Eduardo Moreno Rosario	CV	1,00	3,50	2,25	8,00	12,00	10,00				85,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce* https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/2443	Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina María Grueso Domínguez	ED	50,00	60,00	55,00	2,00	3,00	2,50				99,40
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce* https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/2443	Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina María Grueso Domínguez	OI	0,46	2,53	1,50	1,50	2,00	1,75				97,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce* https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/2443	Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina María Grueso Domínguez	MED	1,53	1,53	1,53							92,00
2	2018	Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce* https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/2443	Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa Julio Saldarriaga Molina	CV	0,98	0,98	0,98							90,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Buendía Candel, Rafael	MSF	1,10	1,25	1,18	12,70	15,00	13,85				95,00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Buendía Candel, Rafael	OI	0,45	0,92	0,69	2,50	4,50	3,50				95,00
4	2004	Avances Técnicos En La Desalación De Aguas	Miguel Torres	OI	0,40	0,44	0,42	2,40	2,50	2,45				99,00
5	2019	Dimensionamiento Y Simulación De Un Sistema Solar Térmico Tipo Fresnel Para La Desalinización De Agua De Mar Ubicado En El Departamento De La Guajira	HERNAN DARIO PEDRAZA CORZO DIANA MARCELA VESGA GÓMEZ	MSF				4,00	5,00	4,50				97,00
6	2020	Review of water desalination techniques towards an energy saving approach http://www.revistatycva.com.mx/oa/index.php/tyca/article/view/1777/1826	Armando G. Canales Elisabet V. Wehncke Napoleon Gudino Elizondo	OI	0,50	1,00	0,75	2,00	3,00	2,50	10000	10000	10000	99,00
6	2020	Review of water desalination techniques towards an energy saving approach http://www.revistatycva.com.mx/oa/index.php/tyca/article/view/1777/1826	Armando G. Canales Elisabet V. Wehncke Napoleon Gudino Elizondo	MSF	1,00	1,50	1,25	20,00	25,00	22,50	10000	10000	10000	90,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	MED	0,70	1,00	0,85							93,50
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	MSF	0,80	1,50	1,15							95,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	CV				10,00	14,00	12,00				80,00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40311/u808167.pdf?sequence=1	Felipe Jiménez Pastrana	OI	0,80	1,50	1,15	5,00	15,00	10,00	1000	12000	6500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionaquae.org/sites/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montaña Sanz	MSF	2,70	3,00	2,85				800	800	800	94,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionaquae.org/sites/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montaña Sanz	OI	0,34	0,53	0,44				7500	7500	7500	98,00
8	2013	Análisis económico de la desalinización https://www.fundacionaquae.org/sites/default/files/tesis_borja_montano.pdf	Borja Montaña Sanz	ED	1,70	2,00	1,85				1500	1500	1500	99,60
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN/FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNÁNDEZ	OI	0,51	0,80	0,66	8,00	12,00	10,00	1000	1000	1000	98,00
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN/FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNÁNDEZ	CF	0,18	0,50	0,34	7,30	10,00	8,65	19000	19000	19000	80,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	MSF	1,00	1,10	1,05	5,00	8,00	6,50				93,50
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	OI	0,60	1,00	0,80	2,00	2,80	2,40				95,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	ED	50,00	58,00	54,00	16,00	19,00	17,50				99,00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica https://www.redalyc.org/pdf/467/46711301.pdf	Jorge Lechuga A.1, Mariela Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	MED	1,50	2,00	1,75	3,40	4,00	3,70				84,50
11	2021	Design and cost estimation of solar powered reverse osmosis desalination system https://doi.org/10.1177/2F16878140211029090	Muhammad Wajid Saleem1, Asad Abbas1, Muhammad Asim1, Ghulam Moeen Uddin1, Tariq Nawaz Chaudhary1 y Asad Ullah2	OI				0,25	1,30	0,77				97,00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS https://www.oest.gov/etdeweb/servlets/purl/20405248	Ramilo L.B., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	MSF							4000	57000	30500	90,00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS https://www.oest.gov/etdeweb/servlets/purl/20405248	Ramilo L.B., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	MED							2000	22500	12250	85,00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS https://www.oest.gov/etdeweb/servlets/purl/20405248	Ramilo L.B., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	CV							3000	22500	12750	90,00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS https://www.oest.gov/etdeweb/servlets/purl/20405248	Ramilo L.B., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	OI							10000	51000	30500	99,00

Nº	Año	Título	Autores	de desalinización	Resultados obtenidos									
					Costo (Us\$/m3)			Cantidad de energía requerida (Kwh/m3)			Capacidad de la planta (m3/día)			Efectividad % de SDT retirados
					min	max	Prom	min	max	Prom	min	max	prom	
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Dennys Eduardo Moreno Rosario	OI	0.50	3.00	1.75	2.50	5.00	3.75	18045	18045	18045	96.00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Dennys Eduardo Moreno Rosario	MED	0.70	3.50	2.10	5.70	7.80	6.75	27249	27249	27249	90.00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Dennys Eduardo Moreno Rosario	MSF	0.40	4.00	2.20	12.70	15.00	13.85	39368	39368	39368	91.00
1	2015	CONTROL PREDICTIVO GENERALIZADO MULTIVARIABLE DE UN BASTIDOR DE OSMOSIS INVERSA DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR	Dennys Eduardo Moreno Rosario	CV	1.00	3.50	2.25	8.00	12.00	10.00	9501	9501	9501	85.00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	ED	50.00	60.00	55.00	2.00	3.00	2.50	63	63	63	99.40
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	OI	0.46	2.53	1.50	1.50	2.00	1.75	15158	15158	15158	97.00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	MED	1.53	1.53	1.53	3.83	3.83	3.83	33692	33692	33692	92.00
2	2018	Estado del arte desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	CV	0.98	0.98	0.98	10.32	10.32	10.32	9154	9154	9154	90.00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	MSF	1.10	1.25	1.18	12.70	15.00	13.85	39368	39368	39368	95.00
3	2019	Estudio de alternativas tecnológicas para la desalación de agua de mar en la costa Mediterránea	Maria Grueso Domínguez Camilo Castro Jiménez Mauricio Correa Ochoa	OI	0.45	0.92	0.89	2.50	4.50	3.50	17684	17684	17684	95.00
4	2004	AVANCES TÉCNICOS EN LA DESALACIÓN DE AGUAS	Miguel Torres	OI	0.40	0.44	0.42	2.40	2.50	2.45	16168	16168	16168	99.00
5	2019	DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR TÉRMICO TIPO FRESNEL PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	HERNÁN DARIO PEDRAZA CORZO DIANA MARCELA VESGA GÓMEZ	MSF	1.42	1.42	1.42	4.00	5.00	4.50	41365	41365	41365	97.00
6	2020	Revisión de las técnicas de desalinización de agua con perspectiva de optimizar requerimiento de energía	Armando G. Canales Elisabet V. Wehncke	OI	0.50	1.00	0.75	2.00	3.00	2.50	10000	10000	10000	99.00
6	2020	Revisión de las técnicas de desalinización de agua con perspectiva de optimizar requerimiento de energía	Armando G. Canales Elisabet V. Wehncke	MSF	1.00	1.50	1.25	20.00	25.00	22.50	10000	10000	10000	90.00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Naoeleon GudinoElizondo	MSF	1.00	1.50	1.25	20.00	25.00	22.50	10000	10000	10000	90.00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	MED	0.70	1.00	0.85	25.42	25.42	25.42	14010	14010	14010	93.50
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	MSF	0.80	1.50	1.15	14.45	14.45	14.45	39239	39239	39239	95.00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	CV	2.38	2.38	2.38	10.00	14.00	12.00	7333	7333	7333	80.00
7	2015	COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE DESALINIZACIÓN EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	Felipe Jiménez Pastrana	OI	0.80	1.50	1.15	5.00	15.00	10.00	1000	12000	6500	98.00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montaña Sanz	MSF	2.70	3.00	2.85	106.54	106.54	106.54	800	800	800	94.00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montaña Sanz	OI	0.34	0.53	0.44	11.24	11.24	11.24	7500	7500	7500	98.00
8	2013	Análisis económico de la desalinización	Borja Montaña Sanz	ED	1.70	2.00	1.85	38.18	38.18	38.18	1500	1500	1500	99.60
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN-FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNANDEZ	OI	0.51	0.80	0.66	8.00	12.00	10.00	1000	1000	1000	98.00
9	2012	OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE MAR POR CONGELACIÓN-FUSIÓN	MAHERI CONTRERAS FERNANDEZ	CF	0.18	0.50	0.34	7.30	10.00	8.65	19000	19000	19000	80.00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1., Marieta Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	MSF	1.00	1.10	1.05	5.00	8.00	6.50	40938	40938	40938	93.50
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1., Marieta Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	OI	0.60	1.00	0.80	2.00	2.80	2.40	16096	16096	16096	95.00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1., Marieta Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	ED	50.00	58.00	54.00	16.00	19.00	17.50	667	667	667	99.00
10	2007	Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica	Jorge Lechuga A.1., Marieta Rodríguez2 y Joaquim Lloveras M.	MED	1.50	2.00	1.75	3.40	4.00	3.70	33989	33989	33989	84.50
11	2021	Design and cost estimation of solar powered reverse osmosis desalination system	Muhammad Wajid Saleem1, Asad Abbas1, Muhammad Asim1, Ghulam Moeen Uddin1, Tariq Nawaz Chaudhariv1 y Asad Ullah2	OI	0.85	0.85	0.85	0.25	1.30	0.77	13743	13743	13743	97.00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS	Ramilo L.E., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	MSF	2.13	2.13	2.13	55.37	55.37	55.37	4000	57000	30500	90.00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS	Ramilo L.E., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	MED	2.43	2.43	2.43	25.00	25.00	25.00	2000	22500	12250	85.00
12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS	Ramilo L.E., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	CV	3.53	3.53	3.53	30.52	30.52	30.52	3000	22500	12750	90.00

12	2003	TECNOLOGÍAS DE PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUAS https://www.osi.gov/etdwebserver/etd/purl/20405248	Ramilo L.B., Gómez de Soler, S. M., Coppari N. R. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares – CAC CNEA	OI	1.24	1.24	1.24	12.38	12.38	12.38	10000	51000	30500	99.00
13	2019	EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DESALINIZADORAS USANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN DE LA GUAJIRA COLOMBIANA http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7253/1/4806892019IGA.pdf	Jimenez, Barahona, Leneth, Hanna	OI	0.48	1.62	1.05	1.20	19.00	10.10	15000	60000	37500	98.00
13	2019	EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DESALINIZADORAS USANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN DE LA GUAJIRA COLOMBIANA http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7253/1/4806892019IGA.pdf	Jimenez, Barahona, Leneth, Hanna	MSF	1.00	5.00	3.00	81.00	144.00	112.50	5000	15000	10000	92.00
13	2019	EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DESALINIZADORAS USANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN DE LA GUAJIRA COLOMBIANA http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7253/1/4806892019IGA.pdf	Jimenez, Barahona, Leneth, Hanna	MED	2.00	9.00	5.50	50.00	194.00	122.00	227430	227430	227430	87.00
13	2019	EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DESALINIZADORAS USANDO ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN DE LA GUAJIRA COLOMBIANA http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7253/1/4806892019IGA.pdf	Jimenez, Barahona, Leneth, Hanna	ED	25.00	50.00	37.50	0.60	1.00	0.80	70	70	70	96.00
14	2018	DESALINIZACIÓN DEL AGUA: ¿UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA? http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/1590392018IGA.pdf	ALEXANDER FAJARDO CADENA	OI	0.44	1.62	1.03	2.00	3.00	2.50	60000	100000	80000	95.00
14	2018	DESALINIZACIÓN DEL AGUA: ¿UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA? http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/1590392018IGA.pdf	ALEXANDER FAJARDO CADENA	MED	0.95	1.95	1.45	3.50	5.00	4.25	12000	55000	33500	85.00
14	2018	DESALINIZACIÓN DEL AGUA: ¿UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA? http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/1590392018IGA.pdf	ALEXANDER FAJARDO CADENA	MSF	0.52	1.75	1.14	4.00	5.00	4.50	23000	70000	46500	90.00
14	2018	DESALINIZACIÓN DEL AGUA: ¿UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA? http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7141/1/1590392018IGA.pdf	ALEXANDER FAJARDO CADENA	CV	2.01	2.66	2.34	-	-	11.44	1000	10000	5500	50.00
15	2019	Selección, dimensionamiento y diseño de una planta desalinizadora de agua impulsada por energía solar en La Guajira http://hdl.handle.net/1992/44721	Nieves Olmos, Esteban	MED	-	-	1.93	6.50	11.00	8.75	22830	22830	22830	99.00
16	2019	Selección, dimensionamiento y diseño de una planta desalinizadora de agua impulsada por energía solar en La Guajira http://hdl.handle.net/1992/44721	Nieves Olmos, Esteban	OI	0.50	1.50	1.00	3.00	7.00	5.00	19850	19850	19850	99.00
16	2019	Selección, dimensionamiento y diseño de una planta desalinizadora de agua impulsada por energía solar en La Guajira http://hdl.handle.net/1992/44721	Nieves Olmos, Esteban	MSF	1.00	2.50	1.75	13.50	25.50	19.50	38162	38162	38162	90.00
16	2019	Selección, dimensionamiento y diseño de una planta desalinizadora de agua impulsada por energía solar en La Guajira http://hdl.handle.net/1992/44721	Nieves Olmos, Esteban	ED	-	-	35.00	2.60	5.50	4.05	125	125	125	80.00
17	2012	TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO	Dévara Isordia, Germán E.; González Enríquez, Rodrigo; Ponce Fernández, Nora E	OI	0.60	0.60	0.60	2.00	4.00	3.00	16962	16962	16962	98.00
17	2012	TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO	Dévara Isordia, Germán E.; González Enríquez, Rodrigo; Ponce Fernández, Nora E	MED	1.50	1.50	1.50	3.40	4.00	3.70	33989	33989	33989	96.00
17	2012	TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO	Dévara Isordia, Germán E.; González Enríquez, Rodrigo; Ponce Fernández, Nora E	MSF	1.10	1.10	1.10	5.00	8.00	6.50	40938	40938	40938	91.00
18	1997	DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687.pdf	Eduardo Zarza Moya	OI	1.13	1.13	1.13	6.00	12.00	9.00	25625	25625	25625	97.00
18	1997	DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687.pdf	Eduardo Zarza Moya	MED	1.73	1.73	1.73	2.50	2.50	2.50	36641	36641	36641	92.00
18	1997	DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687.pdf	Eduardo Zarza Moya	MSF	1.42	1.42	1.42	4.00	5.00	4.50	41365	41365	41365	93.00
18	1997	DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687.pdf	Eduardo Zarza Moya	CV	2.69	2.69	2.69	17.00	17.00	17.00	1912	1912	1912	75.00
18	1997	DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=566687.pdf	Eduardo Zarza Moya	CF	-	-	-	13.00	13.00	13.00	-	-	-	70.00
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	MED	0.70	4.00	2.35	1.00	2.50	1.75	1000	10000	5500	95.00
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	MSF	1.20	4.20	2.70	3.00	3.00	3.00	1000	100000	50500	94.20
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	CV	0.50	5.00	2.75	11.00	25.00	18.00	200	1000	600	70.30
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	OI	0.50	3.00	1.75	4.00	17.00	10.50	10000	10000	10000	99.40
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	ED	0.50	3.00	1.75	0.80	11.00	5.90	200	200	200	96.50
19	2000	http://revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/848/841 Desalinización del agua	Felipe I. Arreguin Cortés Alejandra Martín Domínguez	CF	-	-	-	6.00	108.00	57.00	-	-	-	76.50
20	2004	https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/sistemas%20de%20desalinizac%C3%B3n.pdf LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA	OSCAR BARRACCHINI MORENO	MED	1.51	2.06	1.79	4.42	4.42	4.42	20000	5000	102500	99.94
20	2004	https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/sistemas%20de%20desalinizac%C3%B3n.pdf LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA	OSCAR BARRACCHINI MORENO	MSF	1.92	2.48	2.20	60.28	60.28	60.28	20000	5000	102500	99.94
20	2004	https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/sistemas%20de%20desalinizac%C3%B3n.pdf LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA	OSCAR BARRACCHINI MORENO	OI	1.24	1.57	1.41	17.29	17.29	17.29	20000	5000	102500	98.89
21	2013	OPTIMIZACIÓN DE COSTES EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PARA PLANTAS DESALINIZADORAS DE AGUA DE MAR MEDIANTE OSMOSIS INVERSA EN LAS ISLAS CANARIAS https://accedicris.uiboc.es/bitstream/10553/11533/3/0312170_0000_0003.pdf	José Juan Feo García	OI	0.80	1.50	1.15	5.00	7.00	6.00	15000	15000	15000	97.00
22	2013	Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México http://www.revistayca.org.mx/oi/index.php/fyca/article/view/364/324	Germán Eduardo Dévaras Isordia Rodrigo González Enríquez Saúl Ruiz Cruz	MED	1.50	1.50	1.50	3.40	4.00	3.70	18000	18000	18000	99.00

