



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Técnicas de desalinización de agua marina en la producción de agua  
potable

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Puicon Garcia, Jhon Alexander ([orcid.org/0000-0003-4316-178X](https://orcid.org/0000-0003-4316-178X))

Romero Simeon, Kevyn Manfred ([orcid.org/0000-0001-9115-0087](https://orcid.org/0000-0001-9115-0087))

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo ([orcid.org/0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y gestión de los recursos naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenibles y adaptación al cambio climático

**TRUJILLO – PERÚ  
2022**

## **DEDICATORIA**

Agradecer ante todo a Dios que permitir que logre cumplir mis sueños propuestos. A mi familia dar las gracias por su apoyo en todo momento, en cuanto a mis padres agradecerles por darme su apoyo incondicional sin dudar.

**Kevyn**

Primordialmente agradecer a Dios, por permitirme alcanzar esta oportunidad que me ayudara a lo largo de la vida. Agradecer a las personas más importantes como son mis padres por el apoyo brindado, por las decisiones que tome y sus consejos tan valiosos para poder lograr mis metas.

**Jhon**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer las personas más importantes en nuestras vidas como la familia y padres darles las gracias por su apoyo incondicional. También dar las gracias por la ayuda en todo momento del Ingeniero. José Alfredo Cruz Monzón que fue nuestro asesor en todo el transcurso del ciclo darle gracias por compartir sus conocimientos, también recomendaciones, paciencia y comprensión. Finalmente, por haber sido un guía en todo nuestro proceso para lograr la culminación y desarrollo de la tesis. Concluimos dando gracias por permitirnos estudiar en la Universidad César Vallejo el mejor centro de estudios del Perú

## Índice de contenido

Carátula	
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	9
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	9
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	9
3.3. Escenario de estudio.....	9
3.4. Participantes .....	9
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	10
3.6. Procedimiento .....	11
3.7. Rigor científico .....	13
3.8. Método de análisis de datos.....	13
3.9. Aspectos éticos .....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
V. CONCLUSIÓN.....	25
VI. RECOMENDACIONES.....	26
REFERENCIAS	
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 01. criterios de inclusión con respecto a los artículos encontrados .....	10
Tabla 02. Palabras claves usadas en la búsqueda de artículos en las bases de datos.....	11
Tabla 03: Datos extraídos de la recopilación de artículos usados.....	14
Tabla 04: Eficiencia de las técnicas de desalinización de agua de mar según el proceso de membrana.....	16
Tabla 05: Eficiencia de las técnicas de desalinización de agua de mar según el proceso térmico. ....	17
Tabla 06: Eficiencia en la remoción de sal de las técnicas de desalinización de agua de mar .....	19
Tabla 07: Nivel de producción de agua potable obtenida por la desalinización de agua de mar según el tipo de técnica.....	21
Tabla 08: Consumo energéticos de las técnicas de desalinización.....	22
Tabla 09: Condiciones finales del agua según las técnicas de desalinización de agua de mar. ....	23

Índice de gráficos y figuras

Figura 01: Tipos de procesos y técnicas en la desalinización de agua de mar. ....	8
Figura 02: Flujograma del procedimiento .....	12
Figura 03: Eficiencias máximas de las técnicas de desalinización evaluadas .....	18
Figura 04: Eficiencia de remoción de sales según el tipo de técnica. ....	20
Figura 05: Consumo energético de las técnicas de desalinización .....	23

## RESUMEN

Las técnicas de desalinización de agua de mar en la obtención de agua potable, originado por el acceso y escases de agua potable en países subdesarrollados, existen distintas técnicas, unas mejores que otras siendo más eficientes en producción, remoción de sales y con menos impactos ambientales. Esta investigación tuvo como finalidad evaluar mediante revisión sistemática la eficiencia de las técnicas de desalinización de aguas marinas en la producción de agua potable. Para ello, se realizó una búsqueda en las bases de datos (ScienceDirect, Scopus, Ebsco host, Scielo) considerando criterios de inclusión y utilizando las palabras claves establecidas. Los resultados de la investigación mostraron que la mayor cantidad de agua potable se obtiene en los procesos térmicos en las técnicas Desalinización instantánea de múltiples etapas (14000 m<sup>3</sup>/día) y Destilación multiefecto (10000 m<sup>3</sup>/día). Pero también siendo las que más consumo energético utilizan, además de ser menos eficientes en la remoción de salinidad. A diferencia de las técnicas de procesos de membranas Osmosis inversa (85 - 99.9%), Electrodiálisis (70 – 96.2) y el Desionización capacitada (75%). Concluimos que la técnica más eficiente en remoción es la Osmosis inversa y la que mayor producción de agua potable se genera en los procesos de membranas.

Palabras claves: técnicas de desalinización, osmosis inversa, electrodiálisis, desionización capacitada, destilación multiefectos, desalinización instantánea de múltiples etapas.

## ABSTRACT

Seawater desalination techniques in obtaining drinking water, caused by access and scarcity of drinking water in underdeveloped countries, there are different techniques, some better than others being more efficient in production, removal of salts and with less environmental impact . The purpose of this research was to evaluate, through a systematic review, the efficiency of seawater desalination techniques in the production of drinking water. For this, a search was carried out in the databases (ScienceDirect, Scopus, Ebsco host, Scielo) considering inclusion criteria and using the established keywords. The results of the research showed that the largest amount of drinking water is obtained in the thermal processes in the multi-stage instantaneous desalination (14,000 m<sup>3</sup>/day) and multi-effect distillation (10,000 m<sup>3</sup>/day) techniques. But also being the ones that use the most energy consumption, in addition to being less efficient in the removal of salinity. Unlike the membrane process techniques Reverse Osmosis (85 - 99.9%), Electrodialysis (70 - 96.2) and Capacitive Deionization (75%). We conclude that the most efficient removal technique is reverse osmosis and the one that generates the highest production of drinking water in membrane processes.

Keywords: reverse osmosis desalination techniques, electrodialysis, capacitive deionization, multi-effect distillation, multi-stage instantaneous desalination.



## I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es un compuesto vital para la vida y toda actividad agrícola, minera, industrial o cualquier otro tipo de actividad que ayude a nuestra sustentabilidad. Según estimaciones solo el 3% es agua dulce, el restante es considerada no potable (Skuse et al., 2021, pp. 1-3). Ahora del 3% mencionado, solo el 30% se encuentran accesibles para el consumo los restantes están almacenados en los icebergs de la Antártida y el Ártico, con difícil e imposible acceso (Li et al., 2021, pp. 1-2).

Actualmente, en los últimos años este recurso viene presentando una escasez, donde el aumento exponencial de la población mundial generó una creciente demanda en el recurso hídrico provocando un problema a gran escala que nos está afectando cada año, se pronostica para el año 2050 que los habitantes sobre excedan los 9,4 mil millones de población (Khan y Al-Ghout, 2021, pp. 1-2). Por último, la falta de agua, también pueden ser ocasionadas por la sobreexplotación de las aguas subterráneas y las sequías prolongadas a causa del cambio climático, siendo los mayores afectados por este recurso los centros rurales (Sanchez, 2020, pp. 3-4). Según el Banco Mundial en el 2019, de todo el mundo 2200 millones de personas no contaban con servicio de agua potable y 4200 millones no cuentan con un servicio de saneamiento básico.

Respecto de la desalinización claramente deberá pasar por un proceso de descontaminación o purificación para el consumo y cumplir con los parámetros o requisitos establecidos. Los procesos o técnicas más conocidos son la electrodiálisis y ósmosis inversa, esta última mencionada en el 2017, ha sido la técnica más utilizada de desalinización de agua de mar, con un 69% respecto a otras técnicas confiables, pero con un consumo de energía elevado, que por lo menos requiere magnitudes entre 6 a 68 kwh, para eliminar la sal en un metro cúbico (Hosseini et al., 2021, pp. 2-3). Solo en ese año la desalación de agua de mar, ha proporcionado a países del consejo del golfo, más del 20% de agua potable (Jones et al., 2019, p. 2). Casi el 50% de las actividades de desalinización rodean el golfo de arábigo, el Reino de Arabia Saudita, Emiratos, Qatar entre otros países aledaños por otro lado, en África del norte ya se está

experimenta la carencia de agua, incluso el acceso al agua potable se está tornando limitado en los países europeos y latinoamericanos (Bu et al., 2020, p. 3). Finalmente, las plantas desalinizadoras seguirán siendo esencial en cuanto desarrollo industrial, social y económico, sin olvidar su producción de (CO<sub>2</sub>) e impactos en el ecosistema acuático (Agedi, 2016), muy aparte que la mayoría de las construcciones de plantas de desalinización alteran los hábitats marinos, dañando los ecosistemas (Ibrahim y Elthair, 2019, p. 2).

El desarrollado de la investigación se justificó por uno de los problemas globales de mayor impacto para humanidad ha sido el acceso a fuentes de agua potable, se han generado nuevas investigaciones innovadoras y eficientes sobre las técnicas de desalinización de agua de mar, algunos benéficos es brindar agua potable para personas en áreas que tienen recursos limitados de agua dulce o tiempos de sequía, proporciona agua a la industria agrícola, lo cual es ideal para regiones áridas que experimentan sequía, el agua de mar/océano es ilimitada como fuente de agua, por lo cual ayuda a preservar los suministros actuales de agua dulce evitando una crisis de escasez de agua que podría afrontar el mundo.

El Impacto ambiental que generan las plantas desalinizadoras son el excesivo consumo de energía en el proceso, bien sea hidroeléctrica, térmica, eólica o energías convencionales. Por otra parte, la contaminación de los mares por desechos o residuos generados en los procesos, son de suma importancia por la sal que será extraída del agua, en muchas ocasiones regresan al mar, esto provoca que los ecosistemas de arrecife de coral donde se albergan millones de especies, tengan cambios drásticos en sus niveles de Ph, esto altera los niveles naturales de crecimiento, migración, apareamiento e incluso pueden llegar a morir.

De acuerdo a la problemática descrita nos permitió formular la siguiente pregunta de investigación, ¿Cuáles son las técnicas de desalinización de aguas marinas más eficientes en la producción de agua potable según el tipo de proceso?, siendo los problemas específicos ¿Cuáles son los tipos de técnicas más eficientes para la remoción de sales?, ¿Cuáles son las producciones de

agua potable según el tipo de técnica y el consumo energético?, y ¿Cuáles son las condiciones finales del agua obtenida por desalinización según el tipo de técnica?

La importancia del trabajo radica principalmente en la comprensión de técnicas o procesos alternativos para la desalinización de los recursos hídricos con propiedades de aguas marinas en la producción de agua potable, contribuyendo para generar agua para su potabilización, por su escasez que esta aumenta a lo largo del tiempo en todo el mundo. Además, la presente investigación brinda un análisis y recopilación para sintetizar toda información reportada de 4 plataformas digitales de base de datos que son de acceso abierto para evaluar tecnologías de proceso de desalinización para la obtención de agua potable. Y por último esperar que este estudio pueda servir como guía para futuras investigaciones.

Finalizando, para alcanzar los resultados esperados se tuvo como objetivo general; Evaluar la eficiencia de las técnicas de desalinización de aguas marinas en la producción de agua potable según el tipo de proceso. De igual modo, como objetivos específicos se propusieron; Evaluar la eficiencia de remoción de salinidad del agua de mar según el tipo de técnica aplicado. Evaluar el nivel de producción de agua potable obtenida por la desalinización del agua de mar con respecto al consumo de energía. Evaluar la condición final del agua obtenida por desalinización según el tipo de técnica

## II. MARCO TEÓRICO

Raid Alrowaisa et al, (2020, pp. 2-12), en su artículo de investigación titulado: “A greener seawater desalination method using direct contact spray evaporation and condensation: experiments”, el cual tuvo como objetivo presentar una evaporación y condensación asistida por aspersion de contacto directo para una desalinización más ecológica. Fue un estudio experimental que está compuesto de tres partes principales, cámaras de evaporador y condensador, también contienen otros componentes externos para el soporte, calentador, bombas, intercambio de calor y tanque de destilado. tenemos el dispositivo de micro/nano burbujas el equipo es de inyección lateral, que complementa la alimentación al evaporador. De los experimentos resultados se observó que (DNSSEC) simple incrementa linealmente la temperatura de alimentación con gradiente de 1.43 L/hr m<sup>3</sup> por grado. En cambio, el (DCSEC) híbrido del generador M/NB aumenta el gradiente en 2.01 L/ hr m<sup>3</sup> por grado, esto significa la mejora de producción de destilado hasta un 34% comparativamente. El estudio destaca el fenómeno de parpadeo que se mejoró mediante la incorporación de micro / nano burbujas subenfriadas en la alimentación de agua de mar antes de su inyección en la cámara del evaporador.

Gijs Doornbusch et al, (2021, pp. 1-10), en su investigación titulado: “Multistage electro dialysis for desalination of natural seawater”, tuvo como objetivo de investigación el rendimiento de un sistema electrodiálisis (ED) de múltiples etapas para la desalación de agua de mar en condiciones reales, utilizando agua de mar natural como solución de alimentación. Fue un estudio experimental, al inicio, se investigó el efecto de corriente en la eliminación de iones multivalentes usando dos pilas con diferentes tipos de CEM (Fujifilm Type 10 y Fujifilm T1, respectivamente. Finalmente, se llevaron a cabo experimentos con agua de mar natural durante un período de 5 días. De los experimentos resultados mostraron una eliminación preferencial de calcio y magnesio para todas las densidades de corriente probadas (0-300 A / m<sup>2</sup>) y también en este caso la pila con membranas Tipo T1 eliminó más magnesio en comparación con las membranas Tipo 10. El estudio destaca el uso de agua de mar para probar el sistema mejorado de múltiples etapas (ED) durante 18 días de operación en condiciones reales, mostrando una concentración de salida de dilución estable durante todo el período de prueba.

Lintao Li et al, (2021, pp. 1-9), en su artículo de investigación titulado: “Kesterite Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Water-separating thin film photovoltaic solar energy for solar seawater desalination”, tuvo como objetivo de investigación proponer un material fotocátodo CdS / CZTS que puede desalar continuamente el agua de mar bajo iluminación y muestra una excelente estabilidad. Fue un estudio experimental. Mediante la técnica de voltamperometría cíclica (CV) y el cálculo teórico, probamos la capacidad del Pt / A-TiO<sub>2</sub>/ Fotocátodo CdS / CZTS para ayudar en la desalación con flujo redox bajo iluminación. Posteriormente, el electrodo de ánodo se modifica en la superficie para mejorar su actividad catalítica superficial. Luego, los electrodos cátodo / ánodo se conectan en serie con el cable externo y desalinizan el agua salada. En condiciones de agua de mar simuladas, la conductividad en la corriente de sal se reduce el fotocátodo aún mantiene un rendimiento de desalación superior al 95% y tiene una estabilidad superior. El estudio destaca las impresionantes propiedades de la desalinización solar en el agua de mar del fotocátodo CZTS aquí tiene alta eficiencia y la desalinización es estable, muestra un gran potencial y perspectivas brillantes en aplicaciones industriales.

Malgorzata Ro et al, (2020, pp. 2-11), en su investigación titulado: “Effect of pH on the transport and adsorption of organic micropollutants in ion-exchange membranes in electrodialysis-based desalination”, se planteó como objetivo investigar el efecto del pH en el transporte de Micro contaminantes orgánicos (OMP) en membranas de intercambio iónico (IEM) en electrodiálisis (ED). Fue un estudio experimental. En los procesos de desalinización por electrodiálisis energéticamente eficientes, los iones de sal se transportan del agua de mar (alta salinidad) a las aguas residuales (baja salinidad) a través de membranas de intercambio iónico. Los mecanismos de transporte de micro contaminantes orgánicos a través de membranas de intercambio iónico son fenómenos complejos y el pH tiene un impacto tremendo sobre ellos. Es de crucial importancia investigar su influencia en estos mecanismos. De los experimentos resultados. En experimentos sin NaHCO<sub>3</sub>, el pH mostró una fuerte disminución al comienzo de cada experimento tanto en aguas residuales como en agua de mar, Por el contrario, en experimentos con NaHCO<sub>3</sub>, el pH inicial, aumentó rápidamente. Esto indica que la transferencia de protones de las aguas residuales a la corriente de agua de mar es menor en comparación de la solución de enjuague de electrodos (ERS) a la corriente de aguas residuales. El estudio

destaca que los hallazgos presentados avanzan nuestra comprensión del tipo de interacciones entre los microcontaminantes orgánicos y las membranas de intercambio iónico.

Muhammad Qa et al, (2020, pp. 1-11), en su artículo titulado: “Ultrasound-assisted forward osmosis desalination using inorganic draw solutes”, tuvo como objetivo investigar los efectos del ultrasonido durante la desalación de FO de agua salobre y de mar utilizando dos solutos de extracción inorgánica: sulfato de magnesio y sulfato de cobre. Fue un estudio experimental. utiliza dos solutos de extracción inorgánicos diferentes (magnesio y sulfato de cobre) que están disponibles comercialmente, pueden generar altas presiones osmóticas y pueden separarse fácilmente del agua del producto. De los experimentos resultados se muestran que el ultrasonido aplicado fue efectivo para mitigar parcialmente los efectos de ICP y mejorar el flujo de agua. El estudio destaca que el ultrasonido con una frecuencia de 40kHz es eficaz para mitigar parcialmente los efectos de ICP durante la desalinización de FO de agua salobre y de mar utilizando sulfato de magnesio y sulfato de cobre.

Abdulrahman Al-Kaabi et al, (2021, pp. 1-13), en su artículo de investigación titulado: Assessment of water quality variations on pretreatment and environmental impacts of Seawater reverse osmosis (SWRO) desalination, tuvo como objetivo de investigación cuantificar cómo la calidad del agua y los requisitos de pretratamiento influyen en los impactos ambientales de (SWRO) mediante el modelado y la evaluación del ciclo de vida de una planta (SWRO) en diferentes ubicaciones en una región específica del Golfo Árabe. Fue un estudio experimental. El (LCA) es un método eficaz que explora enfoques para reducir los impactos ambientales de los procesos de ósmosis inversa (RO). Este estudio consideró el papel de la ubicación y la calidad del agua de mar asociada en la sostenibilidad ambiental general del proceso. Los experimentos resultados de este estudio pueden brindar información sobre otros lugares del mundo para limitar las amenazas de la contaminación ambiental. Los sitios cerrados y poco profundos mostraron más impactos ambientales en comparación con los otros lugares. El estudio destaca la desalinización para agua salada que cumple un papel muy importante en la mejora del desarrollo socioeconómico a largo plazo que se está

produciendo en todos los países ubicados a lo largo del Golfo Árabe y desempeñará un rol fundamental para la tranquilidad económica y social de otros países.

A continuación, se pasará a definir unos conceptos básicos, como base para el entendimiento del proyecto de investigación desarrollado.

Las técnicas de desalinización de agua de mar más conocidas son la ósmosis inversa y electrodiálisis, confiables y ampliamente utilizadas, pero el consumo de energía debe reducirse para convertirse en una tecnología sostenible. Otras técnicas que vienen surgiendo en las últimas décadas, son la desionización capacitiva y la desalinización de baterías con un consumo de energía menor a las tecnologías de desalinización existentes (Zhang et al., 2020, pp. 1-3).

La ósmosis inversa es un proceso químico, con concentraciones diferentes que se equilibran cuando el agua fluye por medio de la membrana semipermeable de una solución diluida en la dirección más concentrada. La fuerza provocada por esta actividad se llama presión osmótica y está conectada a la densidad de sal en la solución. En algunos casos, el sistema de ósmosis inversa se compone principalmente de bombas de alta presión, centrales eléctricas, mecanismos de restauración de energía y por último de módulos de membrana (Do et al., 2019, p. 12)

Por otro lado, la electrodiálisis (ED) está basada en la separación selectiva de cationes y aniones a través de una serie de membranas de intercambio iónico (IEM) bajo la acción de un campo eléctrico. En la actualidad, la ED se utiliza principalmente a escala industrial para eliminar selectivamente iones de soluciones acuosas y desalinizar agua salobre. En general, se cree que la ED consume mucha energía para la desalinización del agua de mar (Bundschuh et al., 2021, p.1).

Finalmente tenemos la destilación solar (SD), compresión mecánica de vapor (CMV) y destilación de múltiples etapas (MED) son parte de los métodos de condensación y evaporación (térmicos). Por otro lado, tenemos los métodos por separación de membrana, en este método tenemos las técnicas de ósmosis inversa (RO), destilación por membrana (MD) y nanofiltración (NF) y si queremos abarcar

un poco más podemos hablar de los métodos de catión y electrodiálisis (Khan et al., 2021, p. 2), (Do et al., 2019, p. 3)

El agua sin duda, es fundamental para el sustento de la vida en el planeta, impulsa a organismos vivos a sobrevivir, es un elemento natural que está compuesto de hidrógeno y oxígeno. Solo el 3% está disponible como agua dulce y el 97% restante es agua de mar. Los recursos hídricos naturales que existen están siendo contaminados por industrias y otras actividades (Khan et al., 2021, p.1). (Skuse et al., 2021, p. 1)

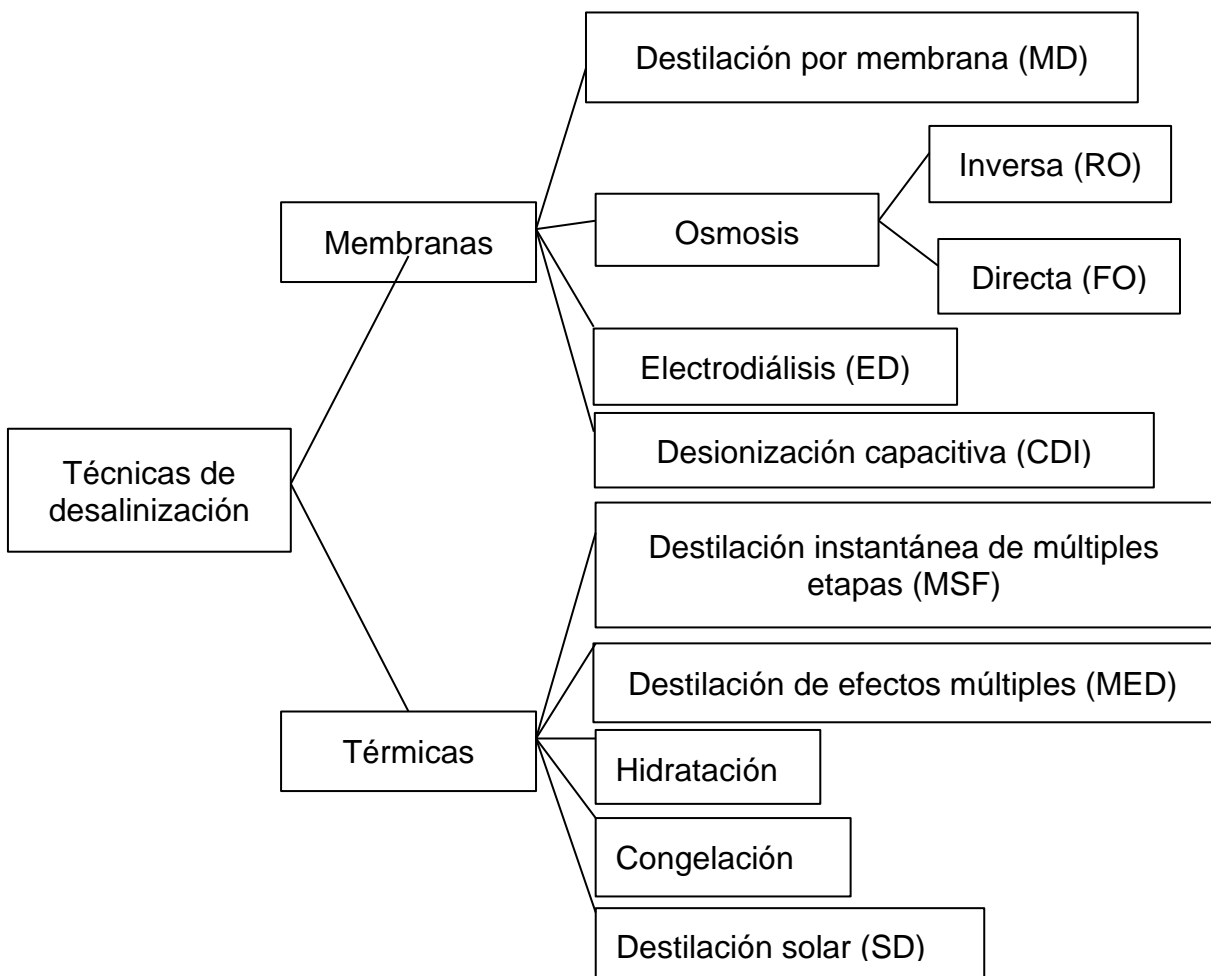


Figura 01: Tipos de procesos y técnicas en la desalinización de agua de mar.

Fuente: Elaboración propia.

Siendo las técnicas de desalinización más utilizadas y conocidas la RO, ED, MSF y MED.



### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación fue de función básica y de naturaleza cualitativa, de acuerdo a su profundidad de tipo descriptivo por cuanto su finalidad es servir a futuras investigaciones relacionadas al tema.

En cuanto al diseño fue de tipo no experimental, correspondiente a una revisión sistemática de artículos científicos sin meta análisis, además de ser tipo longitudinal.

#### **3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización**

En categorías evaluamos los tipos de técnicas y los procesos en la desalinización del agua de mar de acuerdo a su eficiencia de remoción y productividad.

Subcategorías tenemos el proceso térmico y el proceso de membrana. Mientras que en las técnicas de desalinización tenemos la destilación multiefectos, ósmosis inversa, electrodiálisis, desionización capacitada y Flash multietapa. (Anexo 01)

#### **3.3. Escenario de estudio.**

El escenario de estudio estuvo conformado por las siguientes bases de datos utilizados como: ScienceDirect, Scopus, Ebsco host, Scielo. Todo esto con el fin de evaluar nuestros objetivos descritos anteriormente.

#### **3.4. Participantes**

Estuvieron constituidos por los artículos científicos extraídos de las bases de datos indexadas y con acceso libre. Seguidamente serán previamente seleccionado según criterios de inclusión establecidos, además de ser artículos relacionados a nuestro tema de investigación.

Los participantes son considerados como el universo, donde los individuos, cosas, animales poseen características similares para ser estudiados y determinar su realidad (Ñaupás, et al. 2018).

Tabla 01. criterios de inclusión con respecto a los artículos encontrados

Nº	Ítems	Criterio de inclusión
1	Tipo de documento	Artículos científicos indexados
2	Idioma	Inglés – Español
3	Accesibilidad	Libre acceso
4	Año de publicación	2015 – 2021

Fuente: elaboración propia

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

La técnica aplicada para la recolección de datos de la investigación desarrollada fue el análisis documental, Asimismo, el instrumento utilizado fue la ficha de recolección de datos. El cual consistió en el análisis de la información recopilada para comprender y expresar mejor nuestros resultados en relación a nuestros tema y objetivos de investigación.

Tabla 02. Palabras claves usadas en la búsqueda de artículos en las bases de datos

N°	Base de Datos	Palabras claves
1	Sciencedirect	En Ingles: "eawater" AND "Desalination" AND "Techniques" AND "desalination" AND "Capable Deionization" AND "Mechanical Vapor Compression" AND "multi-effect distillation" AND "Multi-stage flash distillation"
2	Scopus	En Ingles: "eawater" AND "Desalination" AND "Techniques" AND "desalination" AND "Capable Deionization" AND "Mechanical Vapor Compression" AND "multi-effect distillation" AND "Multi-stage flash distillation"
3	Scielo	En Ingles: "Desalination" AND "sea water" AND "Techniques" AND "desalination" AND "Capable Deionization" AND "Mechanical Vapor Compression" AND "multi-effect distillation" AND "Multi-stage flash distillation"  En Español: "Desalinización" y "Agua de mar" y "Técnicas" "Desalinización" y "Desionización capaz" y "Compresión mecánica de vapor" y "destilación multiefecto" y "Destilación instantánea multi-etapa"
4	Ebsco Host	En Ingles: "Desalination" AND "sea water" AND "Techniques" AND "desalination" AND "Capable Deionization" AND "Mechanical Vapor Compression" AND "multi-effect distillation" AND "Multi-stage flash distillation"

Fuente: elaboración propia

### 3.6. Procedimiento

Iniciamos mediante la búsqueda en las bases de datos (ScienceDirect, Scopus, Ebsco host, Scielo) en busca de artículos científico, luego se procedió a utilizar las palabras claves establecidas considerando los criterios de inclusión. Los artículos extraídos deben estar relacionados con respecto a nuestro tema de investigación. En total se extrajeron 180 artículos de 4 bases de datos. Luego se procedió a descartar los artículos duplicados y posteriormente se desecharon los artículos que no aportaron en la investigación, para finalmente quedarnos solo con 21 artículos, de los cuales serán extraídos los datos en una hoja de cálculo de Excel, donde se procedió a la evaluación y clasificación con respecto a nuestras categorías y sub categorías, extrayendo los resultados y posteriormente se realizó la

discusión comparándolos entre sí. Para finalizar hicimos las conclusiones con respecto a los objetivos planteados y seguido a esto se plantearon algunas recomendaciones.

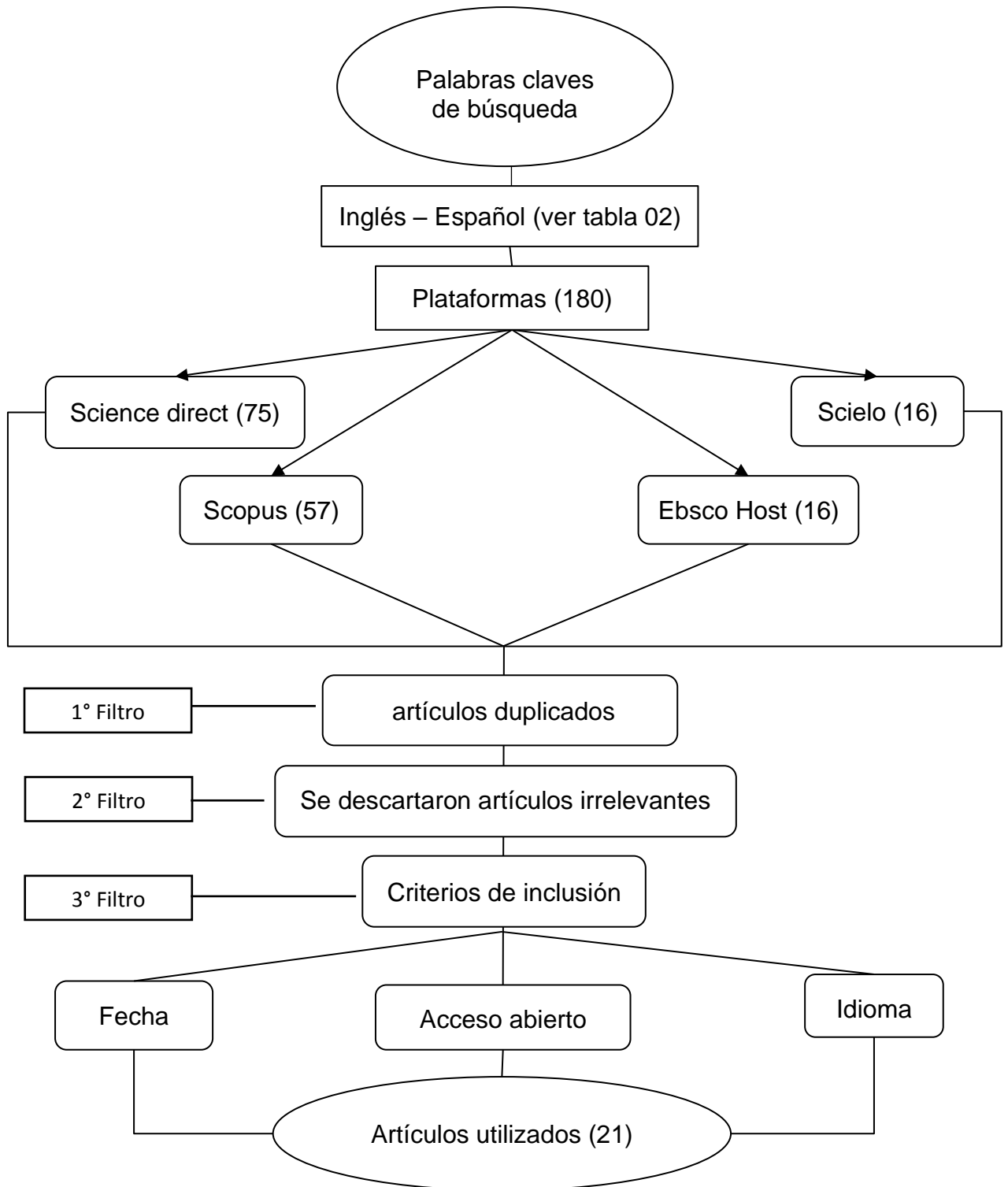


Figura 02: Flujograma del procedimiento

Fuente: elaboración propia

### **3.7. Rigor científico**

Solo se utilizaron artículos que pertenezcan a revistas indexadas, revisadas y garantizadas por pares expertos que se encargaron de evaluar según los criterios que solicitan dichas bases de datos donde son publicadas, los datos descritos en los artículos encontrados no han sido modificados ni cambiados.

### **3.8. Método de análisis de datos**

Llegado a este punto mediante la ayuda de Microsoft Office Excel y con los criterios de inclusión se procedió al análisis de la información en una hoja de cálculo de Excel, dividiendo en categorías y sub categorías en base a los objetivos planteados, ordenando la información referente a las técnicas de desalinización de agua de mar para la obtención de agua potable, la eficiencia de remoción y consumo energético. Realizando las tabulaciones necesarias para clasificar la información extraída de los artículos evaluados.

### **3.9. Aspectos éticos**

Se respetaron la autoría de cada uno de los artículos con acceso libre evaluados en esta investigación, con el objetivo de expresar de manera más realista los resultados encontrados. Por ello, fueron citados siguiendo las normas ISO 690 e ISO 960-2. Por otra parte, como investigadores el procesamiento de los datos asido objetivo y sin manipulación de la información. Además de que cumplimos con el código de ética de la universidad César Vallejo, firmando las actas y declaratorias de originalidad.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 03: Datos extraídos de la recopilación de artículos usados.

N°	Autor	Diseño	Procesos	Técnica	Eficiencia de la técnica (%)	Er (%)	Pa (m3/día)	Condición final del agua		Qe (Kwh/m3)	Tipo de energía
								Optima	Np		
1	Gijs et al, (2021).	P. E	Membrana	ED	95	90		X		3	
2	Jizhong et al, (2022).	P. E	Membrana	EIS-ED	90	70		X		2.03	Electro-iones
3	EA Abdel et al, (2015)	P. E	Membrana	ED	94.8	96.2		X			
4	EA Abdel et al, (2015)	P. E	Membrana	RO	99.4	99		X			
5	Natalie et al, (2020)	P. E	Membrana	RO		98.6	94.7	X			
6	Germán et al, (2016)	P. E	Membrana	RO		97.6 - 100	100	X			
7	Teresita et a, (2015)	P. E	Membrana	RO	97.1	98.5 - 99.5	240	X			
8	Ruiz et al, (2020)	P. E	Membrana	RO	65		416	X		1.8 - 2.21	
9	Pedro et al, (2021)	P. E	Membrana	RO	91.6		403	X		4	WEC-SWRO
10	Pedro et al, (2021)	P. E	Membrana	RO	91.7		1398	X		4	WT-SWRO
11	Alberto et al, (2022)	P. E	Membrana	RO		50 - 99	1008	X		1.3 - 1.5	

12	Nour et al, (2021)	P. E	Membrana	RO	30	85	2000	X		
13	Domador et al, (2020)	P. E	Membrana	RO		90		X	0.375	
14	Muhammad et al, (2020)	P. E	Membrana	RO	77			X		
15	Mariam Elnour, (2020)	P. E	Membrana	RO	35 a 90	99.9		X		
16	Qian et al, (2021)	P. E	Térmico	MED	70		34	X	2 - 5.5	Termoclina oceánica
17	Qian et al, (2021)	P. E	Térmico	MED	25 a 100	70	28.5	X	3.5 - 9.7	Convencional
18	Mohamed al, (2020)	P. E	Térmico	MED	25 a 100	70	5 000	X	3.1	Solar
19	Carlos et al, (2021)	P. E	Térmico	MED	80		10 000	X	1.5	Solar
20	Nour et al, (2021)	P. E	Térmico	MSF	75	65	14000	X		Solar
21	Lintao et al, (2021)	C. E	Membrana	CDI	95			X	0.123	Electroquímica
22	Federcio et al, (2021)	C. E	Membrana	CDI	95			X	0.012	Electroquímica
23	Bajtiar et al, (2021)	C. E	Membrana	CDI	90	75		X	1.2	Electroquímica

---

Electrodialisis (ED), Osmosis inversa (RO), Destilación multiefectos (MED), Desalinización instantánea de múltiples etapas (MSF), Desionización capacitiva (CDI), Pre experimental (P.E), Cuasi experimental (C.E), Consumo energético (Qe), Productividad de agua (Pa), Eficiencia de remoción (Er), Planta Undimotriz (WEC-SWRO), Planta Eólica (WT-SWRO).

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 03, muestra la recopilación de los artículos extraídos evaluados con respecto a los objetivos propuestos en esta investigación. Donde se priorizo extraer los datos de eficiencia de la técnica, eficiencia de remoción de sales, nivel de productividad y como datos adicionales agregamos el consumo energético con la fuente de energía, el cual puede ser por energía convencional o energías renovables.

Tabla 04: Eficiencia de las técnicas de desalinización de agua de mar según el proceso de membrana.

Autores (as)	Diseño de estudio	Técnica	Eficiencia de la técnica (%)
Gijs et al.	Pre experimental	ED	95
Jizhong et al.	Pre experimental	EIS – ED	90
EA Abdel et al.	Pre experimental	ED	94.8
EA Abdel et al.	Pre experimental	RO	99.4
Pedro et al.	Pre experimental	RO	91.6
Pedro et al.	Pre experimental	RO	91.7
Muhammad et al.	Pre experimental	RO	77
Mariam Elnour	Pre experimental	RO	35 – 90
Ruiz et al	Pre experimental	RO	65
Teresita et al.	Pre experimental	RO	97.1
Lintao Li et al.	Cuasi experimental	CDI	95
Federcio et al.	Cuasi experimental	CDI	95
Bajtiar et al.	Cuasi experimental	CDI	90

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 04, se muestra la recopilación de los artículos de las técnicas de desalinización según el proceso de membrana, mediante las técnicas de Electrodiálisis (ED), Osmosis inversa (RO) y Desionización capacitada (CDI) con la finalidad de evaluar y comparar la eficiencia a de cada una de las técnicas. Según la mayoría de los artículos recopilados, la mayor parte de las técnicas de procesos de membrana tienen una eficiencia del 90% e incluso superior, siendo las más resaltantes la RO tiene una eficiencia de 99.4%, ED una eficiencia de 95% y el CDI con un 95%.



Según Yogita Bhoj et al. (2021) nos dice que la mayoría de técnicas de desalinización de membrana poseen un alto nivel de eficiencia y que la mayoría de ellas son rentables. Además, Abdullaev et al. (2017) nos dice que la osmosis inversa se puede combinar con los procesos térmicos, en el cual se puede mejorar y mantener una eficiencia continua de 87.4% a más.

Finalmente, para Charcosset. (2022) los procesos de membrana se usan más a menudo y se han reportan cada vez más, ya que sirve para una amplia gama de aplicaciones y que son tecnologías bien establecidas con menor consumo energético. Para Gary et al, (2017) están surgiendo nuevas técnicas con respecto a los procesos de membranas entre los cuales tenemos la osmosis directa, osmosis retardada y electrodiálisis inversa que incluso operan en conjunto y resultando con una mejor eficiencia.

Tabla 05: Eficiencia de las técnicas de desalinización de agua de mar según el proceso térmico.

Autores (as)	Diseño de estudio	Técnicas	Eficiencia de la técnica (%)
Qian et al.	Pre experimental	MED	25 a 100
Carlos et al.	Pre experimental	MED	80
Mohamed et al.	Pre experimental	MED	25 a 100
Nour A et al.	Pre experimental	MSF	75

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 05, con respecto al proceso térmico se puede observar que solo se han evaluado dos técnicas MED y MSF y que poseen un gran margen con respecto a su eficiencia ya que depende de varios factores externos para alcanzar una mejor eficiencia como es el caso del consumo energético requieren grandes cantidades y de forma continua.

Para Abdul Najim (2022) Los procesos térmicos o más conocidos como los convencionales entre los cuales los que más destacan y conocidos son el MED, MSF, aunque también se debe recalcar que existe otras como la compresión mecánica de vapor (MVC) y que actualmente son las más utilizadas. Muy aparte Chandranun et al, (2020) nos dice que las técnicas MED y MSF fueron una de las

primeras técnicas en desarrollarse y por eso su margen de eficiencia son menores a las de membranas. Según A.M.K. El-Ghonemy (2018) nos dice que el rendimiento de la técnica MSF su eficiencia varia del 70 al 100% dependiendo del clima en las regiones donde se apliquen y que es más económico en regiones cálidas para ahorrar energía en el bombeo.

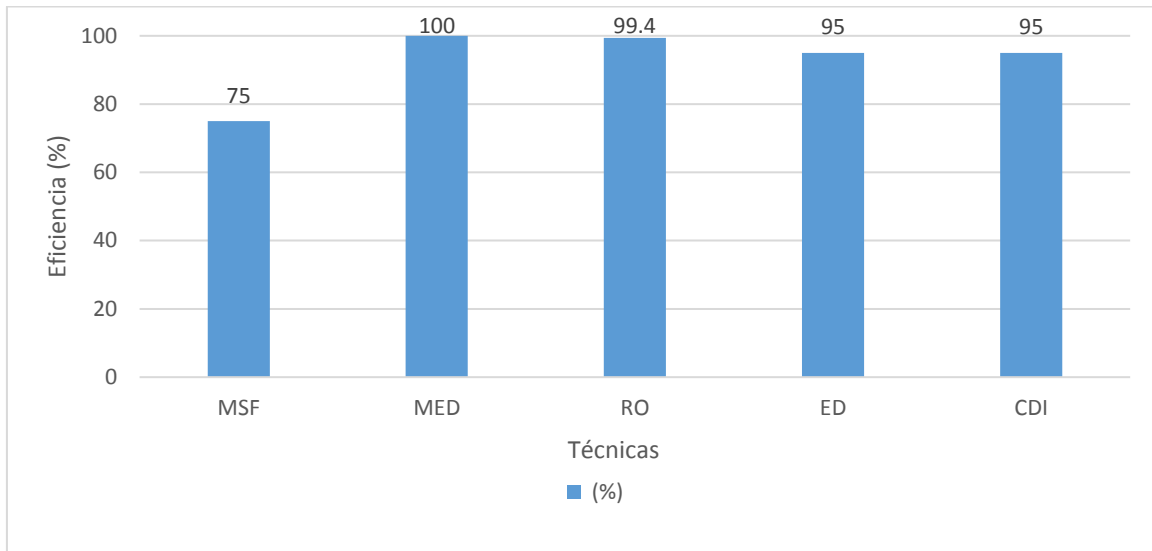


Figura 03: eficiencias máximas de las técnicas de desalinización evaluadas.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 03, se puede observar las eficiencias más altas que pueden alcanzar las técnicas de desalinización de agua potable. MSF 75%, MED 100%, RO 99.4%, ED y CDI con un 95%.

Tabla 06: Eficiencia en la remoción de sal de las técnicas de desalinización de agua de mar.

Autor	Procesos	Técnica	Eficiencia de remoción (%)
Gijs et al.	Membrana	ED	90
Jizhong et al.	Membrana	EIS-ED	70
EA Abdel et al.	Membrana	ED	96.2
EA Abdel et al.	Membrana	RO	99
Natalie et al.	Membrana	RO	98.6
Nour et al.	Membrana	RO	85
Domador et al.	Membrana	RO	90
Mariam Elnour	Membrana	RO	99.9
Alberto et al.	Membrana	RO	50 – 99
Germán et al.	Membrana	RO	97.6 – 100
Teresita et al.	Membrana	RO	98.5 - 99.5
Hao-li et al.	Membrana	FO	99.5
Zong-lu et al.	Membrana	FO	99
Bajtiar et al.	Membrana	CDI	75
Qian et al.	Térmico	MED	70
Mohamed et al.	Térmico	MED	70
Nour et al.	Térmico	MSF	65

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 06, se observamos la comparación y evaluación de los artículos extraído, donde las técnicas MSF y el MED ambos siendo un proceso térmico tiene una eficiencia de desalinización de 65% y 70%. Muy diferente a las técnicas de procesos de membrana las cuales pueden alcanzar hasta el 100%. Aun así, se podría decir que todas las técnicas tienen un alto nivel de desalinización ya que ninguna baja del 50%.

Según Seungju et al, (2018) la RO puede alcanzar una eficiencia de remoción de sal del 98.5 % y son una de las técnicas que mayor se han venido usando recientemente y en las que mayor remoción se puede obtener. Para Saavedra et al, (2021) el análisis comparativo de los procesos de membranas nos permite

concluir que representan una alternativa económicamente competitiva a causas que requieren menores cantidades de consumo energético. Por lo tanto, es un proceso de desalinización rentable. Para Abdullaev et al. (2017) nos dice que actualmente se están combinando los procesos de membrana y térmicos en el cual se puede obtener mayor remoción, producción e incluso se puede reducir el consumo energético.

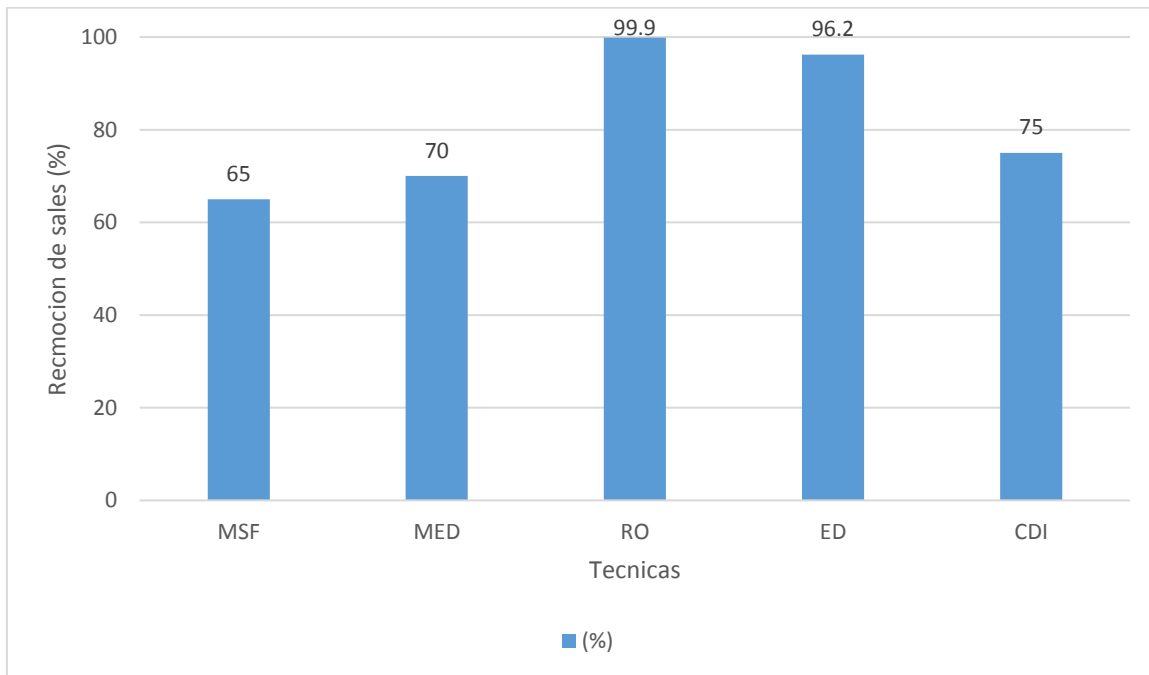


Figura 04: Eficiencia de remoción de sales según el tipo de técnica.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 04, se puede observar cual técnicas tiene un mayor porcentaje de eficiencia en la remoción de sales por parte de los procesos de membranas tenemos 99.9%, ED 96.2% y finalmente CDI con un 75%, mientras que en los procesos térmicos tenemos MED con un 70% y MSF con un 65%.

Natalie et al, (2020) para el proceso de desalinización de osmosis inversas el agua de mar debe pasa por una variedad de filtros de pretratamiento, filtros de arena y filtros de cartucho, los cuales sirven para rechazar las sales del agua con un 98,6 % de eficiencia, siendo esta la tecnología líder para nuevas instalaciones de desalinización. Para Zheng et al, (2019) la ED tiene una eficiencia de remoción de sales de 85% a 90% y esto varia por su principal limitante que es el ensuciamiento de la membrana.

Tabla N 07: Nivel de producción de agua potable obtenida por la desalinización de agua de mar según el tipo de técnica.

Autor	Procesos	Técnica	Productividad de agua (m3/día)
Nour et al.	Membrana	RO	2000
Pedro et al.	Membrana	RO	1076.7
Ruiz et al	Membrana	RO	416
Pedro et al.	Membrana	RO	413.7
Teresita et al.	Membrana	RO	233
Germán et al.	Membrana	RO	100
Natalie et al.	Membrana	RO	94.697
Alberto et al.	Membrana	RO	43.5
Qian et al.	Térmico	MED	28.5
Qian et al.	Térmico	MED	34
Mohamed et al.	Térmico	MED	2500
Carlos et al.	Térmico	MED	10 000
Nour et al.	Térmico	MSF	14000

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 07, evaluamos el nivel de producción de agua potable según los artículos extraídos, donde las técnicas MSF y MED son las técnicas que tiene mayor capacidad de productividad con 14 000 m3/día y 10 000 m3/día respectivamente siendo ambas un proceso térmico. Con respecto a los procesos de membrana la RO llega a una productividad de 2 000 m3/día. Según Natasha et al. (2018) La electrodiálisis (ED) es una tecnología de desalinización basada en membranas que opera debido a un gradiente eléctrico. Las capacidades típicas instaladas oscilan entre 5 000 m3/día. Por otro lado, Proskynitopoulou y Katsoyiannisla (2018) nos relata que la RO tiene las capacidades típicas que fluctúan 1000 m3/día a más. Domador et al, (2020) entre las técnicas de desalación, la ósmosis inversa (RO) tiene mayor prioridad que los métodos de desalación térmica, debido a su consumo de energía comparativamente limitado.

Tabla 08: Consumo energéticos de las técnicas de desalinización.

Técnica	Artículos extraídos	Consumo energético kwh/m <sup>3</sup>		
		Xuexiuja et al	Huyen et al	Bajtiar et al
MSF	13.5 - 25.5	23.4	13.5 - 25.5	
MED	1 - 9.7	1.5 - 7.9	6.5 - 11	2.5 - 5
RO	0 - 4	5	5 - 9	4 - 6
ED	2.03 - 3	4.1	2.5 - 5.5	0.7 - 5.5
CDI	0.01- 1.5			0.6

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 08, según los artículos extraídos se puede observar que el mayor consumo eléctrico se da en el MSF (13.5 a 25.5 kwh/m<sup>3</sup>), seguido por el MED (1 a 9.7 kwh/m<sup>3</sup>), RO (0 a 4 kwh/m<sup>3</sup>), ED (2.03 a 3 kwh/m<sup>3</sup>) y la más baja que es el CDI (0.01 a 1.5 kwh/m<sup>3</sup>).

Según Huyen et al. (2021) confirma y está de acuerdo con lo anteriormente dicho y nos relata que el consumo energético para la MSF es el más elevado con un 13.5 - 25.5, seguido por el MED con un 6.5 a 11. Por otro lado, Xuexiuja et al. (2021) reafirma lo mencionado diciéndonos que la MSF efectivamente tiene el consumo energético más alto de todos con un 23.4 kwh/m<sup>3</sup> y seguida del MED que puede alcanzar un 7.9 kwh/m<sup>3</sup> y verificado por Huyen et al (2021) que nos relata que el consume energético más alto para él se da en la técnica de la MSF con un máximo de 25.5 kwh/m<sup>3</sup> y un mínimo que puede llegar hacer un 13.5 kwh/m<sup>3</sup> y que esto puede variar dependiendo de la cantidad de producción de agua potable obtenida. Por otro lado, también nos comentan que el MED es la segunda técnica que más consume energía con un 6.5 a 11 kwh/m<sup>3</sup>. Siendo ambas técnicas un proceso térmico. Finalmente, por parte de los procesos de membranas tenemos a Bajtiar et al. (2021) que nos dice que el CDI que tiene el consumo energético más bajo que todos con un 0.6 kwh/m<sup>3</sup>, seguido por el ED con un mínimo de 0.7 a 5.5 kwh/m<sup>3</sup> y por último tenemos la RO que va de un 4 a 6 kwh/m<sup>3</sup>. En resumen, podríamos decir que las técnicas de membranas son el que menor consumo energéticos tienen y que va relacionada con la cantidad de producción de agua potable en este caso la

MSF tiene una gran capacidad de producción y por eso es que el consumo energético es más alto con respecto al resto de técnicas.

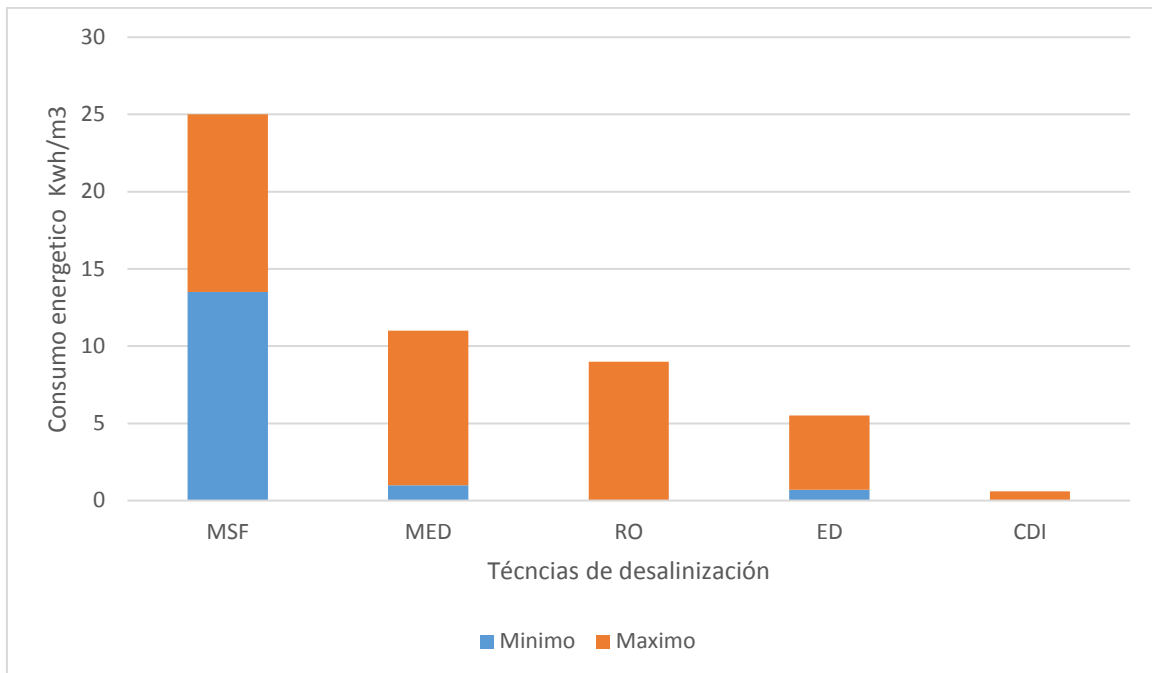


Figura 05: Consumo energético de las técnicas de desalinización.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 05, se puede observar el consumo energético de las técnicas de desalinización en donde el mayor consumo se da en la MSF va de 13.5 kwh/m3 como mínimo a 25.5 kwh/m3 como máximo siendo esta una técnica de proceso térmico. Por otro lado, en las técnicas de membranas tenemos un consumo más bajo siendo el que menor el CDI con un máximo de 0.6 kwh/m3.

Según Jayakody et al, (2017) La MSF y la MED forman parte de los procesos térmicos, pero son los que tienen el más alto consumo de energía convirtiendo esto en un desafío. Pero según Burak y Çağlar. (2016) las técnicas de desalinización se clasifican generalmente en procesos de membrana y térmicos. En el cual los térmicos, requiere una fuente de energía que puede estar compuesta por combustibles fósiles o energía renovable.

Tabla 09: Condiciones finales del agua según las técnicas de desalinización de agua de mar.

Procesos	Técnica	Condición final		Artículos
		Optima	No óptima	
Térmico	MSF	X		20
	MED	X		16 – 19
Membrana	RO	X		4 – 15
	ED	X		1 -3
	CDI	X		21 - 23

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 09, observamos que todas las técnicas proporcionan agua potable, en óptimas condiciones para el consumo humano lo cual significa que la mayoría de autores evaluados coinciden en sus artículos que las técnicas de desalinización pueden utilizarse para la producción de agua potable. Pero existen algunas más eficientes que otras ya sean por el tema de remoción de sal, consumo energético o capacidad de la técnica para producir agua potable.



## V. CONCLUSIÓN

- Según la mayoría de los artículos recopilados, clasificados y evaluados de acuerdo al tipo de técnicas y proceso nos comentan que en general todas las técnicas evaluadas poseen una alta eficiencia MSF (75%), MED (25 - 100%), RO (30 – 99.4), ED (90 -95) y por último el CDI (90 - 95).
- Con respecto al parámetro de remoción de salinidad y su eficiencia, tenemos que los procesos de membranas son lo que alcanza una mayor desalinización RO (85 - 99.9%), ED (70 – 96.2) y el CDI (75%). Mientras que los procesos térmicos son menores, pero aun así poseen un alto porcentaje con respecto a la desalinización de agua de mar el MED (70%) y el MSF (65%). En general se podría resumir que todas las técnicas evaluadas en esta investigación poseen una desalinización superior al 65%.
- La mayor producción de agua potable conseguida se obtuvo en los procesos térmico MSF (14 000m<sup>3</sup>/día) y MED (10 000 m<sup>3</sup>/día). Además, se debe resaltar que estas 2 técnicas tienen el consumo de energía más alto de 13.5 – 25.5 kwh/m<sup>3</sup> por el MSF y 1 – 9.7 kwh/m<sup>3</sup> por el MED.
- En general el agua potable obtenida por las diferentes técnicas y los distintos procesos evaluados, resultaron que todas fueron aptas para el consumo humano o para otras actividades antrópicas que se requiera.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ❖ Se debe estudiar el costo de instalación de una planta de desalinización, además, se sugiere investigar cuales pueden ser los posibles impactos ambientales de la salmuera que se producen en las distintas técnicas de desalinización y se pueda aplicar un tratamiento adecuado para reducir los impactos ambientales.
  
- ❖ Es importante profundizar en las técnicas que usen energía renovable, por el cuidado del medio ambiente. Además, se recomiendan indagar en más procesos de desalinización.
  
- ❖ Ampliar las bases de datos y usar artículos científicos indexados de paga para así tener una mejor recopilación de resultados y respectivamente se tendrán un mejor análisis de evaluación con un menor margen de confusión y desacierto en la investigación.

## REFERENCIAS

1. Abdel-Aal et al. Desalination of Red Sea water using both electro dialysis and reverse osmosis as complementary methods, Egyptian Journal of Petroleum [en línea], 2015, Volume 24, Issue 1, Pages 71-75, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.02.007>. ISSN 1110-0621
2. Abdulrahman Al-Kaabi, Huda Al-Sulaiti, Tareq Al-Ansari, Hamish R.Mackey. Assessment of water quality variations on pretreatment and environmental impacts of SWRO desalination [en línea], 2021, Volumen 500, [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114831>
3. Abubakari Zarouk Imoro, Moses Mensah, Richard Buamah. Developments in the microbial desalination cell technology: A review, Water-Energy Nexus [en línea], 2021, Volume 4, pp. 76-87, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wen.2021.04.002> ISSN. 2588-9125.
4. Abdullaev, K.M., Agamaliev, M.M. & Akhmedova, D.A. Technology for Combined Desalination of Sea Water. J. Water Chem. Technol [en línea]. 2019, 41, 119–124. [fecha de consulta el 10 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3103/S1063455X19020097>
5. Abdul Najim. A review of advances in freeze desalination and future prospects Najim, npj Agua Limpia [en línea], 2022, 5, 15, [Fecha de consulta: 10 de Julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00158-1>
6. AGEDI. Final Technical: Regional Desalination and Climate Change [en línea], 2016 pp. 105. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: [10.13140/RG.2.2.33873.53608](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33873.53608)
7. Antonio Zapata-Sierra, Mila Cascajares, Alfredo Alcayde, Francisco Manzano-Agugliaro. Worldwide research trends on desalination, Desalination [en línea], 2021, Volume. 519, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115305>
8. A.M.K. El-Ghonemy, Performance test of a sea water multi-stage flash distillation plant: Case study, Alexandria Engineering Journal [en línea],

- 2018, Volume 57, Issue 4, Pages 2401-2413, [Fecha de consulta: 16 de mayo del 22]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.08.019>  
ISSN 1110-0168,
9. Bajtari Samejo et al. Carbon Based Electrode Materials and their Architectures for Capacitive Deionization, [en línea] 2021, Desalination, Volumen 22, [Fecha de consulta: 16 mayo del 2022]. Disponible en: <http://doi.org/10.21743/pjaec/2021.12.02>
  10. Burak y Çağlar. A novel evacuated tube solar collector desalination system [en línea], 2016. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2016]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.11159/htff16.149>
  11. Carlos Torresun et al. Multi-objective optimization of a Concentrating Solar Power + Photovoltaic + Multi-Effect Distillation plant: Understanding the impact of the solar irradiation and the plant location, Energy Conversion and Management: X [en línea], 2021, Volume 11, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100088>.  
ISSN 2590-1745
  12. Clara Skuse, Alejandro Gallego-Schmid, Adisa Azapagic, Patricia Gorgojo. Can emerging membrane-based desalination technologies replace reverse osmosis?, Desalination [en línea], 2021, Volume 500, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114844>  
ISSN 0011-9164.
  13. Charcosset, C. Desarrollos clásicos y recientes de procesos de membrana para desalinización y tratamiento de agua natural. Membranas [en línea], 2022, 12, 267. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/membranas12030267>
  14. Chandran et al. Experimental investigation and comparison of desalination using conventional solar still, stepped-cup solar still with and without biomass, Thermal Science [en línea], 2020 Volume 24, Issue 1 Part B, Pages: 429-436 [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.2298/TSCI190409356C>
  15. Domador M, Tamer Mansour et al. Energy recovery system in small reverse osmosis desalination plant: Experimental and theoretical investigations,

- Alexandria Engineering Journal [en línea], 2020, Volume 59, Issue 5, Pages 3741-3753, [fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.06.030>.
- ISSN 1110-0168
16. Gary Amy et al. Membrane-based seawater desalination: Present and future prospects, Desalination [en línea], 2017, Volume 401, Pages 16-21, [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.002>
- ISSN 0011-9164
17. Gijs Doornbusch et al. Multistage electro dialysis for desalination of natural seawater [en línea], 2021, Volume 505, [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114973>
18. German Eduardo et al., Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en agricultura en el valle del Yaqui, Sonora, México Tecnología y Ciencias del Agua [en línea], 2016, Volumen 7, núm. 3, pp. 155-169. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000300155&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300155&lang=es)
- ISSN 0187-8336
19. Hao-li et al. Realización experimental de membranas de MoS<sub>2</sub> bidimensionales de pocas capas de espesor casi atómico para la desalinización de agua de alta eficiencia [en línea]. 2019, 19, 8, 5194–5204. [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b01577>
20. Hoda Hosseini, Imen Saadaoui, Navid Moheimani, Mohammad Al Saidi, Fahad Al Jamali, Hareb Al Jabri, Radhouane Ben Hamadou. Marine health of the Arabian Gulf: Drivers of pollution and assessment approaches focusing on desalination activities [en línea], 2021, Volume 164, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112085>
- ISSN. 0025-326X
21. Huyen et al Comparison of desalination technologies using renewable energy sources with life cycle, pestle, and multi-criteria decision analyses [en línea],

- 2021, Volume 13, Issue 21, [fecha de consulta: 9 de julio del 2022].  
Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13213023>  
ISSN: 20734441
22. IBRAHIM, Hamed D.; ELTAHIR, Elfatih AB. Impact of brine discharge from seawater desalination plants on persian/arabian gulf salinity. *Journal of Environmental Engineering* [en línea], 2019, vol. 145, no 12, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001604](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001604)
23. Imbernón Mulero et al. Eliminación de boro del agua de mar desalada para riego con un sistema de ósmosis inversa en granja en el sureste de España. *Agronomía* [en línea], 2022, 12, 611, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy12030611>
24. Jayakody et al International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE17) [en línea], 2017, Volume 22, [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200072>
25. Jizhong Meng et al. Novel electro-ion substitution strategy in electro dialysis for ammonium recovery from digested sludge centrate in coastal regions, *Journal of Membrane Science* [en línea], 2022 Volume 642, 2022, 120001, [fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.120001>.  
ISSN 0376-7388
26. Jochen Bundschuh, Michał Kaczmarczyk, Noreddine Ghaffour, Barbara Tomaszewska. State-of-the-art of renewable energy sources used in water desalination: Present and future prospects [en línea], 2021, Volume 508, [Fecha de consulta: 10 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115035>
27. J. Safaei et al. Progress and prospects of two-dimensional materials for membrane-based water desalination, *Materials Today Advances* [en línea], 2020 Volume 8. [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2020.100108>.  
ISSN 2590-0498

28. Lintao Li, Chenyang Wang, Kuang Feng, Dingwang Huang, Kang Wang, Yan Li, Feng Jiang. Kesterite  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  thin-film solar water-splitting photovoltaics for solar seawater desalination, Cell Reports Physical Science [en línea], 2021, Volume. 2, Issue. 6, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100468>  
ISSN. 2666-3864.
29. León Federico; Ramos-Martin, A.; Santana, D. Diseño e Implementación de un Sistema de Caracterización Eléctrica para Unidades de Desionización Capacitiva de Membrana para el Tratamiento de Agua. Membranas [en línea], 2021, 11, 773. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/membranes11100773>
30. Malgorzata Roman, Leonardo Gutierrez, Laurens H. Van Dijk, Marjolein Vanoppen, Jan W. Post, Bas A. Wols, Emile R. Cornelissen, Arne R.D. Verliefde. Effect of pH on the transport and adsorption of organic micropollutants in ion-exchange membranes in electro dialysis-based desalination [en línea], 2020, Volume 252, [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117487>
31. Mariam Khan, Mohammad A. Al-Ghouti. DPSIR framework and sustainable approaches of brine management from seawater desalination plants in Qatar, Journal of Cleaner Production [en línea], 2021 Volume. 319, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128485>  
ISSN. 0959-6526.
32. Mariam Elnour et al. Full-Scale Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant Simulator. IFAC-PapersOnLine [en línea], 2020, Volume 53, Issue 2, Pages 16561-16568, [fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.780>  
ISSN 2405-8963
33. Mohamed ElHelw et al. Novel sea water desalination unit utilizing solar energy heating system, Alexandria Engineering Journal [en línea], 2020, Volume 59, Issue 2, Pages 915-924, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.019>  
ISSN 1110-0168

34. Muhammad Qasim, Faisal W. Khudhur, Ahmed Aidan, Naif A. Darwish. Ultrasound-assisted forward osmosis desalination using inorganic draw solutes [en línea], 2020, Volumen 61, [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104810>
35. Muhammad Qasim et al. Ultrasound-assisted forward osmosis desalination using inorganic draw solutes, Ultrasonics Sonochemistry [en línea], 2020, Volume 61, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104810>.  
ISSN 1350-4177,
36. Natasha C et al. A robust model of brackish water electro dialysis desalination with experimental comparison at different size scales, Desalination [en línea], Volume 443, 2018, Pages 27-43, [fecha de consulta: 9 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.04.018>.  
ISSN 0011-9164
37. Natalie Harvey et al. Organic compounds and microbial assessment of a seawater reverse osmosis facility at Tampa Bay Water, USA, Desalination [en línea], 2020, Volume 496, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114735>.  
ISSN 0011-9164
38. Nour Moharram et al. Hybrid desalination and power generation plant utilizing multi-stage flash and reverse osmosis driven by parabolic trough collectors, Case Studies in Thermal Engineering [en línea], 2021, Volume 23, [fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100807>.  
ISSN 2214-157X
39. Pattanatack S et al. Performance benchmarking of polyamide composite Sea water reverse osmosis membranas. Water Practice & Technology [en línea], 2018 Vol 13 No 192, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: [10.2166/wpt.2018.003](https://doi.org/10.2166/wpt.2018.003)
40. Pedro Cabrera et al. Design and performance simulation comparison of a wave energy-powered and wind-powered modular desalination system [en línea], 2021, Desalination, Volume 514, [fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115173>.



ISSN 0011-9164

41. Proskynitopoulou, V.; Katsoyiannis, I. Revisión de los desarrollos recientes de desalinización para una producción de agua potable más eficiente en todo el mundo. *Nuevo Mate. Comp. aplicación*, [en línea], 2018,2, 179–195. [fecha de consulta: 9 de junio del 2022]. Disponible en: <http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/NMCA/V2N3/Proskynitopoulou%20Katsoyiannis.pdf>

42. Qian Chen et al. A spray-assisted multi-effect distillation system driven by ocean thermocline energy, *Energy Conversion and Management* [en línea], 2021, Volume 245, [Fecha de consulta: 1 mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114570>.

ISSN 0196-8904

43. Qian Chen et al. An ocean thermocline desalination system using the direct spray method, *Desalination* [en línea], 2021 Volume 520, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115373>.

ISSN 0011-9164

44. Raid Alrowais, Chen Qian, Muhammad Burhan, Doskhan Ybyraiymkul, Muhammad Wakil Shahzad, Kim Choon Ng. A greener seawater desalination method by direct-contact spray evaporation and condensation (DCSEC): Experiments [en línea], 2020, Volume 179, [Fecha de consulta: 13 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115629>

45. Saavedra, A.; Valdés, H.; Mahn, A.; Acosta, O. Análisis comparativo de tecnologías convencionales y emergentes para la desalinización de agua de mar: el norte de Chile como estudio de caso. *Membranas* [en línea], 2021,11, 180, [fecha de consulta: 9 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/membranas11030180>

46. Seungju Kim et al. Non-swelling graphene oxide-polymer nanocomposite membrane for reverse osmosis desalination, *Journal of Membrane Science* [en línea], 2018, Volume 562, pp 47-55. [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.05.029>.

ISSN 0376-7388

47. Teresita Romero. Uso de ósmosis inversa en el hotel Breezes Jibacoa para la desalación de agua de consumo, ingeniería hidráulica y ambiental [en línea], 2015, Volumen 36, N°. 3, p. 112-125. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382015000300009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000300009)
48. Tobón, S. Conceptual analysis of the socioformation according to the knowledge society. *Knowledge Society and Quality of Life (KSQL)* [en línea], 2017, volumen. 1(1), pp. 9-35. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://goo.gl/aJeSvw>
49. Yogita Bhoj, Gaurav Pandey, Anjali Bhoj, Maithri Tharmavaram, Deepak Rawtani, Recent advancements in practices related to desalination by means of nanotechnology, *Chemical Physics Impact* [en línea], Volume 2, 2021, [fecha de consulta: 9 de julio del 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2021.100025>.  
ISSN 2667-0224,
50. Yuan Zhang, Lei Wang, Volker Presser. Electrocatalytic fuel cell desalination for continuous energy and freshwater generation, *Cell Reports Physical Science* [en línea], 2021, Volume. 2, Issue. 5, [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100416>  
ISSN 2666-3864.
51. Zheng et al. Ultrathin Support-Free Membrane with High Water Flux for Forward Osmosis Desalination. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea], 2019. 230(6), 138. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4192-z>
52. Xuexiujia et al. Analysis of energy consumption, GHG emissions and the seawater desalination cost in china [en línea], 2019, Volume 12, Issue 331 , [fecha de consulta: 9 de julio del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en12030463>

**ANEXOS:** Matriz de categorización

ÁMBITO TEMÁTICO	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECÍFICO	CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
Técnicas de desalinización de agua marina en la producción de agua potable	¿Cuáles son las técnicas de desalinización de aguas marinas más eficientes en la producción de agua potable según el tipo de proceso?	¿Cuáles son los tipos de técnicas más eficientes para la remoción de sales?,	Evaluar la eficiencia de las técnicas de desalinización de aguas marinas en la producción de agua potable según el tipo de proceso.	Evaluar la eficiencia de desalinización de agua de mar según el tipo de técnica aplicado	Tipo de proceso	Térmica
						Membrana
		¿Cuáles son los niveles de producciones de agua potable obtenida por la desalinización del agua de mar con respecto al consumo energético?		Evaluar el nivel de producción de agua potable obtenida por la desalinización del agua de mar con respecto al consumo de energía.	Tipo de técnicas	Destilación multiefecto
						Osmosis inversa
						Electrodialisis
						Desionización capacitiva
						Desalinización instantánea de múltiples etapas
		¿Cuáles son las condiciones finales del agua obtenida por desalinización según el tipo de técnica?		Evaluar la condición final del agua obtenida por desalinización según el tipo de técnica		Clasificación
					No óptima	



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Técnicas de desalinización de agua marina en la producción de agua potable", cuyos autores son ROMERO SIMEON KEVYN MANFRED, PUICON GARCIA JHON ALEXANDER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 26 de Junio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO <b>DNI:</b> 18887838 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 11-07- 2022 20:20:51

Código documento Trilce: TRI - 0311506