Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Química

Evaluación de la ósmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados en el laboratorio de análisis de procesos químicos de la FIQyM – Huacho 2025

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

Autor

Juan Carlos Pantoja Solano

Asesor

M(o) José Alonso Toledo Sosa



Huacho - Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

METADATOS

DATOS DEL AUTOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Pantoja Solano, Juan Carlos	70558523	13 de agosto del 2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Toledo Sosa, José Alonso	80302533	https://orcid.org 0000-0002-8278-1538
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS-PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA- DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Ruiz Sánchez, Berardo Beder	31602007	https://orcid.org 0000-0002-1822-9204
Coca Ramírez, Víctor Raúl	15601160	https://orcid.org 0000-0002-2287-7060
Ramos Pacheco, Ronald Luis	15615274	https://orcid.org 0000-0003-2036-1068

2026 - 027288 Juan Carlos Pantoja Solano

EVALUACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS DESTILADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁ...

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FIQyM - PREGRADO - 2026
Unidad de Investigación de la FIQyM - 2026
Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3610853950

Fecha de entrega
13 jul 2026, 1:07 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
13 jul 2026, 1:14 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
BORRADOR_DE_TESIS_DE_JUAN_CARLOS_PANTOJA_SOLANO_24.06.2026.docx

Tamaño del archivo
2.2 MB

74 páginas

15.240 palabras

87.760 caracteres

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

18% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional y paciencia.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su confianza y sacrificio constante.

Este logro es fruto de su apoyo.

Juan Carlos

ÍNDICE

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

ÍNDICE DE TABLAS xiii

RESUMEN xiv

ABSTRACT xv

INTRODUCCIÓN xvi

CAPÍTULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA 1

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 7

1.2.1. Problema general 7

1.2.2. Problemas Específicos 7

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 8

1.3.1. Objetivo General 8

1.3.2. Objetivos Específicos 8

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 8

1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN 9

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO 10

CAPÍTULO II 11

MARCO TEÓRICO 11

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN 11

2.1.1. Antecedentes Internacionales 11

2.1.2. Antecedentes Nacionales 12

2.2. BASES TEÓRICAS 14

2.2.1. Agua 14

2.2.2. Ósmosis inversa 23

2.2.2.1. Principio de operación de la ósmosis inversa 24

2.2.2.2. Componentes de la ósmosis inversa 24

2.2.2.3. Características de las membranas semi permeables 25

2.2.2.4. Características de la ósmosis inversa 25

2.2.2.5. Aplicaciones de ósmosis inversa 25

2.2.3. Proceso de pre tratamiento que antecede al proceso de ósmosis inversa 26

2.2.4. Filtros de pre tratamiento de ósmosis inversa..... 27

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES 30

CAPÍTULO III..... 32

METODOLOGÍA..... 32

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO..... 32

3.1.1. Tipo..... 32

3.1.2. Enfoque..... 33

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 33

3.2.1. Población..... 33

3.2.3. Muestreo 33

3.2.4. Unidad de análisis 34

3.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES 34

3.3.1. Variables 34

3.3.2. Indicadores 34

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 34

3.5. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN O RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN 35

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ELABORACIÓN DE LA INFORMACIÓN 36

CAPÍTULO IV 37

RESULTADOS 37

4.2. TRATAMIENTO DEL AGUA CUYA FUENTE ES EL POZO 40

CAPÍTULO V 45

DISCUSIÓN 45

5.1. DISCUSIÓN 45

5.1.1. Resultados Científicos de análisis físico químico y microbiológico del agua 45

5.1.2. Resultados del análisis del agua mediante el proceso de Osmosis Inversa 45

5.1.3. Resultado previo de la conservación de las membranas antes de la osmosis inversa 45

CAPÍTULO VI 46

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46

6.1. CONCLUSIONES 46

6.2. RECOMENDACIONES 47

CAPÍTULO VI 49

FUENTES DE INFORMACIÓN 49

6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS 49

6.2. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Planta de ósmosis inversa 02

Figura 02. Funcionamiento de la ósmosis inversa 03

Figura 03. Características del equipo de ósmosis inversa..... 04

Figura 04. Diagrama de Flujo 05

Figura 05. Equipo de ósmosis inversa 07

Figura 06. El principio de ósmosis inversa (RO)..... 17

Figura 07. Fenómeno de ósmosis inversa 24

Figura 08. Pre tratamiento de ósmosis inversa 26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Tipos de agua según su salinidad..... 15

Tabla 02. Tipos de agua según su naturaleza..... 15

Tabla 03. Tipos de agua según su clasificación de uso y origen 16

Tabla 04. Características de los procesos de separación por membranas impulsados por presión 20

Tabla 05. Ficha técnica del SOI 100 gal/día 37

Tabla 06. Ficha Técnica de membrana de osmosis inversa 38

Tabla 07. Parámetros de ingreso al equipo de osmosis inversa 100 gal/día 39

Tabla 08. Parámetros de salida del equipo de osmosis inversa 100 gal/día 39

Tabla 09. Ingreso al equipo de osmosis inversa 100 gal/día..... 40

Tabla 10. Salida del equipo de osmosis inversa 100 gal/día..... 40

Tabla 11. Resultado de análisis de agua de línea (A), corriente de agua (B), mezcla (C), agua osmotizada (D), agua potable (E) y rechazo (F) 42

RESUMEN

La calidad del agua empleada en la elaboración de destilados constituye un factor importante debido a su influencia sobre las características físico-químicas del producto final. En ese contexto, la investigación evaluó el empleo de la ósmosis inversa como alternativa para mejorar la calidad del agua utilizada en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

El estudio comprendió el análisis de muestras provenientes de diferentes etapas del proceso de tratamiento, considerando agua de pozo, corriente de agua, agua osmotizada, agua potable y agua de rechazo. Para ello, se determinaron parámetros físico-químicos y microbiológicos que permitieron establecer el comportamiento del sistema de ósmosis inversa y el nivel de remoción de los compuestos presentes en el agua de alimentación.

Los resultados obtenidos mostraron una disminución considerable de la concentración de sales, dureza, sólidos disueltos y otros componentes presentes en el agua de ingreso, obteniéndose un agua de mayor pureza y con mejores condiciones para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados. Del mismo modo, se observó que la combinación del pretratamiento y la membrana de ósmosis inversa permitió alcanzar valores acordes con los parámetros de calidad requeridos.

Se determinó que la aplicación de la ósmosis inversa representa una alternativa técnicamente viable para el acondicionamiento del agua utilizada en el laboratorio, permitiendo mejorar sus características y favoreciendo la obtención de una materia prima de mejor calidad para los procesos donde el agua constituye un componente fundamental.

Palabras clave: ósmosis inversa, calidad del agua, destilados, tratamiento de agua, membranas.

ABSTRACT

Water quality plays an important role in the production of distilled beverages due to its influence on the physicochemical characteristics of the final product. In this context, the research evaluated the use of reverse osmosis as an alternative to improve the quality of water used in the Chemical Process Analysis Laboratory of the Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering at José Faustino Sánchez Carrión National University.

The study included the analysis of samples collected from different stages of the treatment process, including well water, water flow, osmotized water, drinking water, and reject water. Physicochemical and microbiological parameters were determined to evaluate the performance of the reverse osmosis system and the removal efficiency of compounds present in the feed water.

The results showed a considerable reduction in salts, hardness, dissolved solids, and other constituents present in the incoming water, producing water of higher purity and better suitability for processes related to the production of distilled beverages. Likewise, the combination of pretreatment and reverse osmosis membrane technology made it possible to achieve values consistent with the required quality parameters.

The study determined that reverse osmosis is a technically viable alternative for conditioning water used in the laboratory, improving its characteristics and providing higher-quality raw material for processes in which water is a fundamental component.

Keywords: reverse osmosis, water quality, distilled beverages, water treatment, membranes.

INTRODUCCIÓN

La ósmosis inversa (OI) es un proceso de purificación de agua que invierte el flujo natural de la ósmosis mediante la aplicación de presión para forzar el paso del agua a través de una membrana semipermeable, separándola de iones, moléculas no deseadas, microorganismos y otros contaminantes. Como resultado, se obtiene agua de alta pureza, utilizada en procesos de desalinización, ablandamiento y producción de agua para consumo humano e industrial, debido a su capacidad para remover gran parte de las sales disueltas y otras impurezas presentes en el agua.

La utilización de agua tratada mediante ósmosis inversa en la elaboración de destilados puede contribuir a mejorar la calidad del producto final al reducir la presencia de minerales, compuestos indeseables y contaminantes que podrían afectar sus características físico-químicas y sensoriales. Asimismo, el empleo de agua de mayor pureza favorece una mayor uniformidad en los procesos y permite un mejor control de las condiciones de elaboración.

Entre los principales beneficios de la ósmosis inversa aplicados a procesos relacionados con la elaboración de destilados se encuentran los siguientes:

Pureza del agua: Permite reducir significativamente la presencia de sales, microorganismos y otros compuestos que pueden alterar la calidad del producto final.

Estabilidad y consistencia: La disminución de impurezas contribuye a obtener procesos más uniformes y productos con características más estables.

Mejora de la calidad: El uso de agua de mayor pureza favorece el desarrollo adecuado de las características propias del producto elaborado.

Control del proceso: Facilita el control de la composición del agua utilizada, aspecto importante en operaciones donde la calidad del agua constituye un factor determinante.

La aplicación de agua tratada mediante ósmosis inversa puede realizarse en diferentes etapas de los procesos donde se requiere agua de alta calidad, permitiendo mejorar la eficiencia operativa y asegurar el cumplimiento de los parámetros establecidos para cada uso específico.

En comparación con otros métodos de tratamiento, la ósmosis inversa destaca por su elevada capacidad de remoción de contaminantes y por su amplia aplicación en sistemas de producción de agua de alta pureza. Estas características han permitido su incorporación en diversos sectores industriales, académicos y de investigación, donde la calidad del agua representa un requisito fundamental.

En ese contexto, la presente investigación evalúa la aplicación de la ósmosis inversa para mejorar la calidad del agua utilizada en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, considerando su influencia en los procesos relacionados con la elaboración de destilados y el cumplimiento de los parámetros de calidad requeridos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la actualidad, la calidad del agua utilizada en procesos industriales, académicos y de investigación constituye un aspecto fundamental debido a su influencia en las características de los productos obtenidos y en la confiabilidad de los resultados analíticos. En procesos relacionados con la elaboración de destilados, la calidad del agua representa un factor importante, ya que la presencia de sales, sólidos disueltos, compuestos orgánicos y otros contaminantes puede afectar determinadas propiedades físico-químicas del producto final.

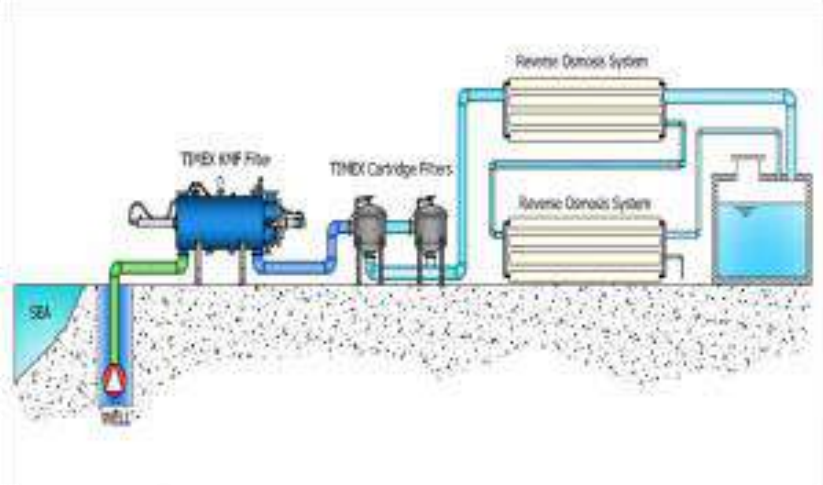
La ósmosis inversa es una tecnología ampliamente utilizada para el tratamiento de agua debido a su capacidad para remover sales disueltas, metales, materia orgánica y microorganismos mediante el empleo de membranas semipermeables. Su aplicación permite obtener agua de mayor pureza, favoreciendo su utilización en actividades que requieren el cumplimiento de parámetros específicos de calidad.

En el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, resulta necesario evaluar el desempeño del sistema de ósmosis inversa con la finalidad de verificar su eficiencia en la reducción de contaminantes y su aporte a la mejora de la calidad del agua empleada en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

Por ello, la presente investigación se orienta a evaluar la aplicación de la ósmosis inversa y su influencia en la calidad del agua tratada, considerando parámetros físico-químicos y microbiológicos que permitan determinar su aptitud para su utilización en procesos donde la calidad del agua constituye un factor determinante.

Figura 1.

Planta de ósmosis inversa

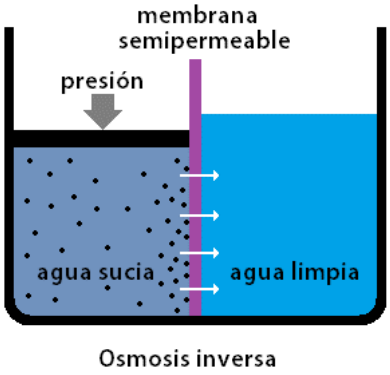


A grandes rasgos, el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa se articula en cuatro etapas fundamentales: primero, un pretratamiento para acondicionar el agua; seguido por la acción de una bomba de alta presión que impulsa el caudal hacia la filtración por membranas. Finalmente, el proceso concluye con un post-tratamiento para asegurar la calidad óptima del producto.

La ósmosis inversa (OI) funciona como el reverso de un fenómeno biológico natural. Mientras que en la ósmosis convencional un fluido atraviesa una membrana semipermeable desde una solución diluida hacia una más concentrada, la OI invierte este flujo mediante la aplicación de presión mecánica. Al forzar el paso del agua desde el estado de mayor salinidad hacia el de menor concentración, se obtiene un volumen purificado con una carga mínima de sólidos. Este principio es la base tecnológica para potabilizar fuentes complejas, como el agua de mar o pozos salobres, utilizando equipos especializados que optimizan este proceso de forma eficiente.

Figura 2.

Funcionamiento de la ósmosis inversa



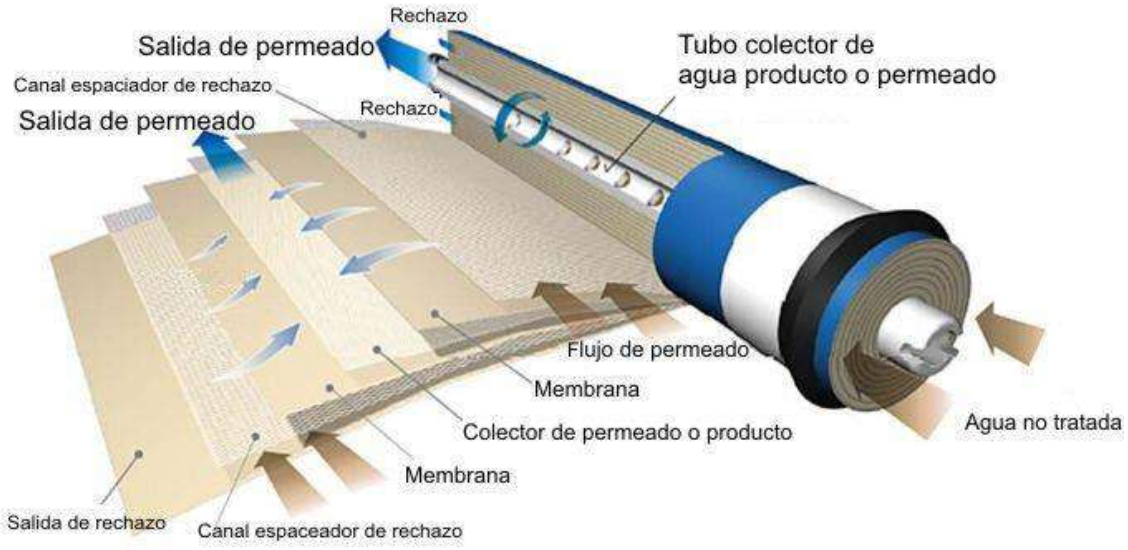
Debido a las exigencias operativas, la membrana semipermeable requiere una fabricación con materiales de alta resistencia. Esto es crucial para tolerar las elevadas presiones de trabajo, que en aplicaciones de desalinización de agua de mar suelen oscilar entre los 800 y 1,000 psi. Actualmente, los formatos de membranas que se emplean con mayor frecuencia en la industria son:

Las membranas celulósicas, fabricadas a partir de acetato de celulosa, triacetato o una combinación de ambos, destacan por ser una alternativa económica en el mercado. Suelen presentarse en formatos planos o configuraciones enrolladas en espiral. Son especialmente eficientes para gestionar caudales elevados por unidad de área, siempre que la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) no supere las 10,000 ppm. No obstante, su uso está condicionado a rangos específicos de pH para evitar su degradación.

Poliamidas aromáticas: Estas membranas gozan de una gran aceptación en la industria y se comercializan en diversas configuraciones. Su principal ventaja radica en su elevada estabilidad frente a ataques químicos y biológicos. No obstante, presentan un caudal específico más reducido en comparación con otras opciones y son altamente vulnerables a agentes oxidantes como el cloro, lo que restringe su aplicación en ciertos procesos.

Figura 3.

Características del equipo de ósmosis inversa



Actualmente, el uso de esta tecnología se está expandiendo en diversos sectores industriales gracias a su eficacia para optimizar la calidad del agua. Su capacidad de filtración abarca desde impurezas iónicas y partículas en suspensión hasta carga orgánica y microorganismos. Aunque ninguna membrana es absoluta, estas ofrecen una retención de sales notable, que oscila entre el 95% y el 99% según el origen del recurso. Además, en el tratamiento de aguas superficiales, el sistema alcanza un índice de recuperación de agua producto de entre el 65% y el 70%.

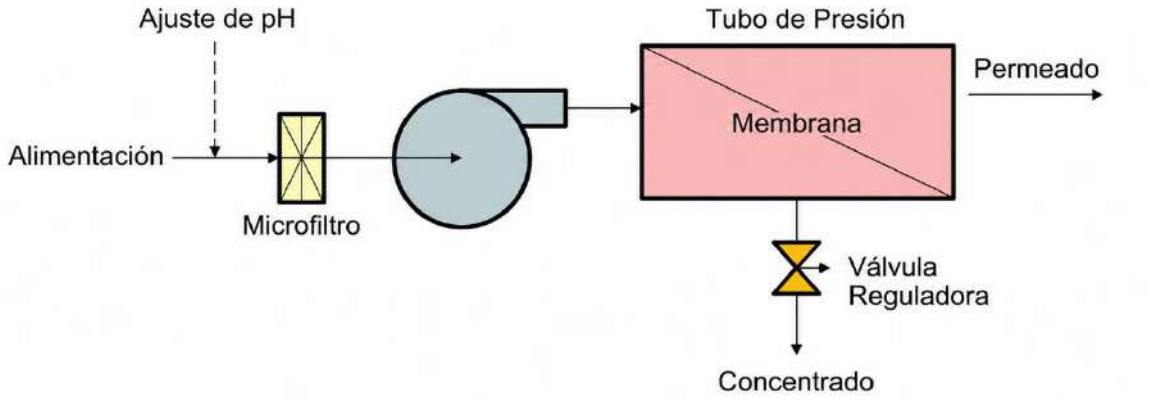
Un sistema de ósmosis inversa se estructura a partir de los siguientes componentes fundamentales:

- **Etapa de prefiltración:** Antes de entrar a las membranas, el agua debe pasar por un filtro de 5 micras y cumplir con un SDI < 3.
- **Unidad de bombeo:** Proporciona la presión alta requerida para dirigir el caudal de forma tangencial sobre la membrana.
- **Portamembranas:** Se trata de recipientes diseñados para soportar la presión operativa y contener los elementos filtrantes.

- **Salida de agua producto:** El canal destinado al agua que ya ha sido procesada y purificada.
- **Salida de concentrado:** El drenaje por donde sale el agua presurizada con los sólidos retenidos, regulado por una válvula de presión.

Figura 4.

Diagrama de flujo



En los sistemas de purificación, la disposición de las membranas puede ajustarse mediante diversas configuraciones o "arreglos" con el fin de maximizar el rendimiento del agua producto. El esquema más básico consiste en alojar las membranas en una sola carcasa. Sin embargo, para elevar la producción sin alterar la tasa de recuperación, se suelen instalar carcasas en paralelo. Por otro lado, si el objetivo es incrementar la recuperación, se recurre a configuraciones en cascada o de múltiples etapas (como un arreglo 2:1); en este caso, el concentrado de las dos primeras unidades se procesa en una tercera. Estos esquemas pueden configurarse en arreglos más complejos (2:2, 3:2:1, entre otros) hasta alcanzar el límite de flujo por área específico de cada membrana. Hoy en día, el diseño óptimo de estos arreglos se determina mediante software especializado que simula la mejor solución técnica.

Para proyectar un sistema de ósmosis inversa eficiente, es necesario conocer las características del agua de alimentación. Independientemente de que la fuente provenga de un

pozo o de agua de mar, resulta fundamental realizar análisis fisicoquímicos periódicos, considerando parámetros como turbidez, pH, cloro residual y sólidos disueltos totales (TDS), además de otros componentes como bario, sílice y sulfatos. Asimismo, es conveniente evaluar características organolépticas y microbiológicas, debido a su influencia en el diseño del pretratamiento requerido.

Las dificultades operativas más comunes en estos sistemas suelen derivar de la acumulación de partículas en suspensión, coloides, microorganismos y precipitados calcáreos sobre la superficie de filtración. Este fenómeno de ensuciamiento provoca inevitablemente el taponamiento de las membranas y una pérdida drástica en su rendimiento. No obstante, el éxito del proceso también puede verse comprometido por averías mecánicas, el deterioro físico del material filtrante o, simplemente, por una gestión deficiente en la operación de la planta.

El gasto energético integral de una planta de ósmosis inversa que abarca desde el bombeo de alimentación y alta presión hasta la dosificación química y el sistema de control oscila generalmente entre los 2 y 3 kWh/m³ para fuentes salobres. En el caso del agua de mar, este consumo se eleva a unos 8 kWh/m³, aunque con la implementación de turbinas de recuperación de energía es posible reducirlo por debajo de los 5 kWh/m³. Esta eficiencia convierte a la ósmosis inversa en una de las tecnologías más utilizadas para procesos de desalinización y producción de agua de alta calidad.

En la operación de equipos de ósmosis inversa, es inevitable que con el tiempo se acumulen depósitos en las membranas, incluso contando con un pretratamiento óptimo. Por ello, se recomienda programar limpiezas químicas periódicas —normalmente cada tres o seis meses— o actuar de inmediato si se detecta una caída del 10% en el caudal de permeado inicial. Asimismo, al diseñar la planta, es fundamental integrar un sistema de desplazamiento o enjuague rápido con agua tratada. Este procedimiento permite desplazar el agua de

alimentación y el concentrado retenido en las membranas, contribuyendo a la conservación y protección del sistema durante los periodos de inactividad.

Figura 5.

Equipo de ósmosis inversa



Fuente: Propia.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema general en la evaluación de la ósmosis inversa para la calidad de los destilados radica en la necesidad de determinar si el agua tratada mediante este método cumple con los estándares de calidad requeridos, considerando la reducción de contaminantes y la mejora de sus características físico-químicas para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

Partiendo de lo anteriormente descrito, surge la siguiente interrogante de investigación:

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la aplicación de la ósmosis inversa en la mejora de la calidad del agua utilizada en la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la eficiencia de la membrana de ósmosis inversa en la mejora de la calidad de los destilados?

- ¿Cómo influye el tratamiento previo del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados?
- ¿Cómo influye la identificación de los impactos ambientales asociados al proyecto en la calidad de los destilados?
- ¿Cómo influye la composición mineral del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la aplicación de la ósmosis inversa para mejorar la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de la eficiencia de la membrana en la ósmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados.
- Determinar la influencia del tratamiento previo del agua de alimentación en la ósmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados.
- Identificar los impactos y las externalidades ambientales asociados al proyecto.
- Determinar la influencia de la composición mineral del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación para investigar la aplicación de la ósmosis inversa (OI) en la mejora de la calidad de los destilados radica en la necesidad de disponer de agua de alta calidad para diversas aplicaciones industriales y de investigación, donde sus características físico-químicas son determinantes. La ósmosis inversa constituye una tecnología efectiva para la remoción de contaminantes, sales disueltas y microorganismos, permitiendo mejorar significativamente la

calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

- **Mejora de la eficiencia:**

La investigación permite evaluar los parámetros operativos de la ósmosis inversa, tales como la presión, la temperatura y el tipo de membrana, con la finalidad de favorecer la remoción de contaminantes y mejorar el desempeño del sistema de tratamiento.

- **Reducción de costos:**

La mejora de la eficiencia del sistema permite reducir el consumo energético y minimizar las pérdidas de agua, contribuyendo a disminuir los costos operativos asociados al proceso.

- **Obtención de agua de alta calidad:**

La aplicación de membranas de ósmosis inversa favorece la remoción de sales, metales y microorganismos, permitiendo obtener agua de mayor calidad para usos que requieren elevados estándares de pureza.

- **Aplicaciones diversas:**

La tecnología de ósmosis inversa posee una amplia aplicación en diferentes sectores, incluyendo el tratamiento de agua para consumo humano, procesos industriales y actividades de investigación que demandan agua de calidad controlada.

- **Innovación tecnológica:**

Los avances en el diseño y fabricación de membranas han incrementado la eficiencia de los sistemas de ósmosis inversa, favoreciendo una mayor capacidad de tratamiento y mejores niveles de remoción de contaminantes.

- **Solución a problemas ambientales:**

La aplicación de sistemas de ósmosis inversa contribuye al aprovechamiento y tratamiento de fuentes de agua con distintos niveles de contaminación, promoviendo un uso

más eficiente de los recursos hídricos y reduciendo el impacto ambiental asociado a determinadas actividades productivas.

- **Acceso a agua segura:**

La utilización de tecnologías de tratamiento como la ósmosis inversa permite obtener agua con características adecuadas para diversos usos, contribuyendo al cumplimiento de estándares de calidad y seguridad.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

La aplicación de la ósmosis inversa constituye una alternativa técnicamente viable para mejorar la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados. El sistema permite reducir la concentración de sales, sólidos disueltos y otros contaminantes presentes en el agua de alimentación, favoreciendo la obtención de agua con mejores características para su utilización en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En su investigación, Vásquez (2020) se enfocó en el diseño y puesta en marcha de una planta potabilizadora para abastecer a una comunidad de 20,000 habitantes en Valencia, España. El estudio comparó la eficacia de la ósmosis inversa frente a la electrodiálisis en el tratamiento de aguas subterráneas afectadas por tres factores críticos: alta salinidad, presencia de nitratos y restos de herbicidas. Los resultados determinaron que la ósmosis inversa no solo destaca por su capacidad para eliminar contaminantes y microorganismos, sino también por ofrecer un consumo energético más eficiente en la producción de agua potable.

En su investigación, Escobar y Sabi (2020) se propusieron diseñar e integrar un sistema de ósmosis inversa (SOI) en la línea de producción de agua embotellada de la Universidad Javeriana de Cali. Para asegurar la viabilidad del proyecto, realizaron un estudio de mercado que evaluó las expectativas y la aceptación de los consumidores, obteniendo un respaldo favorable del 80 %. Los autores concluyeron que la implementación de esta tecnología no solo es factible, sino que optimiza significativamente la productividad de la planta.

En su investigación, Vanegas (2023) desarrolló el diseño de una planta potabilizadora basada en tecnología de ósmosis inversa para un hotel en Coveñas, Colombia. Mediante un enfoque cuasiexperimental de campo, el estudio demostró la eficacia del sistema al reducir la salinidad del agua de mar de 32,000 ppm a apenas 481 ppm de NaCl. Estos resultados resaltan la superioridad de la ósmosis inversa frente a los métodos de tratamiento convencionales, concluyendo que es la alternativa más eficiente para la desalinización. Además, el trabajo detalla el dimensionamiento técnico necesario para la implementación del sistema (SOI).

En su investigación, Martínez y Johanna (2019) evaluaron la viabilidad de instalar una planta potabilizadora mediante ósmosis inversa en la empresa Bawer Company S.A.S. El estudio comparó el uso de aguas subterráneas, superficiales y pluviales como materia prima, determinando que el agua de lluvia es la opción más eficiente. Esta elección no solo garantizó que los parámetros fisicoquímicos cumplieran estrictamente con la Resolución 2115/2007, sino que también validó la rentabilidad económica del proyecto para la organización.

Madril y Llomitoa (2018) desarrollaron un estudio descriptivo y transversal con el objetivo de optimizar el tratamiento de agua de pozo mediante ósmosis inversa para la empresa láctea "El Ganadero" (Cotopaxi, Ecuador). La investigación comprendió una caracterización integral del recurso, abarcando desde propiedades organolépticas hasta parámetros microbiológicos y físico-químicos en diversos puntos de captación. Una vez consolidada la fase de diseño y evaluados los protocolos técnicos, se determinó que la implementación de sistemas de membranas constituye una alternativa técnicamente viable para el tratamiento del agua utilizada en la industria láctea. Los resultados demostraron que el agua obtenida cumple con los requisitos de calidad establecidos por la normativa vigente, reduciendo el riesgo de contaminación durante las operaciones productivas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Zelada (2015) estudió la posibilidad de que la UDEP instalara su propia planta de agua para ahorrar en costos de tercerización. En su propuesta, la ósmosis inversa es la tecnología central para lograrlo. Según el autor, el éxito del proyecto depende tanto de la parte financiera como de un cuidado estricto de los equipos; específicamente, insiste en que un buen mantenimiento preventivo es lo que asegura que las membranas sigan funcionando correctamente con el tiempo.

Lindo (2015) investigó la calidad del servicio de agua potable en la ciudad de Sullana durante el año 2014. Tras evaluar una muestra de más de 3,500 personas, los resultados

evidenciaron que, si bien el agua producida en la planta cumplía con los estándares de calidad establecidos, sus características se veían afectadas durante el proceso de distribución debido a deficiencias en la infraestructura de conducción. El estudio concluyó que la limitada capacidad de la cisterna sedimentadora constituía uno de los principales factores que incidían en la calidad final del agua suministrada a la población.

En su investigación, Aquiles y Renzo (2021) evaluaron la calidad del agua para consumo humano en el distrito de Acoria, Huancavelica, abarcando 18 fuentes distribuidas en 10 centros poblados. El estudio, de nivel descriptivo, consistió en un análisis exhaustivo de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del recurso. Los resultados revelaron que las muestras analizadas exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), registrando además una presencia crítica de Escherichia coli. Ante este panorama, los autores concluyen que es urgente implementar sistemas de tratamiento para mitigar los riesgos a la salud de la población.

En su investigación, Castañeda y Rafael (2018) evaluaron la implementación de un sistema de ósmosis inversa (SOI) para el tratamiento de agua en una caldera pirotubular de 400 BHP en la planta de Alicorp S.A.A. (Trujillo). Bajo un diseño pre-experimental, el estudio analizó la viabilidad técnica y financiera de esta tecnología. Los resultados demostraron que el uso de un SOI optimiza el proceso al reducir drásticamente el flujo de purgas, lo que se traduce en una mayor generación de vapor. Asimismo, el análisis económico reveló ahorros significativos en el consumo de sal y combustible, concluyendo que el proyecto no solo es técnicamente superior, sino financieramente factible y altamente rentable.

En su investigación, Díaz y Rojas (2020) desarrollaron el diseño de una planta potabilizadora para el balneario de Huanchaco utilizando tecnología de ósmosis inversa. Bajo un enfoque experimental y descriptivo, el estudio proyectó una planta con un caudal máximo de 121.42 l/s para cubrir la demanda de la población local. Los resultados confirmaron la alta eficiencia del sistema (SOI), el cual no solo redujo drásticamente la carga de contaminantes,

sino que optimizó las propiedades organolépticas del recurso, como el sabor y el olor. El autor concluye que el agua tratada cumple estrictamente con los estándares de calidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Agua

Aunque el agua es el elemento más abundante de la biosfera, su disponibilidad para el uso humano es sumamente restringida debido a una distribución asimétrica: el 97% del volumen global es oceánico, lo que deja apenas un 3% de reservas de agua dulce (Valdivielso, 2021). Esta limitación de espacio y recursos, empeorada por la contaminación química y la sobreexplotación de los pozos, ha generado un desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico entre el agua disponible y lo que realmente se necesita. Como señalan Fritzmann et al. (2007), la falta de agua ya no es solo un problema de los desiertos, sino una crisis que afecta a todo el mundo por el crecimiento de la población y la industria. Esto hace que la ingeniería deba mejorar técnicas como la desalinización para poder asegurar el abastecimiento.

La falta de agua limpia ha generado una disputa constante entre los agricultores, las fábricas y las ciudades, sobre todo en zonas donde el recurso escasea. Como indican Fritzmann et al. (2007), este conflicto no es solo un tema de dinero, sino que pone en riesgo la estabilidad de los países. El aumento de la población (Okello et al., 2015) y el avance industrial han llevado el consumo al límite, haciendo que tratar las aguas residuales sea una necesidad básica para que las ciudades sobrevivan. En este contexto, usar tecnologías de potabilización es clave, aunque su éxito depende mucho de cuánto dinero tenga cada país y de su ubicación geográfica (Fritzmann & Melin, 2007).

- **Tipos de agua**

Existen diversas metodologías para clasificar el recurso hídrico, las cuales varían según su naturaleza, potabilidad, normativas locales o el uso final previsto. Una de las formas más

comunes de categorizar el agua es a través de su carga mineral y calidad microbiológica. En términos de salinidad, el parámetro de Sólidos Totales Disueltos (STD), expresado en ppm, permite segmentar el agua en distintos rangos, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.

Tipos de agua según su salinidad

TIPOS	RANGO (PPM)	DESCRIPCIÓN
Agua Dulce	1,000	Recurso proveniente de cuencas superficiales, como ríos y deshielos.
Agua Salobre (Baja)	1,000 a 5,000	Principalmente de origen subterráneo en zonas alejadas del litoral.
Agua Salobre (Media)	5,000 a 15,000	Resultante de procesos de infiltración mixta entre aguas dulces y marinas.
Agua Altamente Salina	15,000 a 35,000	Captada usualmente en pozos costeros con fuerte influencia marina.
Agua de Mar	35,000	Fuente oceánica global y reserva hídrica más extensa del planeta.

Fuente: *FIA, 2018, pág. 34*

Tabla 2.

Tipos de agua según su naturaleza

FUENTE	CARACTERÍSTICA
Agua Superficial	Provienen de ríos, lagos y lagunas. Requieren procesos de potabilización rigurosos para eliminar sólidos suspendidos, microorganismos, arcillas y residuos orgánicos o antrópicos derivados de la actividad poblacional.
Agua Subterránea	Se originan en acuíferos y manantiales profundos. Por su naturaleza, presentan una menor vulnerabilidad a la contaminación superficial, aunque suelen tener una mayor carga mineral.
Agua de Mar	Recurso captado directamente de los océanos. Se caracteriza por una elevada concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD), lo que exige tecnologías de desalinización.
Agua de Nevados	Representan grandes reservas de agua dulce en estado sólido. Se localizan principalmente en zonas polares y cordilleras de alta montaña, constituyendo una fuente crítica de agua de deshielo.

Fuente: *FIA, 2018, pág. 33*

Tabla 3.

Tipos de agua según su clasificación de uso y origen

CLASE	AGUA
1	Aguas de escorrentía superficial, incluyendo ríos y sus respectivos afluentes.
2	Caudales que transitan a través de infraestructuras o cauces artificiales.
3	Recursos localizados en ecosistemas costeros como ensenadas y esteros.
4	Aguas estancadas o semiestancadas presentes en humedales y manglares.
5	Efluentes de origen residual (domésticos o industriales).
6	Recursos hídricos provenientes de acuíferos y fuentes subterráneas.
7	Aguas con propiedades minero-medicinales por su composición química.
8	Fluidos de origen geotermal, caracterizados por su temperatura y origen profundo.
9	Agua de origen atmosférico, captada principalmente por precipitación.
10	Producto obtenido mediante procesos de desalinización de fuentes salinas.

Fuente: *FIA, 2018, pág. 35. "Ley de Recursos Hídricos 29338"*

- **Métodos de tratamiento**

Cabe destacar que el panorama actual de la desalinización está dominado por tres tecnologías principales. Según Fritzmann et al. (2007) y Bahar y Hawlader (2013), la ósmosis inversa (OI) se posiciona como el método líder, junto a procesos térmicos consolidados como la destilación por flash multietapa (MSF) y la destilación multiefecto (MED). Estas técnicas representan las soluciones más robustas y extendidas para la obtención de agua potable a partir de fuentes salinas.

En el contexto europeo, la ósmosis inversa ha logrado una aceptación significativamente mayor que las tecnologías térmicas, impulsada principalmente por su eficiencia y menor consumo energético. Según señalan Fritzmann et al. (2007), la desalinización se ha consolidado como la estrategia clave para mitigar la escasez hídrica en las regiones áridas y semiáridas del continente. En este escenario, España destaca como el país

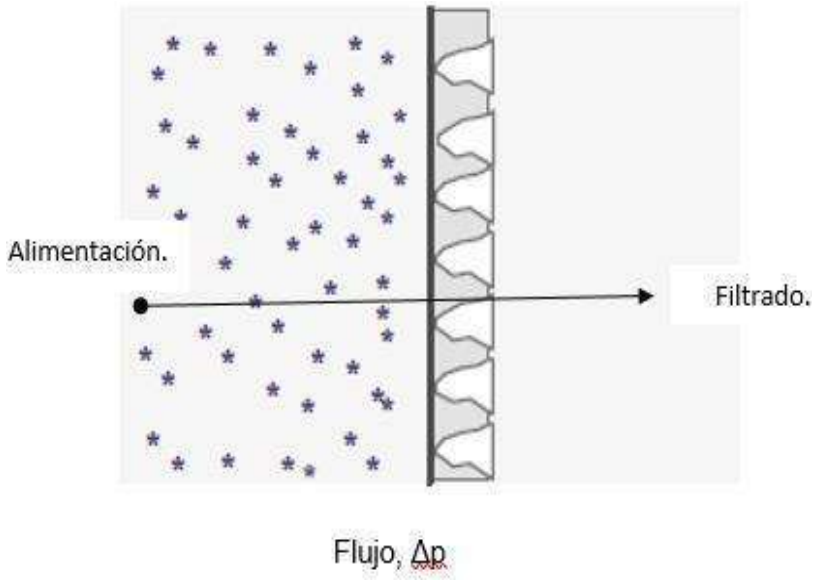
con la mayor capacidad instalada, reflejando una tendencia clara en la que prácticamente todas las plantas de reciente construcción han optado por la tecnología de membranas.

- **Membranas de ósmosis inversa**

El principio operativo de la ósmosis inversa se fundamenta en la aplicación de una fuerza externa. Como señalan Drioli y Giorno (2016), el motor que impulsa este proceso es el gradiente de presión hidrostática, el cual permite vencer la resistencia natural del sistema para lograr la filtración. El principio del proceso se ilustra en la Fig. 6.

Figura 6.

El principio de ósmosis inversa (RO)



Fuente: *Drioli & Giorno, 2016.*

Es imposible sobreestimar la importancia estratégica del agua subterránea como principal fuente de abastecimiento para millones de familias, tanto en entornos rurales como urbanos. No obstante, el crecimiento demográfico acelerado, junto con la expansión industrial y agrícola, ha sometido a estos acuíferos a una presión sin precedentes. Esta preocupación por la pérdida de calidad del recurso impulsada por factores tanto naturales como derivados de la actividad humana ha sido el motor fundamental para el perfeccionamiento y la adopción de tecnologías de membranas como solución de tratamiento.

La caracterización físico-química del agua constituye una etapa fundamental en el diseño y evaluación de sistemas de ósmosis inversa. Para ello, se analizan parámetros como pH, conductividad eléctrica, dureza total, turbidez, sólidos disueltos totales (TDS), salinidad, alcalinidad y concentración de metales, los cuales permiten determinar las características del agua de alimentación y establecer las condiciones operativas más adecuadas para el proceso. Esta evaluación resulta indispensable para garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos para su utilización en diferentes aplicaciones industriales y de investigación.

La ósmosis inversa constituye una de las tecnologías más eficientes para el tratamiento de aguas con diferentes niveles de salinidad y contaminación. Su aplicación permite reducir significativamente la concentración de sales disueltas, materia orgánica y otros compuestos presentes en el agua de alimentación, favoreciendo la obtención de agua de mayor calidad para diversos usos industriales, agrícolas y de investigación. Por ello, su implementación se ha incrementado en los últimos años como una alternativa confiable para la producción de agua apta para procesos que requieren elevados estándares de calidad.

Por lo general, las aguas subterráneas están mejor protegidas de la contaminación que las fuentes superficiales. Debido a esto, desalar agua salina se ha vuelto una solución clave que se usa en todo el mundo. Como indican Pangarkar et al. (2011), estas técnicas permiten obtener mucha agua de excelente calidad a precios que cada vez bajan más. Aun así, el gran reto técnico sigue siendo el alto gasto de energía que estos sistemas requieren para funcionar.

Desde hace más de cincuenta años, desalar agua de mar y fuentes salobres es una práctica común que sirve como una fuente de agua segura en muchos países. Hoy en día, producir agua de excelente calidad de esta forma es totalmente posible tanto técnica como económicamente. El verdadero reto ahora es cómo abastecer a ciudades que no paran de crecer,

donde la salud, el desarrollo urbano y la agricultura moderna necesitan soluciones que funcionen bien sin que los costos se disparen.

Los sistemas de membranas, como la ósmosis inversa (OI), la nanofiltración y la electrodiálisis, han ganado mucha atención en todo el mundo por lo bien que funcionan al separar componentes y tratar el agua. En el último tiempo, la tecnología de membranas con la ósmosis inversa a la cabeza se ha vuelto la opción favorita para las nuevas plantas desalinizadoras. Como indican Pangarkar et al. (2011) y Le y Nunes (2017), esta técnica ha mejorado muchísimo para trabajar con aguas saladas y salobres a gran escala, siendo una solución muy confiable.

Al tratar aguas salobres, las membranas de ósmosis inversa funcionan muy bien porque permiten un buen flujo de agua con menos desperdicio de sales. Además, como la presión osmótica inicial es baja, el sistema no necesita tanta fuerza hidrostática para operar (Pangarkar et al., 2011). Sin embargo, aparecen problemas complicados como la acumulación de sedimentos y la formación de capas bacterianas o sarro, que pueden tapar los filtros (M’nif et al., 2007). Esta urgencia por mejorar el tratamiento se debe a que, como advierten Pangarkar et al. (2011), el crecimiento descontrolado del campo y las fábricas ha terminado por ensuciar y agotar los pozos de agua.

En términos generales, los métodos de tratamiento con membranas se agrupan por la forma en que funcionan: ya sea mediante el uso de presión o a través de energía eléctrica. En la Tabla 4 se detallan estos procesos y cómo se diferencian entre sí.

Tabla 4.

Características de los procesos de separación por membranas impulsados por presión

Proceso de membrana	Presión aplicada (kPa)	Partícula mínima tamaño eliminado	Eliminación de contaminantes (tipo, % de eficiencia de eliminación promedio)
Microfiltración	30-500	0.1-3 µm	Turbidez (>99%); bacterias (99.99%)
Ultrafiltración	30-500	0.01-0.1 µm	Turbidez (>99%); bacterias (99.99%); TOC (20%)
Nanofiltración	500-1000	200-400 Da	Turbidez (>99%); color (>98%); TOC (>95%); dureza (>90%); sulfato (>97%); virus (>95%)
Ósmosis inversa	1000-10000	50-200 Da	Salinidad (>99%); color y DOC (>97%); nitrato (85-95%); plaguicida (>90%); eliminación de As, Cd, Cr, Pb, F (40-98%)

Fuente: *Pangarkar Sane & Guddad, 2011*

En los últimos veinte años, la tecnología de membranas ha experimentado un importante desarrollo. Este progreso se debe principalmente a lo bien que funcionan estos sistemas tanto para potabilizar agua como para limpiar los desechos industriales. Según destacan Ezugbe y Rathilal (2020), la reducción en las dimensiones de los equipos, junto con menores requerimientos energéticos y costos de inversión más bajos, ha abierto un abanico de posibilidades en la gestión de aguas residuales. Si bien se emplean diversas categorías de membranas en la recuperación del recurso hídrico, la nanofiltración (NF) y la ósmosis inversa (OI) sobresalen como las más representativas. Como señalan varios autores (Pangarkar et al., 2011; Jin et al., 2008), su capacidad para operar a bajas presiones y temperaturas las convierte en una alternativa altamente competitiva frente a las tecnologías convencionales.

- **Ensuciamiento de la membrana ósmosis inversa (OI)**

La adopción de sistemas de membranas se ha consolidado como la estrategia más eficiente para la remoción de componentes críticos, desde carga iónica y sólidos disueltos hasta materia orgánica regulada. Sin embargo, la viabilidad y el rendimiento sostenido de la ósmosis inversa se ven condicionados principalmente por el fenómeno del ensuciamiento (fouling).

Como bien argumentan Jiang et al. (2017) y Khan et al. (2014), se trata de un proceso multifactorial que varía según el régimen operativo. En esencia, la problemática radica en la acumulación y precipitación de partículas que obstruyen tanto la superficie como la estructura interna de los poros, comprometiendo la selectividad del sistema (Li & Chen, 2010).

El fenómeno del ensuciamiento se categoriza, según su ubicación, en externo (superficial) e interno (Lin et al., 2014; She et al., 2016). De manera tradicional, estas incrustaciones se dividen en reversibles, que pueden eliminarse mediante métodos físicos como el lavado a contracorriente, e irreversibles, las cuales exigen una limpieza química especializada (Khan et al., 2016). Este deterioro es el resultado de altas concentraciones de materia orgánica, bioincrustaciones y compuestos inorgánicos disueltos, tales como $BaSO_4$, $CaSO_4$ y $CaCO_3$. La presencia de estos elementos, junto con bacterias y sólidos en suspensión, incrementa la resistencia hidráulica de la membrana, lo que reduce drásticamente el flujo de permeado (Pangarkar et al., 2011). Mientras que la ultrafiltración (UF) y la nanofiltración (NF) ofrecen una remoción limitada o nula de sólidos disueltos, la ósmosis inversa (OI) logra una eliminación casi total, aunque esto la hace más vulnerable a la precipitación de sales como el sulfato de calcio (Prisciandaro et al., 2019).

- **Sistema de pre tratamiento**

La morfología de las membranas, ya sean de estructura porosa o no porosa, influye directamente en la resistencia al flujo cuando se presentan incrustaciones inorgánicas (Shirazi et al., 2010). En la actualidad, las estrategias fundamentales para mitigar este fenómeno se centran en el pretratamiento del agua de alimentación y en los protocolos de limpieza periódica. Como señalan Pangarkar et al. (2011), el propósito central de cualquier sistema de pretratamiento en ósmosis inversa ya sea para agua de mar o salobre es minimizar la tendencia natural del agua al ensuciamiento, protegiendo así la integridad y eficiencia del sistema de membranas.

La integración de sistemas de pretratamiento avanzado representa un desafío significativo, no solo por la sofisticación de la infraestructura, sino por el incremento en el gasto de capital inicial (CAPEX). Tradicionalmente, la industria ha dependido de esquemas convencionales que incluyen la dosificación química de coagulantes y ácidos, junto con la filtración granular. Como señalan Pangarkar et al. (2011), la variabilidad en la calidad del agua de alimentación ha impulsado el desarrollo de tecnologías de tratamiento más eficientes. En consecuencia, los sistemas modernos de ósmosis inversa incorporan procesos de pretratamiento más robustos que permiten mantener condiciones operativas estables y reducir los riesgos asociados al ensuciamiento de las membranas.

La remoción de coloides y sólidos suspendidos antes del ingreso del agua a las membranas constituye una etapa fundamental para minimizar los fenómenos de ensuciamiento (fouling) y prolongar la vida útil del sistema. Como señala Shevah (2017), la desalinización mediante ósmosis inversa representa una alternativa técnica competitiva en regiones con disponibilidad limitada de agua dulce o donde la ampliación de la infraestructura convencional resulta económicamente compleja.

En los últimos cuarenta años, el desarrollo de las membranas de ósmosis inversa (OI) ha contribuido significativamente al desarrollo del sector de la desalinización. Hoy en día, es la tecnología que más se utiliza cuando se proyecta la construcción de cualquier planta de tratamiento nueva. Este desarrollo tecnológico ha facilitado significativamente el acceso al agua potable, especialmente para comunidades situadas en zonas rurales o regiones geográficamente remotas, tal como lo señalan Pangarkar et al. (2011).

En entornos con alta salinidad, la mayoría de los microorganismos incluyendo bacterias y hongos potencialmente patógenos sufren un proceso de deshidratación que deriva en su muerte o en un estado de inactividad temporal debido al choque osmótico. Técnicamente, la ósmosis se define como la transferencia neta de solvente a través de una interfase de

permeabilidad selectiva. Este desplazamiento físico es el resultado directo del gradiente de potencial químico o presión osmótica que se manifiesta entre dos soluciones de distinta salinidad separadas por dicha barrera (Cath et al., 2006). En este proceso, la membrana actúa como un filtro molecular que permite el paso del agua mientras restringe el tránsito de los solutos disueltos.

Entre el abanico de soluciones para el tratamiento de agua, la ósmosis inversa destaca por su madurez tecnológica y confiabilidad operativa. El éxito del proceso reside en la calidad de la interfase filtrante; según Cath et al. (2006), las membranas deben presentar una combinación crítica de atributos: una alta tasa de flujo de permeado (permeabilidad) junto con una capacidad selectiva superior para el rechazo de sales. Además, es imperativo que el polímero mantenga su integridad estructural y química ante las presiones y variaciones de pH propias de la operación industrial.

La ósmosis inversa ha desplazado progresivamente a diversos sistemas térmicos tradicionales debido a su elevada capacidad de remoción de contaminantes y microorganismos. Según Cath et al. (2006), esta tecnología permite alcanzar altos niveles de calidad del agua con un menor consumo energético al no requerir cambios de fase. Asimismo, su flexibilidad operativa permite su aplicación en sistemas de pequeña y gran escala, siendo ampliamente utilizada en abastecimiento de agua potable, reutilización de aguas tratadas y diversos procesos industriales que demandan agua de alta calidad.

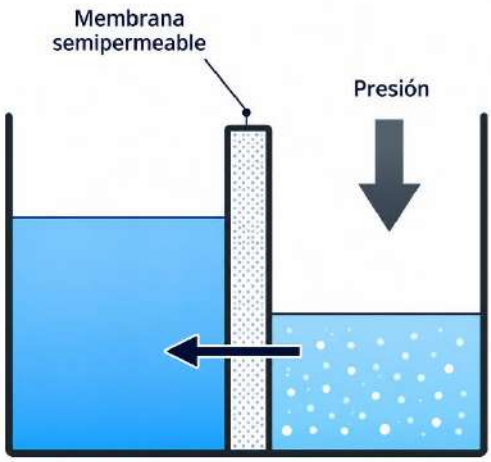
2.2.2. Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso de separación por membranas que utiliza presión para invertir el flujo natural de la ósmosis. Mediante la aplicación de una presión superior a la presión osmótica, el agua es forzada a atravesar una membrana semipermeable que retiene la mayor parte de las sales disueltas, microorganismos, compuestos orgánicos y otras impurezas presentes en el agua de alimentación. Debido a su elevada eficiencia de remoción, esta

tecnología es ampliamente utilizada en procesos de desalinización, potabilización y producción de agua de alta calidad para aplicaciones industriales y de investigación.

Figura 7.

Fenómeno de ósmosis inversa



2.2.2.1.Principio de operación de la ósmosis inversa

En condiciones naturales, el solvente se desplaza de forma espontánea desde una solución de baja concentración hacia una más saturada a través de una membrana semipermeable. No obstante, al ejercer una fuerza externa que supere la presión osmótica del sistema, este flujo se invierte. En este escenario de ósmosis inversa, la magnitud del caudal del solvente queda determinada principalmente por tres factores críticos: la presión mecánica aplicada, la presión osmótica aparente y el área efectiva de la membrana bajo presurización.

2.2.2.2.Componentes de la ósmosis inversa

La configuración operativa del sistema de ósmosis inversa se fundamenta en cinco componentes críticos: la membrana semipermeable, que actúa como la barrera selectiva principal, y los tubos de presión diseñados para alojarla de forma segura. El flujo de trabajo es impulsado por una bomba generadora de alta presión, cuya intensidad es gestionada mediante válvulas reguladoras de control. Finalmente, el proceso concluye con el almacenamiento del recurso tratado en contenedores específicos para el permeado.

2.2.2.3.Características de las membranas semi permeables

Una membrana semipermeable, también llamada membrana selectivamente permeable, es una membrana que permitirá que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella por difusión. El índice del paso de las moléculas depende de la presión ejercida, la concentración de partículas de soluto, la temperatura de las moléculas y la permeabilidad de la membrana para cada soluto.

A las moléculas que logran atravesar la membrana se les conoce como permeado, mientras que a las que no la atraviesan se les denomina rechazo.

2.2.2.4.Características de la ósmosis inversa

Esta tecnología destaca por su alta eficiencia en la remoción de contaminantes, logrando eliminar hasta el 99% de los sólidos disueltos, tanto de origen orgánico como inorgánico. Además de actuar como una barrera efectiva contra microorganismos y partículas en suspensión, el sistema opera mediante un proceso de purificación continua. Su diseño modular facilita la ampliación de la capacidad de tratamiento y permite una ocupación reducida del espacio requerido para su instalación.

2.2.2.5.Aplicaciones de ósmosis inversa

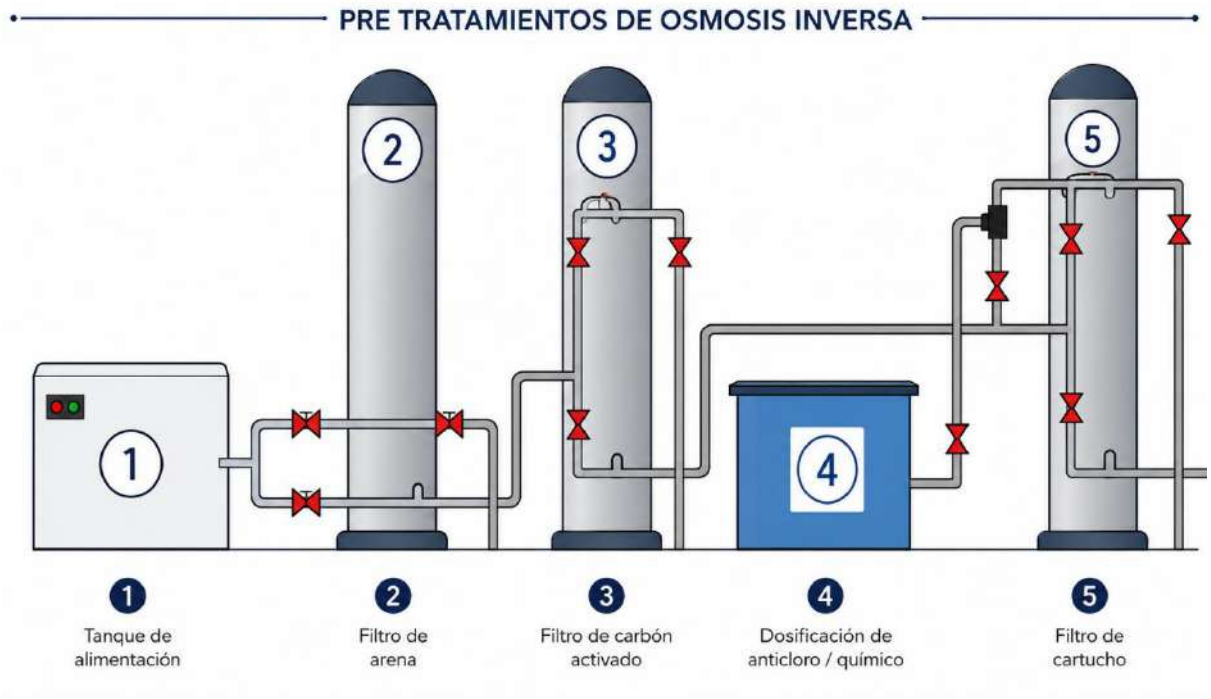
La ósmosis inversa tiene aplicaciones en diversos sectores relacionados con el tratamiento y acondicionamiento del agua. Se utiliza para la producción de agua destinada al consumo humano, la desalinización de fuentes salinas y el tratamiento de efluentes industriales, favoreciendo la recuperación y reutilización del recurso hídrico. Asimismo, es ampliamente empleada en las industrias farmacéutica, alimentaria y química, donde se requieren elevados estándares de calidad del agua. También se utiliza en sistemas de generación de vapor, laboratorios, establecimientos de salud y otros procesos que demandan agua de alta pureza.

2.2.3. Proceso de pre tratamiento que antecede al proceso de ósmosis inversa

El pretratamiento constituye una etapa fundamental dentro de los sistemas de ósmosis inversa, debido a que permite acondicionar el agua de alimentación antes de su ingreso a las membranas. Su finalidad es reducir la presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos y otros compuestos que puedan afectar el desempeño del sistema, contribuyendo a prolongar la vida útil de las membranas y mantener la eficiencia del proceso de tratamiento.

Figura 8.

Pre tratamiento de ósmosis inversa



Dónde:

(1). Tanque de almacenamiento de Agua.

(2). Filtro de arena.

(3). Filtro de carbón activado.

(4). Sistema de dosificación de anticloro o productos químicos.

(5). Filtro de cartucho.

El pretratamiento tiene como finalidad acondicionar el agua antes de su ingreso al sistema de ósmosis inversa. Para ello, se emplean etapas de filtración y acondicionamiento químico que permiten reducir sólidos suspendidos, materia orgánica, cloro residual y otros compuestos que podrían afectar el desempeño de las membranas. De esta manera, se contribuye a prolongar la vida útil del sistema y mantener una operación eficiente del proceso de tratamiento

2.2.4. Filtros de pre tratamiento de ósmosis inversa

Los sistemas de pretratamiento pueden incorporar diferentes equipos en función de las características del agua de alimentación y de los requerimientos específicos del proceso. Entre los más utilizados se encuentran los filtros de sedimentos, filtros de arena, filtros de carbón activado, sistemas de dosificación química, filtros de cartucho y suavizadores, cuya finalidad es proteger las membranas y optimizar el desempeño del sistema de ósmosis inversa.

Generalmente el proceso de ósmosis inversa va acompañado de un pretratamiento que tiene como objetivo filtrar el solvente antes de entrar al proceso de ósmosis inversa, con el fin de lograr obtener los mejores resultados posibles y garantizar el mejor funcionamiento de las membranas semipermeables. Los principales filtros de pretratamiento son:

- **Filtro de sedimentos**

Los sedimentos son cualquier partícula que puede ser transportada por un fluido y que se deposita como una capa de partículas sólidas en fondo del agua o líquido, Un filtro de sedimentos actúa como pantalla para remover estas partículas.

- **Filtro de arena**

Estos sistemas destacan por su alta eficiencia en la retención de materia orgánica, ya que el proceso de filtrado ocurre en todo el espesor del lecho de arena. Esto permite acumular un volumen considerable de contaminantes antes de requerir un ciclo de mantenimiento. El diseño del sistema puede configurarse mediante unidades aisladas o arreglos en paralelo,

empleando un medio granular con una granulometría rigurosamente seleccionada En estos filtros, el medio granular se selecciona de manera que permita un adecuado flujo del agua y, al mismo tiempo, favorezca la retención de sólidos suspendidos sin afectar significativamente la eficiencia hidráulica del sistema. Estos equipos son ampliamente utilizados para la remoción de partículas y material coloidal presentes en el agua. Una vez alcanzada la pérdida de carga máxima permitida, se realiza un lavado a contracorriente que permite desprender y eliminar las partículas retenidas en el lecho filtrante.

- **Filtro de carbón activado**

Los filtros de carbón activado se caracterizan por su elevada capacidad de adsorción, lo que les permite retener compuestos orgánicos, cloro residual y otras sustancias responsables de alterar las características organolépticas del agua. Gracias a su estructura altamente porosa, constituyen una etapa fundamental dentro de los sistemas de pretratamiento, contribuyendo a proteger equipos posteriores y mejorar la calidad del agua antes de su ingreso al sistema de ósmosis inversa.

- **Suavizador**

Básicamente, un ablandador de agua sirve para estabilizar el exceso de minerales y reducir la dureza. Al eliminar los iones de calcio y magnesio, evitamos que se formen esas costras de carbonato que suelen tapar los tubos y depósitos. Es una medida esencial para mantener el flujo de agua normal y asegurar que las tuberías no se deterioren ni se rompan por culpa de las incrustaciones de cal.

Normalmente, los ablandadores trabajan con tanques individuales o en serie que contienen una resina especial. Esta resina funciona como un imán para el calcio y el magnesio; gracias a su composición química, prefiere atraer estos iones divalentes y soltar el sodio que tiene almacenado. Es un proceso de sustitución muy eficiente que evita que el agua llegue con exceso de minerales a las siguientes etapas del tratamiento. Al entrar en contacto con el agua

dura, la resina captura estos iones responsables de la dureza y libera sodio en su lugar, logrando así una remoción efectiva de la carga mineral antes de las etapas posteriores de filtración.

La eliminación de los cationes de calcio y magnesio continúa de forma ininterrumpida hasta que el lecho de resina agota su carga de sodio, perdiendo así su capacidad operativa de intercambio. No obstante, debido a la naturaleza reversible de la reacción química, es posible restaurar la resina mediante un proceso de regeneración. Este procedimiento consiste en saturar el medio con una solución concentrada de cloruro de sodio (salmuera), la cual desplaza los iones de dureza retenidos y reabastece los sitios activos con nuevos cationes de sodio. De manera sistemática, este ciclo de suavización por intercambio iónico se desarrolla en las siguientes cuatro etapas críticas:

El proceso se inicia con el paso del agua dura a través de la resina hasta alcanzar su punto de saturación, momento en el cual disminuye su capacidad de intercambio iónico. Posteriormente, se realiza un lavado a contracorriente para remover las partículas acumuladas y acondicionar el lecho de resina. A continuación, se lleva a cabo la regeneración mediante una solución concentrada de cloruro de sodio, restaurando la capacidad de intercambio del medio. Finalmente, se efectúa un enjuague que elimina los residuos remanentes antes de reincorporar el sistema a operación.

El uso de estos equipos de ablandamiento es fundamental en diversos sectores industriales y civiles. Entre sus aplicaciones más comunes destaca el tratamiento de aguas de reposición para calderas, asegurando un suministro óptimo que prevenga incrustaciones. Asimismo, son esenciales en el acondicionamiento de aguas de proceso, particularmente en sistemas de transferencia de calor, y en la industria de alimentos y bebidas, donde la calidad del recurso es crítica. Finalmente, su implementación a nivel municipal se considera una solución viable siempre que el análisis de costo-beneficio lo justifique económicamente.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Permeado:** Se refiere al flujo de agua de baja salinidad obtenido tras superar la barrera de la membrana.
- **Agua agresiva:** se define por su capacidad para disolver depósitos calcáreos.
- **Agua corrosiva:** presenta una composición que acelera el deterioro de componentes metálicos específicos.
- **Agua descalcificada:** es aquella sometida a un proceso de intercambio iónico para reducir su dureza.
- **Agua desmineralizada:** utiliza tecnologías como la ósmosis inversa para eliminar la carga salina total.
- **Agua incrustante:** se caracteriza por su propensión a generar depósitos de carbonatos en las superficies de contacto.
- **AFCH:** Agua destinada al consumo humano que cumple con los estándares de calidad y potabilidad establecidos por la normativa vigente.
- **Agua de aporte:** flujo que alimenta el sistema.
- **Concentrado:** Corriente de agua rechazada por la membrana de ósmosis inversa, caracterizada por presentar una mayor concentración de sales y otros compuestos retenidos durante el proceso de separación.
- **Cloración:** Proceso de desinfección del agua mediante la adición de cloro o compuestos clorados, con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos y garantizar la calidad sanitaria del agua.
- **Membrana semipermeable:** Material selectivo que permite el paso del agua y restringe el tránsito de sales, partículas y otros compuestos disueltos.
- **Sólidos disueltos totales (SDT):** Concentración total de sales, minerales y otras sustancias disueltas presentes en el agua, generalmente expresada en mg/L o ppm.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis General

La aplicación de la ósmosis inversa mejora la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- La eficiencia de la membrana de ósmosis inversa influye en la mejora de la calidad de los destilados.
- El tratamiento previo del agua de alimentación influye en la mejora de la calidad de los destilados.
- La identificación de los impactos ambientales asociados al proyecto permite evaluar su influencia en la calidad de los destilados.
- La composición mineral del agua de alimentación influye en la mejora de la calidad de los destilados.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo con la perspectiva de Sabino (2007), una investigación adquiere un carácter aplicado cuando el conocimiento generado funciona como una herramienta directa para la intervención. En este sentido, el presente estudio se orienta hacia la resolución de una problemática concreta; es decir, los hallazgos no solo pretenden enriquecer el marco teórico, sino que buscan derivar en técnicas y estrategias operativas que permitan abordar y solucionar el fenómeno en cuestión.

3.1.1. Tipo

Aplicada: El presente estudio se centró en la evaluación de un sistema de ósmosis inversa con el fin de mejorar la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados. Los resultados obtenidos permitieron generar información técnica orientada a optimizar las condiciones de tratamiento dentro del Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos.

De Campo: La información fue obtenida directamente en el lugar donde se desarrolla el proceso de tratamiento mediante ósmosis inversa, permitiendo observar y registrar las variables de estudio en condiciones reales de operación. Esta modalidad facilitó la obtención de datos confiables y representativos para el desarrollo de la investigación.

Descriptiva: El estudio se orientó a describir y analizar las características físico-químicas del agua antes y después del tratamiento por ósmosis inversa, permitiendo evaluar la capacidad del sistema para reducir sales, sólidos disueltos y otros compuestos presentes en el agua de alimentación.

3.1.2. Enfoque

Para este estudio, optamos por un diseño experimental donde manipulamos intencionalmente las variables del tratamiento. Esto nos dio el control necesario para ajustar los parámetros críticos y observar el rendimiento real de la ósmosis inversa. Al someter la planta a condiciones operativas ya definidas, pudimos documentar con precisión los resultados en el permeado y la capacidad de filtración, asegurando que el análisis se sustente en pruebas de campo concretas.

Para este estudio, nos apoyamos en un análisis profundo de la documentación disponible, desde artículos científicos hasta manuales técnicos y normas vigentes. Este proceso fue clave para confirmar las teorías del proyecto usando información de fuentes confiables y proyectos que ya se han realizado antes. Al contrastar lo que dicen los expertos con las leyes actuales, pudimos asegurar que el diseño del sistema de ósmosis inversa tenga una base técnica y científica real.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población estuvo constituida por las muestras de agua obtenidas antes y después del proceso de ósmosis inversa en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia.

3.2.2. Muestra

Estuvo constituida por 8 muestras de 500 ml, antes y después del Equipo de Osmosis Inversa, durante un lapso de 4 semanas de monitoreo, las cuales fueron analizadas en sus parámetros fisicoquímicos. Se tuvo en cuenta una muestra adicional antes del cambio de la unidad de ósmosis inversa con fines de comparación y control.

3.2.3. Muestreo

Se empleó un diseño de muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando la

totalidad de los elementos que conforman la población bajo un criterio técnico definido por los investigadores. Esta elección permitió un control exhaustivo sobre las muestras obtenidas en las fases críticas del proceso de ósmosis inversa dentro del laboratorio de la FIQyM

3.2.4. Unidad de análisis

Esta se definió a partir de la caracterización físico-química de las muestras de agua, las cuales fueron recolectadas en puntos estratégicos del sistema de filtración para asegurar la representatividad de los resultados.

3.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

3.3.1. Variables

- **Variable Independiente (X):** Evaluación de la ósmosis inversa.
- **Variable dependiente (Y):** Calidad del agua para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

3.3.2. Indicadores

- Evaluación de la Osmosis Inversa.

  Eficiente

  Eficacia

- Calidad de los Destilados

  Análisis Sensorial

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio adopta un enfoque experimental, fundamentado en la intervención directa y controlada sobre las variables del proceso. Esta manipulación deliberada permitirá observar y analizar con precisión las reacciones y cambios generados en el sistema bajo las condiciones establecidas.

Es un tipo de investigación en la que se manipulan deliberadamente una o más variables (variables independientes) para observar su efecto en otra variable (variable dependiente),

mientras se intenta controlar otros factores que podrían influir en los resultados.

3.5. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN O RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

Fuentes de información: Con el propósito de dotar al estudio de un rigor científico sólido, se ha establecido una arquitectura de fuentes de consulta debidamente categorizadas. Este cuerpo de información articula el sustento teórico con la realidad operativa, integrando tanto la literatura científica especializada y marcos normativos vigentes, como la data primaria generada directamente durante las fases del proceso de ósmosis inversa. A continuación, se describen los pilares informativos que garantizan la trazabilidad y exactitud de los resultados presentados.

Fuentes de información Primarias: Para la elaboración del presente estudio sobre la evaluación del proceso de osmosis inversa con fines de mejorar la calidad de los destilados se considera lo siguiente: el diseño del sistema, los parámetros de operación, el rendimiento de la membrana, la calidad del agua tratada y los costos asociados. También es crucial considerar el pretratamiento del agua y el mantenimiento del sistema.

Fuentes de información Secundarias: Como fuentes de información secundarias se tomará en cuenta Al evaluar la ósmosis inversa como método de purificación de agua, la información secundaria relevante incluye aspectos como el tipo de membrana utilizada, la eficiencia en la eliminación de contaminantes específicos, el consumo de energía, el impacto en la salud (especialmente la remoción de minerales), el costo operativo y de mantenimiento, y las posibles aplicaciones en diferentes industrias.

Técnicas de Investigación: El proceso de ósmosis inversa se fundamenta en la ruptura del equilibrio termodinámico mediante la aplicación de una carga hidrostática superior a la presión osmótica del sistema. Básicamente, se fuerza al agua a ir en contra de su sentido natural a través de una membrana selectiva. Este sistema permite separar con mucha exactitud los

minerales y las impurezas del agua, atrapando los sólidos disueltos y entregando un agua purificada lista para su uso.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ELABORACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para registrar los datos en el terreno, se diseñó una ficha de control específica que permite organizar toda la información obtenida directamente en la planta. Este instrumento es la base para pasar de la observación de campo al análisis de resultados, ya que agrupa los parámetros clave de la investigación. Su uso es fundamental para obtener datos reales que permitan verificar la hipótesis y, sobre todo, para garantizar que cada medición de la ósmosis inversa quede debidamente registrada y sea rastreable.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS RECOLECTADOS

Los datos obtenidos fueron organizados mediante tablas y cuadros comparativos, permitiendo evaluar las variaciones de los parámetros físico-químicos analizados antes y después del tratamiento por ósmosis inversa. Para el análisis de la información se empleó estadística descriptiva, facilitando la interpretación de los resultados y la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE MEMBRANA Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE O.I.

Para este estudio, se evaluó el rendimiento de un equipo de ósmosis inversa de 100 GPD, como se muestra en la Tabla 5. El sistema cuenta con una membrana en espiral de poliamida (TFC) diseñada para operar eficientemente a bajas presiones, optimizando el consumo energético del proceso. De acuerdo con los parámetros establecidos por Paseta (2019), esta configuración permite alcanzar una eficiencia de rechazo de sales cercana al 90%.

Tabla 5.

Ficha técnica del SOI 100 gal/día

Parámetro	Especificación
Modelo	TFC-2812-100
Tipo de membrana	Ósmosis inversa TFC
Dimensiones	2.8" × 12"
Producción nominal	100 GPD
Producción equivalente	378 L/día
Rechazo de sales	90%
Presión de operación	30–60 psi
Presión máxima	200 psi
Configuración	Espiral enrollada
Material de membrana	Thin Film Composite (TFC)
Temperatura máxima	40 °C
SDI_{15} máximo	≤ 5
Cloro residual máximo	0.02 ppm
Caudal de permeado	15.8 L/h (0.016 m^3/h)

Fuente: Elaboración propia.

Las especificaciones técnicas de la membrana de ósmosis inversa empleada se detallan en la Tabla 6. Se trata de una membrana de configuración en espiral diseñada para operar a baja presión, fabricada con poliamida compuesta (PA). De acuerdo con Paseta (2019), la

hidrofobicidad de este material, fundamentada en el mecanismo de exclusión dieléctrica, favorece una alta permeabilidad hídrica. Esta propiedad físico-química permite alcanzar una eficiencia en el rechazo de sales del 98%, garantizando la calidad del permeado.

Tabla 6.

Ficha técnica de membrana de ósmosis inversa

Parámetro	Especificación
Modelo	CN-4040-LPI
Tipo de membrana	Ósmosis inversa de baja presión
Dimensiones	4" × 40"
Material de membrana	Poliamida compuesta (PA)
Configuración	Espiral enrollada
Rechazo de sales	98%
Producción nominal	2,000–3,000 GPD*
Presión de operación	100–150 psi
Presión máxima	365 psi
Temperatura máxima	40 °C
pH de operación	2–11
Turbidez máxima alimentación	<1 NTU
Cloro libre máximo	<0.1 ppm
ΔP máximo	15 psi
Material de sello	EPDM

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el procedimiento, se realizaron análisis de pH, conductividad, sólidos totales disueltos (STD), porcentaje de remoción de sólidos totales disueltos, cloruros y dureza en los puntos de entrada y salida del sistema de ósmosis inversa, con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en la normativa correspondiente.

Los parámetros tomados en los puntos 1 y 3 corresponden a la entrada y salida del SOI de 100 gal/día, se muestran en las Tablas 7 y 8.

4.1.1. Parámetros en el ingreso al equipo de ósmosis inversa

Tabla 7.

Parámetros de ingreso al equipo de ósmosis inversa 100 gal/día

Parámetro	Promedio
pH	7.7
Conductividad, µS/cm	740
STD, ppm	397
Cloruros, ppm	60
Dureza, ppm	214

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Parámetros en la salida al equipo de ósmosis inversa

La Tabla 8 detalla la línea base operativa del equipo de ósmosis inversa de 100 gal/día previo a las mejoras implementadas. Los valores promedio presentados corresponden a la caracterización del efluente bajo las condiciones iniciales del sistema, permitiendo identificar el rendimiento histórico antes de proceder con el rediseño y optimización de los parámetros.

Tabla 8.

Parámetros de salida del equipo de ósmosis inversa 100 gal/día

Parámetro	Promedio
pH	7.3
Conductividad, µS/cm	350
STD, ppm	180
Cloruros, ppm	22
Dureza, ppm	70

Fuente: Elaboración propia.

Los datos recopilados en la Tabla 9 detallan las condiciones de ingreso al sistema de ósmosis inversa tras la fase de mejora. Se observó una notable homogeneidad en el afluente, con un pH estabilizado entre 7.20 y 7.30 y una conductividad eléctrica que osciló entre 742 y 794 µS/cm. En cuanto a la carga mineral, los Sólidos Totales Disueltos (STD) se situaron en el rango de 389 a 426 ppm, mientras que los cloruros y la dureza se mantuvieron controlados

en niveles de 60-67 mg/L y 207-225 ppm, respectivamente.

Tabla 9.

Ingreso al equipo de ósmosis inversa 100 gal/día

Parámetro	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
pH	7.65	7.75	7.72	7.68
Conductividad (µS/cm)	742	720	762	794
STD (ppm)	400	389	399	400
Cloruros (ppm)	60	59	62	61
Dureza (ppm)	225	207	210	214

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos tras la etapa de ósmosis inversa, detallados en la Tabla 10, demuestran una notable estabilidad en los parámetros físico-químicos del permeado. Se observó que el pH del permeado se mantuvo estable dentro del rango de 7.20 a 7.30 durante las cuatro semanas de monitoreo, mientras que la conductividad eléctrica osciló entre 190 y 207 µS/cm. En cuanto a la carga mineral, los Sólidos Totales Disueltos (STD) se situaron entre 103 y 112 ppm, con una concentración de cloruros reducida a niveles de 19-21 mg/L y una dureza final controlada entre 57 y 61 ppm.

Tabla 10.

Salida del equipo de ósmosis inversa 100 gal/día

Parámetro	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
pH	7.30	7.20	7.26	7.24
Conductividad (µS/cm)	202	196	190	207
STD (ppm)	109	106	103	112
Cloruros (ppm)	19	19	19	21
Dureza (ppm)	57	61	57	57

Fuente: Elaboración propia.

4.2. TRATAMIENTO DEL AGUA CUYA FUENTE ES EL POZO

El sistema evaluado considera el tratamiento de agua de pozo mediante ósmosis inversa con la finalidad de mejorar la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la

elaboración de destilados.

El ciclo inicia con la desinfección del agua de pozo mediante la dosificación automatizada de cloro, enviando el recurso a un tanque de almacenamiento de 25 m^3 con un caudal operativo de 80 m^3/h (A). Como etapa de pretratamiento, se implementa un sistema de ajuste químico con NaOH – HCl y membranas de auto regeneración, logrando reducir la dureza inicial de 300 ppm a 150 ppm. Posteriormente, el afluente atraviesa una unidad de desmineralización para la remoción de sólidos remanentes. Dado que el permeado de la ósmosis inversa supera los estándares convencionales de potabilidad en cuanto a salinidad, se realiza una mezcla controlada para estabilizar el producto final por debajo de las 150 ppm de TDS, garantizando el cumplimiento integral de los parámetros normativos.

Antes de que el flujo ingrese a los módulos de ósmosis inversa, se somete a una filtración de seguridad mediante cartuchos de 5 micras para eliminar cualquier residuo sólido remanente. En esta etapa, el acondicionamiento químico es crítico: se emplea una dosificación automatizada de metabisulfito de sodio para neutralizar el cloro residual y salvaguardar la integridad de las membranas. Asimismo, se integra un agente antiincrustante diseñado para inhibir la precipitación de sales minerales, asegurando así la continuidad operativa y la vida útil del sistema.

Como etapa final del proceso, se determinó realizar una mezcla técnica entre el agua filtrada y el agua de alimentación, consolidando un caudal operativo de 1.2 m^3/h (E). Para garantizar la inocuidad del recurso en la línea de consumo (0.3 m^3/h), se implementó la dosificación automatizada de hipoclorito de sodio mediante una bomba de inyección, actuando como agente desinfectante para la preservación del fluido hasta su almacenamiento. La caracterización físico-química detallada de cada corriente de este sistema se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 11.

Resultado de análisis de agua de linea (A), corriente de agua (B), mezcla (C), agua osmotizada (D), agua potable (E) y rechazo (F)

Parámetros	A Agua de Pozo	B Corriente de Agua	C Mezcla	D Agua Producto Osmosis Inversa	E Agua Potable	F Rechazo	OBS	Norma Agua Potable
Aluminio (mg/L)	0.555 ± 0.155	0.02	-	0	0.007	-	Cumple	0.2
Arsénico (mg/L)	0.00183 ± 0.00038	0.008	-	0	0.003	-	Cumple	0.01
Boro (mg/L)	0.348 ± 0.073	0.368	-	0.046	0.185	-	Cumple	1.5
Calcio (mg/L)	72.204 ± 18.773	89.5	-	2	32.357	-	Cumple	ND
Cloruro (mg/L)	-	432	-	15	159.673	-	Cumple	250
Cromo (mg/L)	<0.0003	0.004	-	0	0.001	-	Cumple	0.05
Fluoruro (mg/L)	-	0.32	-	0	0.111	-	Cumple	1
Hierro (mg/L)	0.7164 ± 0.1648	0.16	-	0	0.056	-	Cumple	0.3
Magnesio (mg/L)	31.733 ± 7.933	21.51	-	1	8.116	-	Cumple	ND
Nitrato (mg/L)	-	0.4	-	0.122	0.218	-	Cumple	50
Sodio (mg/L)	511.552 ± 107.426	548	-	10	196.653	-	Cumple	200
Sulfato (mg/L)	-	330	-	5	117.755	-	Cumple	250
pH	7.54	7.99	-	5.700	7.200	-	Cumple	6.5-8.5
TDS (mg/L)	3252 ± 260	1500	-	15.000	495.510	-	Cumple	ND
Dureza (mg/L)	269.4 ± 13.5	312.16	-	9.11	114.25	-	Cumple	500

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos A (agua de pozo) y B (corriente de agua) representan la composición hidroquímica natural del recurso hídrico antes del tratamiento por ósmosis inversa. Como se observa en la Tabla 11, estas aguas presentan concentraciones relativamente elevadas de sólidos disueltos totales (TDS), dureza, sodio, calcio, magnesio, cloruros y sulfatos, características asociadas a la interacción del agua con las formaciones geológicas del acuífero.

En el agua de pozo (A) se registraron concentraciones promedio de calcio de 72.20 mg/L, magnesio de 31.73 mg/L, sodio de 511.55 mg/L, hierro de 0.716 mg/L y una dureza de 269.40 mg/L. Por su parte, la corriente de agua (B) presentó valores de calcio de 89.50 mg/L, magnesio de 21.51 mg/L, sodio de 548 mg/L, cloruros de 432 mg/L, sulfatos de 330 mg/L y una dureza de 312.16 mg/L, siendo este último el valor más alto registrado para este parámetro.

El pH medido en los puntos A y B fue de 7.54 y 7.99, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango establecido para agua destinada al consumo humano (6.5–8.5), evidenciando una condición ligeramente alcalina propia de aguas subterráneas.

Respecto a la dureza, este parámetro está directamente relacionado con la presencia de calcio y magnesio disueltos. Los resultados obtenidos muestran una reducción significativa después del tratamiento por ósmosis inversa, alcanzándose una dureza de 9.11 mg/L en el agua producto (D) y de 114.25 mg/L en el agua potable final (E). Esta disminución confirma la eficiencia del sistema en la remoción de sales responsables de la dureza.

De igual manera, los sólidos disueltos totales disminuyeron desde 3252 mg/L en el agua de pozo (A) y 1500 mg/L en la corriente de agua (B) hasta 15 mg/L en el agua producto de ósmosis inversa (D), evidenciando una elevada capacidad de remoción de sólidos por parte de la membrana. En el agua potable final (E) se registró un valor de 495.51 mg/L, manteniéndose dentro de rangos aceptables para consumo.

La concentración de cloruros también mostró una reducción importante, pasando de 432 mg/L en el punto B a 15 mg/L en el permeado de ósmosis (D) y 159.67 mg/L en el agua potable (E). Aunque el valor inicial supera el límite de referencia de 250 mg/L, el agua tratada cumple con dicho parámetro.

En relación con el fluoruro, se registraron concentraciones de 0 mg/L en el punto D y 0.111 mg/L en el punto E, valores inferiores al límite máximo permisible de 1 mg/L. Asimismo, los nitratos presentaron concentraciones de 0.122 mg/L en el agua producto (D) y 0.218 mg/L en el agua potable (E), muy por debajo del límite de 50 mg/L establecido para agua destinada al consumo humano.

Los metales evaluados mostraron concentraciones dentro de los límites normativos. En el agua potable (E), el aluminio alcanzó 0.007 mg/L frente al límite de 0.2 mg/L; el arsénico registró 0.003 mg/L frente al límite de 0.01 mg/L; el cromo presentó 0.001 mg/L frente al límite de 0.05 mg/L; y el hierro alcanzó 0.056 mg/L frente al límite de 0.3 mg/L. Estos resultados evidencian que el tratamiento aplicado permite obtener un agua que cumple con los requisitos de calidad establecidos para consumo humano.

En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que el sistema de ósmosis inversa reduce significativamente la concentración de sales disueltas, dureza, cloruros y diversos elementos químicos presentes en el agua de origen, permitiendo obtener un agua tratada que cumple con los límites establecidos en la normativa peruana para agua potable y que resulta adecuada para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. DISCUSIÓN

5.1.1. Resultados Científicos de análisis físico químico y microbiológico del agua

Tras contrastar los resultados analíticos con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el D.S. N.° 002-2008-MINAM, se constató que las concentraciones de los elementos evaluados en las distintas etapas del proceso se encuentran dentro de los límites establecidos para la Categoría 1: A3. En consecuencia, se valida la viabilidad técnica del sistema de ósmosis inversa para el tratamiento del agua de pozo, permitiendo obtener un recurso de mejor calidad para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.

5.1.2. Resultados del análisis del agua mediante el proceso de Osmosis Inversa

Este sistema de purificación destaca por su alta eficiencia en la retención de contaminantes, logrando eliminar hasta un 99% de las sales disueltas y una fracción significativa de los sólidos en suspensión. Gracias a esta capacidad de filtración selectiva, el tratamiento aplicado al agua de pozo permite obtener un efluente de calidad potable, garantizando la eliminación de impurezas que comprometen la pureza del recurso.

5.1.3. Resultado previo de la conservación de las membranas antes de la osmosis inversa

El pretratamiento del agua de pozo mediante la dosificación de cloro y metabisulfito de sodio resulta fundamental para la preservación de las membranas de ósmosis inversa. No obstante, el reporte del Índice de Langelier (LSI) refleja una saturación del 73% respecto al equilibrio químico, lo cual advierte sobre una marcada tendencia incrustante. Esto sugiere que, de no ajustarse los parámetros, el recubrimiento mineral en las membranas continuará incrementándose, afectando la eficiencia del sistema.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La evaluación del sistema de ósmosis inversa permitió verificar su capacidad para mejorar la calidad del agua utilizada en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de sólidos disueltos, dureza, cloruros y otros compuestos presentes en el agua de alimentación, obteniéndose un agua de mejores características físico-químicas para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.
- Se realizó un estudio detallado de las principales necesidades y requerimientos que tienen el laboratorio de análisis de procesos químicos en función del tratamiento por osmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados que se producen en ella. Se determinó que la calidad del agua de alimentación influye directamente en el desempeño del sistema de ósmosis inversa y en la calidad final del agua tratada, siendo necesario controlar parámetros como conductividad, sólidos disueltos totales, cloruros y dureza.
- Se verificó que la membrana de ósmosis inversa presentó una elevada eficiencia en la remoción de sales y compuestos disueltos, permitiendo una reducción significativa de los parámetros evaluados en comparación con el agua de alimentación.
- Se comprobó que el pretratamiento aplicado contribuye a proteger las membranas de ósmosis inversa, favoreciendo la estabilidad operativa del sistema y reduciendo los riesgos asociados a incrustaciones y ensuciamiento.
- Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción significativa de los sólidos disueltos totales (TDS), pasando de valores elevados en el agua de alimentación a concentraciones considerablemente menores en el agua producto de ósmosis inversa, confirmando la eficiencia del sistema en la remoción de sales disueltas.

- La calidad del agua tratada cumplió con los parámetros establecidos para agua potable en los indicadores evaluados, demostrando que el sistema de ósmosis inversa constituye una alternativa técnicamente viable para el acondicionamiento del agua utilizada en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos.
- La comparación entre los parámetros de ingreso y salida del sistema permitió comprobar que la ósmosis inversa contribuye de manera efectiva a la reducción de dureza, cloruros, conductividad eléctrica y otros compuestos presentes en el agua de pozo, mejorando sus características físico-químicas para aplicaciones donde se requiere agua de mayor pureza

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un programa periódico de mantenimiento preventivo y monitoreo operativo que permita preservar el desempeño del sistema de ósmosis inversa y prolongar la vida útil de sus componentes.
- El objetivo de este estudio es ajustar bien los procesos previos a la ósmosis inversa. Al optimizar el filtrado inicial, logramos proteger las membranas para que no se saturen ni se dañen rápido, lo que ayuda a ahorrar en repuestos y mantenimiento. Mediante un acondicionamiento adecuado del afluente, se busca prevenir su deterioro excesivo, garantizando así una mayor eficiencia operativa y la prolongación de su vida útil.
- Reutilizar el agua de rechazo del equipo de osmosis inversa, que es aproximadamente el 50 %, para que este se pueda utilizar los servicios.
- Más allá de la optimización operativa, esta investigación constituye un aporte relevante para la ingeniería aplicada al tratamiento de aguas industriales. Los hallazgos presentados ofrecen una base técnica sólida que trasciende la mejora de procesos convencionales, proponiendo soluciones adaptables a las exigencias del sector.
- Se recomienda realizar monitoreos periódicos de los parámetros físico-químicos del agua de alimentación y del agua producto, con la finalidad de verificar la estabilidad del sistema

y detectar oportunamente posibles variaciones en su desempeño.

- Se recomienda desarrollar investigaciones complementarias orientadas a evaluar el comportamiento del sistema frente a diferentes condiciones de operación y calidades de agua de alimentación, con el propósito de optimizar la eficiencia del proceso y ampliar su aplicación en otros procesos industriales

CAPÍTULO VI

FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Afgan, N., Darwish, M., & Carvalho, M. (1999). Sustainability assessment of desalination plants for water production. Desalination, 124, 19–31.
- Bertoni, D. (2009). Vulnerabilidades en la gestión del servicio de agua potable y/o corriente de Coronel Dorrego (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- Bukoski, M. (2008). Vulnerabilidades en la gestión del servicio de agua potable de la localidad de Oriente (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina.
- CapNet. (2008). Aspectos económicos en la gestión sostenible del agua: Manual de capacitación y guía para moderadores. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Caruso, M., Cifuentes, O., & Vaquero, M. (2010). Impacto del turismo sobre los servicios de agua corriente y desagües domiciliarios. Estudio de caso: Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires. En Congreso Latinoamericano de Investigación Turística. Montevideo, Uruguay.
- Castro de Esparza, M. (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. En Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. International Congress, México D.F., México.
- Cifuentes, O. (2000). Vulnerabilidad en la gestión del servicio de agua potable para la ciudad de Bahía Blanca (en el proceso de transformación del Estado) (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- Cifuentes, O. (2006). Apuntes de la cátedra de Ingeniería Sanitaria. Universidad

Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina.

- Codex Alimentarius Commission. (2001). CAC/RCP 48-2001. Código de prácticas de higiene para las aguas potables embotelladas/envasadas (distintas de las aguas minerales naturales). Roma, Italia: FAO/OMS.
- Codex Alimentarius Commission. (2001). CODEX STAN 227-2001. Norma general para las aguas potables embotelladas/envasadas (distintas de las aguas minerales naturales). Roma, Italia: FAO/OMS.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). CAC/RCP 1-1969, Rev. 4 (2003). Código internacional de prácticas recomendado: Principios generales de higiene de los alimentos. Roma, Italia: FAO/OMS.
- García Olmos, C. F. (2002). Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Oviedo, España.
- Guerrero Lagarreta, M. (1991). El agua. México D.F., México: Fondo de Cultura Económica.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). (s.f.). Normas técnicas peruanas aplicables a la calidad del agua y aguas envasadas. Lima, Perú: Autor.
- Kucera, J. (2010). Reverse osmosis: Industrial applications and processes. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- López, C. (2011). Planta embotelladora de agua mineral (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Económicas, Mendoza, Argentina.
- Semino, F. (2015). Producción de agua de mesa por ósmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Sobsey, M. (2002). Comparación de diferentes métodos de tratamiento del agua a nivel

del hogar. Cataluña, España.

6.2. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Alcocer Allaica, J. (2010). Recuperado el 08 de junio de 2014, de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/950/1/85T00168%20pdf

- Alejo Ramírez, D. (s.f.). Gestión de seguridad en carreteras. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 08 de junio de 2014, de http://es.scribd.com/doc/200873200/Alejo-Ramirez-Dennis-Gestion-Seguridad-Carreteras

- Ampac USA. (2000). Industrial reverse osmosis system. Recuperado el 10 de septiembre de 2010, de http://www.ampac1.com/heavy.htm

- Idrovo, C. (2010). Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucún. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf

- Infante, D. (2017). Carbón activo granular en la mejora de la calidad del agua potable. Recuperado de https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12672

- Instituto Nacional de la Calidad (INACAL). (2017). NTP 214.004:1984 (revisada el 2017). Agua de mesa. Requisitos (1.a ed.). Recuperado de https://aquananda.pe/wp-content/uploads/2024/06/NTP-214.004-AGUA-DE-MESA-Requesitos-aqua-ananada-lima-peru.pdf

- Lambin, S. (2009). Dirección de marketing: Gestión estratégica y operativa del mercado. Recuperado de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24766w/1a_marketing_estrategico.pdf

- Loayza, L., & Estrella, L. (2017). Propuesta de implementación de un sistema de ósmosis inversa para el abastecimiento de agua dulce para submarino. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/61094771127b2b40f785c4f64d1c65db9cf9583a

- Madril, J., & Llomitoa, C. (2018). Implementación de un sistema de tratamiento de agua de pozo mediante ósmosis inversa para la empresa de productos lácteos El Ganadero de la parroquia Pucayacu, cantón La Maná. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/2cef5a88ba8c4edbbbcfb4d679510f509e817ad1

- Martín, J. (2015). Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/3e11b668ba242bc8f0c4b5eaff2886df6004ab78

- Martínez, G., & Johanna, P. (2019). Evaluación técnico-financiera de la planta de potabilización de agua por ósmosis inversa para la implementación como servicio adicional de la empresa Bawer Company S.A.S. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/ee0be6109f8895d5ef13e8d7c50b3d3a58f58bcb

- Martínez, J. (2023). Plan de negocio para la creación de una empresa de producción y venta de agua ozonizada embotellada. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://vitela.javerianacali.edu.co/server/api/core/bitstreams/86fd4fd1-4cd5-48c1-91f6-e8180e1cdafa/content

- Martínez, S. (2017). Estudio de la minimización de la presencia de cloruros y sulfatos en el agua tratada de la EDAR del Valle del Vinalopó (Alicante). Recuperado de https://mediambient.gva.es/documents/163005665/163975683

- Mendoza, J. (2019). Cómo redactar una justificación de investigación: guía completa. Recuperado de https://edu.enlosoidos.com/como-redactar-una-justificacion-de-una-investigacion

- Mercé, R., & Sonia, D. (2007). Tecnología de membranas. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de http://upcommons.upc.edu

- Meza, C., & Pérez, L. (2011). Construcción y validación de un ablandador con resinas catiónicas para el agua de alimentación a la caldera del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química de la UNCP. Recuperado de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3696

- Pacheco, F. (2020). Análisis de la valoración de proyectos a través del método de opciones reales: aplicación a un proyecto real del sector minero-metalúrgico en el Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19158

- Piña, C. (2010). Desalación de agua de mar: efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://repositorio.unam.mx/contenidos/3496941

- Pure Aqua. (2011). Industrial reverse osmosis system. Recuperado el 10 de septiembre de 2010, de http://www.pure-aqua.com/reverse-osmosis-systems.html

- Ramírez, J. A. (1998). Optimización de una planta piloto experimental para la reutilización de aguas residuales urbanas. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/8e7899cd0d45e9bc74ddf7ad86d28be170cbc586

- Sánchez, J. (2023). Qué son las reservas de agua natural y artificial. Recuperado de https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-reservas-de-agua-natural-y-artificial

- Solís Castro, Y., Zúñiga Zúñiga, L. A., & Mora Alvarado, D. A. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Tecnología en Marcha, 31(1), 35-46. http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495

- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2023). Normas y documentos legales. Recuperado de http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web%28cambio%29/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf

- Tuset, S. (2021). La ósmosis inversa y sus diferentes aplicaciones. Condorchem Enviro Solutions. Recuperado de https://condorchem.com/es/blog/la-osmosis-inversa-y-sus-diferentes-aplicaciones

- Universidad de Colonia. (s.f.). Enfoques de investigación. Recuperado de https://recursos.ucol.mx/tesis/investigacion.php

- Van, J. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf

- Vanegas, E. (2023). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable con ósmosis inversa. Recuperado de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/34332/1/VanegasEdwin_2023_PlantaosmosisMembrana.pdf

- Valle, H. (2021). Análisis de la calidad de tres métodos de potabilización de agua de mesa en la presentación de 20 litros en la ciudad de Piura. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38247

- Vargas, G. (2021). Instalación de una planta embotelladora de agua purificada para aumentar ingresos de la empresa GLP Chalpón Servicios Generales S.A.C. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12423/5043

- Vásquez, C. (2020). Diseño de una potabilizadora para el tratamiento de agua con alto contenido salino, nitratos y herbicidas para una población de 20,000 habitantes. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/147271

- Water Solutions. (2023). Manual técnico de las membranas de ósmosis inversa FilmTec. Recuperado de https://www.dupont.es/content/dam/dupont/amer/us/en/water-solutions/public/documents/es/RO-NF-FilmTec-Manual45-D01504-es.pdf

- Yepes, R. (2017). Descripción del proceso de potabilización del agua en una planta de la ciudad de Cali. Recuperado de https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4168

Anexo 1:
Matriz de Consistencia

"EVALUACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS DESTILADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE PROCESOS QUÍMICOS DE LA FIQyM – HUACHO 2025"

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODOS/TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Problema general: ¿Cómo influye la aplicación de la ósmosis inversa en la mejora de la calidad del agua utilizada en la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM? **Problemas específicos:** ¿Cómo influye la eficiencia de la membrana de ósmosis inversa en la mejora de la calidad de los destilados? ¿Cómo influye el tratamiento previo del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados? ¿Cómo influye la identificación de los impactos ambientales asociados al proyecto en la calidad de los destilados? ¿Cómo influye la composición mineral del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados?	**Objetivo General:** Evaluar la aplicación de la ósmosis inversa para mejorar la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM. **Objetivos específicos:** Determinar la influencia de la eficiencia de la membrana en la ósmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados. Determinar la influencia del tratamiento previo del agua de alimentación en la ósmosis inversa para mejorar la calidad de los destilados. Identificar los impactos y las externalidades ambientales asociados al proyecto. Determinar la influencia de la composición mineral del agua de alimentación en la mejora de la calidad de los destilados.	**Hipótesis General:** La aplicación de la ósmosis inversa mejora la calidad del agua utilizada en procesos relacionados con la elaboración de destilados en el Laboratorio de Análisis de Procesos Químicos de la FIQyM. **Hipótesis específicas** La eficiencia de la membrana de ósmosis inversa influye en la mejora de la calidad de los destilados. El tratamiento previo del agua de alimentación influye en la mejora de la calidad de los destilados. La identificación de los impactos ambientales asociados al proyecto permite evaluar su influencia en la calidad de los destilados. La composición mineral del agua de alimentación influye en la mejora de la calidad de los destilados.	**Variables** **Variable Independiente (X):** Evaluación de la ósmosis inversa. **Indicadores (X)** Eficiente Eficacia **Variable Dependiente (Y):** Calidad del agua para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados. **Indicadores (Y):** Análisis Sensorial	**Tipo de investigación:** Aplicada. **Diseño de investigación:** Experimental. **Técnicas:** Muestreo de agua Observación directa. Análisis fisicoquímico. Análisis microbiológico.	Ficha de registro de datos. Formatos de control y monitoreo. pH-metro. Medidor TDS. Informes de laboratorio.

Anexo 2:
Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Sistema de Ósmosis Inversa (X)	Proceso de separación mediante membranas semipermeables que utiliza presión para remover sales disueltas, minerales y otros contaminantes presentes en el agua.	Sistema de tratamiento evaluado mediante la comparación de los parámetros físico-químicos del agua antes y después del proceso de ósmosis inversa, determinando su capacidad de remoción de contaminantes y mejora de la calidad del agua.	Eficiencia de remoción	Reducción de STD (%); Reducción de cloruros (%); Reducción de dureza (%)
			Desempeño de la membrana	Conductividad del permeado (µS/cm); Calidad del agua producida; Estabilidad operativa del sistema
Calidad del Agua para la Elaboración de Destilados (Y)	Conjunto de características físico-químicas que determinan la aptitud del agua para su utilización en procesos relacionados con la elaboración de destilados.	Se determina mediante la evaluación de parámetros físico-químicos del agua tratada obtenida mediante ósmosis inversa y su comparación con el agua de alimentación.	Características físico-químicas	pH; Conductividad eléctrica; STD; Cloruros; Dureza total
			Calidad del agua tratada	Cumplimiento de parámetros de calidad establecidos; Porcentaje de remoción de contaminantes