

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<small>Documento</small> <b>F-AC-DBL-007</b>	<small>Código</small> <b>08-07-2021</b>	<small>Fecha</small> <b>08-07-2021</b>
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<small>Dependencia</small>	<small>Aprobado</small> <b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<small>Pág.</small> <b>1(100)</b>

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Cesar Augusto Barrera Reslen José Agustín Echavez Zuleta		
<b>FACULTAD</b>	Facultad de Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería Civil		
<b>DIRECTOR</b>	María Angélica Álvarez Bayona		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Comparación Del Tratamiento De Agua Potable De La Planta De Manaure Cesar Con Plantas De Latinoamérica Que Emplean El Método De Tratamiento De Osmosis Inversa		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Comparison of Drinking Water Treatment at Manaure Cesar Plant with Latin American Plants Using the Reverse Osmosis Treatment Method		
<b>RESUMEN</b>			
<p>En la actualidad la potabilización del agua es una de las necesidades primordiales de la humanidad, por ende, se estudian los diferentes tipos de procesos de potabilización empleados en Colombia y Latinoamérica, realizando un análisis comparativo al implementar el proceso de Osmosis Inversa que es la tecnología de punta que se implementa a nivel mundial para suministrar agua de alta pureza propiciando mejores condiciones de salud a la humanidad.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>At present, water purification is one of the primary needs of humanity, therefore, the different types of drinking processes used in Colombia and Latin America are studied, Performing a comparative analysis to implement the process of Reverse Osmosis which is the cutting-edge technology that is implemented worldwide to provide high purity water providing better health conditions to humanity.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Osmosis Inversa, Potabilización, Planta de Tratamiento de Agua Potable, Desinfección		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Reverse Osmosis, Drinking Water Treatment Plant, Disinfection		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS:</b> 98	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:</b> 16	<b>CD-ROM:</b>



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552  
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88  
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co



**Comparación del tratamiento de agua potable de la planta de Manaure Cesar con plantas de latinoamérica que emplean el método de tratamiento de osmosis inversa**

**Cesar Augusto Barrera Reslen**

**José Agustín Echavez Zuleta**

**Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería civil**

**MGS. María Angélica Álvarez Bayona**

**8 de noviembre del 2022**

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y por haberme permitido llegar a esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, mis hermanos y mi familia por ser los pilares más fundamentales e importantes en este proceso, gracias por demostrarme siempre su cariño y porque siempre fueron mi apoyo incondicional.

A mis abuelos (ELDA TERESA † & GUSTAVO PAULINO †), que donde quiera que estén me guían y siempre quisieron que este momento llegara para que estuvieran felices, así como yo lo estoy ahora.

A mis amigos y todas aquellas personas que confiaron en mí y en este proceso, gracias por impulsarme cada día a ser mejor persona, gracias infinitas gracias a todos los que aportaron su granito de arena para que mi sueño de niño hoy se haga realidad.

**JOSE AGUSTIN ECHAVEZ ZULETA.**

### **Dedicatoria**

Principalmente a Dios por darme la fuerza espiritual y todas sus bendiciones que diariamente recibo.

A mi mamá, mi papá y mi abuela quienes amo con mi vida, gracias por ser un ejemplo de lucha y perseverancia ante las grandes dificultades que la vida nos ha puesto en el camino.

A mi mujer Yurani y mi hijo César III, quienes han sido la razón y el motivo para salir adelante profesionalmente y a quienes amo inmensamente.

A mis hermanos por ser mi apoyo en el transcurso de mi vida.

**CESAR AUGUSTO BARRERA RESLEN**

## **Agradecimientos**

A nuestra directora MSc. María Angelica Alvarez Bayona, por direccionar cada paso que dábamos, gracias por todo su apoyo, por todo su profesionalismo y por toda su entrega y dedicación que tuvo para con nosotros en el transcurso de la investigación.

A todos los profesores que pasaron por nuestra etapa de pregrado, gracias por aportar todos sus conocimientos para salir adelante y superarnos personalmente.

Agradecemos a nuestra alma mater la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por aportarnos los conocimientos apropiados y todas las herramientas necesarias para la realización de nuestro pregrado.

**JOSÉ AGUSTIN ECHAVEZ ZULETA**

**CESAR AUGUSTO BARRERA RESLEN**

## Índice

Capítulo 1. Generalidades de las (PTAP) plantas de tratamiento de agua potable.....	3
1.1 Importancia del uso de una PTAP.....	7
1.2 Esquema de funcionamiento de una ptat no convencional .....	10
1.3 Sistema de tratamiento de agua potable no convencional .....	12
1.3.1. Desinfección por ebullición .....	13
1.3.2 Desinfección con cloro .....	13
1.3.3 Uso de filtros purificadores de agua .....	13
1.3.4 Purificación por ozono .....	14
1.3.5 Desinfección por rayos ultravioleta UV .....	14
1.3.6 Purificación por osmosis inversa .....	15
1.4 Etapas del proceso de potabilización .....	17
1.4.1 La pre-cloración .....	17
1.4.2 Coagulación .....	17
1.4.3 Floculación.....	18
1.4.4 Decantación.....	18
1.4.5 Filtración .....	19
1.4.6 Desinfección .....	19
Capítulo 2. Tratamiento De Potabilización Del Agua Por Ósmosis Inversa .....	20
2.1. Inicios de la Ósmosis Inversa.....	21
2.2. Características del Sistema de Osmosis Inversa .....	21
2.2.1. Pre-tratamiento.....	24
2.2.2. Membrana de OI .....	27
2.3. Acontecimientos Importantes.....	28
2.4. La Ósmosis Inversa en el Contexto Internacional .....	29
2.5 La ósmosis Inversa en el contexto Nacional .....	31
2.6 El Sistema Convencional y el Sistema de OI.....	33
Capítulo 3. PTAP que implementan el proceso de osmosis inversa en Latinoamérica. ....	45
3.1. Caso de Chile .....	45
3.2. Caso de Argentina.....	46
3.3. Caso de Perú .....	47
3.4. Caso de Ecuador .....	48
3.5. Caso de México.....	50

Capítulo 4. Análisis comparativo entre el proceso de potabilización de osmosis inversa y el utilizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Manaure, Cesar. ....	54
4.1. Descripción de los procesos realizados en la planta de Manaure, Cesar .....	54
4.2. Componentes de la Planta de tratamiento de agua potable.....	58
4.3. Tratamiento secundario.....	68
4.4. Ventajas del tratamiento secundario .....	71
4.5. Desventajas del tratamiento secundario.....	71
4.6. Ventajas del tratamiento por ósmosis inversa.....	72
4.7. Desventajas del tratamiento por ósmosis inversa .....	73
Conclusiones .....	76
Recomendaciones .....	79

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Procesos para potabilización del agua</i> .....	1
<b>Figura 2.</b> <i>Proceso de ósmosis inversa.</i> .....	14
<b>Figura 3.</b> <i>Sistema de ósmosis inversa</i> .....	18
<b>Figura 4.</b> <i>Comparaciones de membrana acorde al tamaño de sus poros.</i> .....	20
<b>Figura 5.</b> <i>Sistema de Potabilización de Ósmosis Inversa</i> .....	21
<b>Figura 6.</b> <i>Filtro de Sedimentos</i> .....	22
<b>Figura 7.</b> <i>Filtro de arena.</i> .....	23
<b>Figura 8.</b> <i>Filtro de Carbón Activado</i> .....	24
<b>Figura 9.</b> <i>Suavizador</i> .....	25
<b>Figura 10.</b> <i>Membrana de ósmosis inversa</i> .....	26
<b>Figura 11.</b> <i>Imágenes de la bocatoma o captación</i> .....	54
<b>Figura 12.</b> <i>Imágenes de la bocatoma o captación</i> .....	55
<b>Figura 13.</b> <i>Estimación del índice sobre el Río Manaure, en periodo de lluvias</i> .....	60
<b>Figura 14.</b> <i>Estimación del índice sobre el Río Manaure, en periodo de estiaje 2011.</i> .....	60
<b>Figura 15.</b> <i>Distribución del nivel de riesgo en Cesar de acuerdo con el IRCA</i> .....	61
<b>Figura 16.</b> <i>Resultados IRCA en Cesar 2015.</i> .....	62

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Calidad de la Fuente</i> .....	1
<b>Tabla 2.</b> <i>Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico, mg/L</i> .....	3
<b>Tabla 3.</b> <i>Procesos de purificación del agua</i> .....	4
<b>Tabla 4.</b> <i>Características físicas del agua potable.</i> .....	33
<b>Tabla 5.</b> <i>Características químicas del agua potable.</i> .....	33
<b>Tabla 6.</b> <i>Características microbiológicas del agua potable.</i> .....	34
<b>Tabla 7.</b> <i>Parámetros físico-químicos del agua tratada por ósmosis inversa en el Valle del Yaqui, Sonora, México.</i> .....	35
<b>Tabla 8</b> <i>Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de Chuina, Morales-San Martín</i> .....	36
<b>Tabla 9.</b> <i>Análisis químicos al agua proveniente de la industria minera en Buriticá, Antioquia</i> ..	37
<b>Tabla 10</b> <i>Parámetros fisicoquímicos al agua de la PTAP El Dorado</i> .....	38
<b>Tabla 11</b> <i>Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la PTAP de Fómeque, Cundinamarca.</i> .....	39
<b>Tabla 12</b> <i>Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de la PTAP de Moniquirá, Boyacá</i> .....	40
<b>Tabla 13.</b> <i>Comparación del cumplimiento de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de los casos analizados.</i> .....	41
<b>Tabla 14.</b> <i>Informe IRCA consolidado mensual por municipi</i> .....	63
<b>Tabla 15.</b> <i>Comparación de ambos tratamientos.</i> .....	73

## Introducción

Se puede establecer que el agua tiene una característica esencial para garantizar para la supervivencia humana, por lo que el proceso de purificación es importante, debido a que actualmente la mayoría de las fuentes de agua que alimentan a los centros de población del mundo presentan niveles de contaminación que la hacen para consumir. Según UNICEF, aproximadamente 7-8 millones no se abastecen de fuentes que sean potables otros dos coma cinco millones carecen de infraestructura que permita la potabilización. (WHO y UNICEF, 2014).

La razón de esto es la falta de PTAP, que si bien están disponibles, no permite un nivel de desinfección, ya que no cuentan con tecnología adecuada para reducir el nivel de contaminación y brindar agua potable óptima. Por ello, se han realizado muchos estudios que han relacionado posibles efectos en la salud con la contaminación del agua, tales como: efectos gastrointestinales, trastornos reproductivos, trastornos del sistema inmunológico, trastornos endocrinos, etc.

Según el INS en el 2019, con referencia al IRCA, se pudo establecer que, de los 1102 municipios de Colombia, las DTS (Direcciones Territoriales de Salud) presentaron información estadística del 97.6 % (1076), de los cuales, el 20.6 % (222) riesgo bajo, el 31.6 % (340) no presentaron riesgos, el 22.7% (245) riesgo alto, 23.3% (251) presentaron un riesgo medio y el 1.8% (19) presentaron un riesgo de nivel inviable sanitariamente. Siendo una alarma inminente ya que 24.5 % de los municipios de Colombia se encuentran entre un riesgo alto e inviable sanitariamente. Es de resaltar que, en el departamento del Cesar, el 100% (25) de los municipios del Cesar presentaron muestras en el SIVICAP totalizando 687 y un consolidado de IRCA del 12.3% clasificando como riesgo bajo, de estas el 89.8% (617) poseían agua tratada y el 10.2% (70) agua sin tratar. El 48% (12)

de los municipios mostraron agua sin riesgo y el 8% (2) con nivel inviable sanitariamente (Instituto Nacional de Salud, 2019).

Cabe resaltar que el municipio de Manaure, posee un 37,5% de la escala de 0 a 100 del IRCA, teniendo falencias en el proceso de potabilización precisamente por fallas desinfectando el agua y en el proceso del sistema de tratamiento. Faltando con los parámetros establecidos en la resolución 2115 del 2007. (Baute,2021)

Sin embargo, dentro de las características físicas, químicas y microbiológicas utilizadas para calcular el IRCA de acuerdo con la Res. 2115 de 2007, no se encuentran contemplados todos los contaminantes que pueden sobresaltar la calidad del agua como lo son, herbicidas, pesticidas, productos para el cuidado personal, medicamentos, entre otros.

Ante esta problemática, como alternativa de optimización tecnológica, se propone un proceso de ósmosis inversa, el cual consta de una serie de filtros, cuyo componente principal es una membrana auto limpiante que se auto limpia hasta en un 99% PTAP, agua potable, también es una alternativa muy utilizada en la potabilización del agua.

## Capítulo 1. Generalidades de las (PTAP) plantas de tratamiento de agua potable.

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable son una recopilación de procesos y sistemas ingenieriles que tratan el agua de tal forma que sea apta para consumir. (SPENA GROUP, 2016). Básicamente, se establece que son estructuras cuyo fin es hacer un tratamiento optimo al agua de una determinada fuente, siendo apta para el consumo humano. (Acuatecnica, 2016). En la Figura 1 observa el modelo de una PTAP que utiliza una serie de procesos para la purificación del agua.

**Figura 1.**

*Procesos para potabilización del agua*



*Nota.* Se muestra en el esquema el sistema de potabilización del agua. Fuente. AEAS, 2022.

Las PTAPs constituyen procesos a través de los cuales se purifica el agua para ser apta al consumo humano, dichas aguas son sometidas a una serie de métodos encaminados a eliminar sustancias y reactivos que la pueden llegar a contaminar. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2022)

Los tratamientos de agua potable se relacionan en función de la selección del proceso de rendimiento- tratamiento y la calidad del agua cruda. Con base al (RAS) Colombia la calidad de

la captación debe caracterizarse de una manera completa, lo más posible con el fin de identificar el tipo de tratamiento que requiere (RAS, 2000). En la Tabla 1 se puede observar el nivel de calidad de la fuente según la concentración teniendo en cuenta la normativa y los parámetros establecidos a nivel nacional, además del tipo de tratamiento requerido.

**Tabla 1.**

*Calidad de la Fuente*

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma Técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente Regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
<b>DBO 5 días</b>	3630					
Promedio mensual mg/L			<=1.5	1.5 a 2.5	2.5 a 4	>4
Máximo diario mg/L			1 a 3	3 a 4	4 a 6	>6
<b>Coliformes Totales</b> (NMP/100 ml)						
Promedio mensual		D-3870	0 a 50	50 a 5000	50 a 5000	>5000
<b>Oxígeno disuelto</b> mg/L	4705	D-888	>= 4	>=4	>=4	<4
<b>PH promedio</b>	3651	D 1293	6.0 a 8.5	5.0 a 9.0	3.8 a 10.5	
<b>Turbiedad (UNT)</b>	4707	D 1889	<2	2 a 40	40 a 150	>=150
<b>Color Verdadero</b> (UPC)			<10	10 a 20	20 a 40	>=40
<b>Gusto y Olor</b>		D1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
<b>Cloruros (mg/L-Cl)</b>		D512	<50	50 a 150	150 a 200	300
<b>Fluoruros (mg/L-F)</b>		D1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
Necesita un Tratamiento Convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: literal C.7.4.3.3)	SI
Necesita unos Tratamientos Específicos			NO	NO	NO	SI
Procesos de Tratamientos Utilizados			(1)*Desinfección +Estabilización	(2)=Filtración lenta o Filtración Directa +(1)	(3)=Pretratamiento+[coagulación + Sedimentación+ Filtración Ráida] o [Filtración lenta Diversas Etapas ] +(1)	(4)=(3)+ Tratamientos específicos

*Nota.* En ausencia de Normas Técnicas Colombianas, los métodos de análisis deben hacerse de acuerdo a los métodos estándar: Standard Methods for the Examination of water and waste water (APHA, AWWA Y WPCF, 1995). Tomado del Título C del RAS 2000.

Los criterios que se deben tener en cuenta para establecer la confiabilidad de un método de análisis puede ser:

1. El método debe ser capaz de llegar a los límites de detección requeridos
2. El método debe ser capaz de suministrar los resultados con errores aleatorios y sistemáticos adecuadamente pequeños

De acuerdo con la información anterior, la selección de los procesos de tratamientos para la purificación del agua se realiza con base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que presenta el agua cruda.

Actualmente la normativa nacional vigente es el decreto 1594 de 1984 que en su capítulo 38 permite observar los parámetros establecidos a nivel nacional para el agua cruda que posteriormente va a ser tratada y hace énfasis que solo se requiere de un tratamiento convencional. En la tabla 2 se pueden observar estos parámetros medidos en mg/L.

**Tabla 2**

*Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico, mg/L*

<b>Parámetro</b>	<b>Requiere tratamiento convencional: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección</b>	<b>Requiere solo desinfección</b>
Amoníaco (como N)	1	1
Arsénico	0.05	0.05
Bario	1	1
Cadmio	0.01	0.01
Cianuro	0.2	0.2
Cinc	15	15
Cloruros	250	250
Cobre	1	1
Color (unidades)	75	20
Fenoles	0.002	0.002
Cromo hexavalente	0.05	0.05
Difenil policlorados	ND	ND
Mercurio	0.002	0.002
Nitratos (Como N)	10	10
Nitritos (Como N)	1	1
Ph (Unidades)	5 a 9	6,5 a 8,5
Plata	0.05	0.05
Plomo	0.05	0.05
Selenio	0.01	0.01
Sulfatos	400	400
SAAM	0.5	0.5
Turbiedad		10
Coliformes Totales		
NMP/100 mL	20000	1000
Coliformes fecales		
NMP/100 mL	2000	
ND= No Detectable		

*Nota.* Tomado del Libro Purificación del agua (Romero Rojas, 1999)

Sin embargo, debido a la calidad del agua de la fuente se deben realizar tratamientos preliminares que permitan realizar una purificación adecuada para el consumo, la Tabla 3 presenta los diferentes procesos utilizados.

**Tabla 3.**

*Procesos de purificación del agua*

<b>Proceso</b>	<b>Propósito</b>	<b>Referencia</b>
<b>Tratamiento Preliminar</b>		
Cribado	El cribado es la primera estación de tratamiento, tanto de aguas superficiales como residuales. Su finalidad es proteger la estructura aguas abajo contra objetos de gran tamaño que podrían crear obstrucciones en algunas de las unidades de la instalación, que podrían afectar negativamente a la eficacia de los procedimientos de tratamiento posteriores o dificultar su aplicación.	(LENNTECH, 2022)
Pretratamiento químico	Remoción de partículas que alteren la calidad del agua	(Romero Rojas, 1999)
Presedimentación	Esta etapa debe emplearse en la presencia de turbiedad del agua interfiera con el proceso convencional y la sedimentación simple.	(RAS, 2000)
Aforo	Es un sistema utilizado como medición del agua cruda	(Romero Rojas, 1999)
<b>Tratamiento Principal</b>		
Aireación	Mediante esta etapa se produce un contacto entre el aire y el agua con el propósito de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.	(RAS, 2000)
Coagulación/Floculación	Es un procedimiento necesario para la separación de partículas muy finas de origen coloidal que presentan gran estabilidad en el agua.	(Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)
Sedimentación	Proceso mediante el cual se remueven de sólidos sedimentables.	(Romero Rojas, 1999)
Ablandamiento	Eliminación de aspectos físicos de dureza presentes en el medio acuoso	(RAS, 2000)
Filtración	En este se logra quitar partículas coloidales y suspendidas del medio acuoso atravesando un medio poroso	(Romero Rojas, 1999)
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color.	(Díaz Delgado, y otros, 2003)
Estabilización	Evasiones de corrosión y incrustaciones	(Romero Rojas, 1999)

Fluoruración	Evita la proliferación de caries dentales	(Romero Rojas, 1999)
Desinfección	Eliminación de patógenos presentes en el medio acuoso	(RAS, 2000)

*Nota.* Tomado del Libro Purificación del agua (Romero Rojas, 1999)

Actualmente, la calidad del agua suministrada a una ciudad, se rige de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, donde se tienen en cuenta las características fisicoquímicas y microbiológicas, así como los valores máximos permisibles de sustancias nocivas para la vida de las personas. Sumado a lo anterior, presenta los parámetros necesarios para calcular el Índice de Riesgo (IRCA), el cual permite determinar el nivel de riesgo y las acciones que deben tomarse. (TERRITORIAL, 2007)

### **1.1 Importancia del uso de una PTAP**

El tratamiento del agua potable es un arte antiguo, mientras que el establecimiento de normas es relativamente nuevo. Desde hace muchos siglos, las personas han estado bebiendo agua y desarrollando formas de hacerla más segura para su consumo. Se han documentado formas de mejorar la calidad del agua desde el año 4000 a. C., por ejemplo, la coagulación mediante el alumbre se utilizó a principios del año 1500 a.C. y sigue siendo un proceso de tratamiento muy utilizado hoy en día (Tischler, 2007).

Muchas fuentes suelen tener agua de alta calidad, por lo cual que puede ser bombeada directamente para satisfacer cualquier necesidad designada, incluyendo el consumo humano, el uso industrial y el riego (Vesilind, 1982). Sin embargo, éste no es el caso en muchas regiones

con alta densidad de población o en las que predomina la agricultura. En estas situaciones, se utiliza un grado variable de tratamiento para el consumo humano.

Además de las actividades humanas y los procesos industriales, los procesos naturales como el contacto con la atmósfera, la superficie de la tierra y el movimiento sobre la superficie del suelo pueden añadir impurezas al agua (Vesilind, 1982). Este tipo de contaminación puede hacer que el agua resulte contaminada o que tenga mayores concentraciones de patógenos que provoquen graves complicaciones. Sea cual sea la situación, el agua debe ser tratada adecuadamente en función de las características del agua cruda.

De acuerdo con lo anterior, tanto las aguas superficiales como las subterráneas pueden estar contaminadas tanto por contaminaciones antropogénicas como naturales. Los contaminantes microbiológicos y químicos presentes en el agua de consumo pueden provocar efectos agudos y crónicos sobre la salud. La contaminación también puede afectar a las propiedades estéticas de los sistemas de agua. Los contaminantes incluyen:

Patógenos, organismos causantes de enfermedades que incluyen bacterias, amebas, virus y huevos y larvas de gusanos parásitos (Health, 2015).

Productos químicos nocivos procedentes de actividades humanas y residuos industriales, como pesticidas y fertilizantes (Yadav IC, 2015).

Sustancias químicas y minerales del entorno natural, como el arsénico, las sales comunes y los fluoruros. En Bangladesh, por ejemplo, 1,4 millones de pozos entubados tienen altos niveles de arsénico natural. (Islam, 2015).

Algunos contaminantes no perjudiciales pueden influir en el olor, el color, el sabor, y la turbidez del agua y hacerla inaceptable para el consumidor; sus ejemplos incluyen el zinc, el hierro, las partículas y el material húmico (Aschermann, 2016)

Una de las tareas más importantes es proporcionar agua potable al público en las comunidades y el diseño de los sistemas que abastecen de agua debe seguir las reglas de las ciencias de la ingeniería y también requiere conocimientos técnicos y experiencia práctica. El agua se trata de manera diferente en diferentes comunidades dependiendo del grado óptimo de pureza del agua que entra a la planta. Por ejemplo; el agua subterránea requiere menos tratamiento que el agua de lagos, ríos y arroyos.

Otro tema de gran importancia a nivel mundial es la escasez de agua, lo que ha llevado a la desinfección de agua teniendo en cuenta de agua de mar y salobre. La producción de agua potable mediante procesos de membrana es eficiente en términos de dinero y energía comparándolo son otros procesos. (Shivom, 2012)

La optimización del suministro de agua, de la gestión de los factores hídricos y del saneamiento puede impulsar el aumento del PIB de un país y aumentar en gran escala la disminución de la pobreza. Las fuentes de agua potable en los países que se están desarrollando

pueden ser desde aguas superficiales, aguas subterráneas, agua de manantial, agua salina, agua embotellada y agua de lluvia recogida. (Shakhawat, 2016). Actualmente, los esfuerzos por desarrollar métodos eficientes, económicos y tecnológicamente sólidos para producir agua potable limpia para los países en desarrollo han aumentado en todo el mundo. (Aniruddha & Pandit, 2015)

## **1.2 Esquema de funcionamiento de una ptat no convencional**

Para el óptimo funcionamiento de una Planta de tratamiento es importante tener presente aspectos como los diseños y estudios de los componentes del sistema, donde intervienen los prefiltros, floculadores, microtamices, trampa de grasas, aireadores, unidades de mezcla rápida, flotación, , estabilización, sedimentadores, filtración, desinfecciónadsorción sobre carbón activado, desmagnetización, un tanque de contacto, entre otros que hacen parte del proceso. (Hernández & Corredor, 2017).

Se llevan a cabo los siguientes procesos, según Hernández & Corredor (2017)

- Cribado; el cual consiste en remover los residuos a gran escala que pueden causar daño a la maquinaria de la planta.
- Presedimentación; el cual remueve la arena, el limo y la grava.
- Aireación: el cual remueve gases disueltos y olores, brindando oxígeno al agua.
- Coagulación; en este proceso las partículas se reúnen en masas pequeñas de peso específico superior al agua, este proceso usa: remoción de turbiedad y de color, la eliminación de bacterias, organismos patógenos, virus, sustancias que producen sabor, precipitados químicos y olor. Este proceso se da agregando un producto para que las partículas se reúnan.

Se usan tres mecanismos: sobresaturación de la concentración - adsorción – desestabilización y puente químico

- Floculación; en este proceso se crean sedimentables a partir de partículas desestabilizadoras, ocurre gracias a un mecanismo de formación de puentes químicos, consiguiendo las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico. Se diferencian en la floculación, la ortocinética; la cual es “inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas. (paletas, hélices).” (Hernández & Corredor, p. 28, 2017). Y la pericinetica por su lado, “es promovida internamente dentro del líquido por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquel (movimiento browniano).” (Hernández & Corredor, p. 28, 2017). Es así, que existen diversos tipos de floculadores, como el hidráulico, el de flujo vertical, el de flujo horizontal, y el Alabama.

- Sedimentación; Se emplea mediante una fuerza de gravedad para que las partículas se depositen en el fondo de un sedimentador, pero solo se sedimentan las partículas que tienen una densidad mayor a la del agua. Ocurre pues una remoción del color así como el de la turbiedad y se eliminan patógenos, bacterias, virus, sustancias que producen olor, sabor y precipitados químicos. Existen también varios tipos, como el sedimentador de flujo horizontal, el de flujo vertical y el de tasa alta.

- Filtración; en este proceso se elimina el material suspendido, medido como turbiedad, suelo, combinado por floc, metales oxidados y micro organismos, esta eliminación es necesaria ya que muchos microorganismos son resistentes a la desinfección, razón por la cual se

remueven a través de la filtración. Es más usado el filtro rápido por gravedad. Esta filtración costa de dos etapas, filtración y lavado. Según Hernández y Corredor (2017) Con un filtro de alta presión convencional, cuando los sólidos en suspensión (aglomeración) en el agua residual comienzan a aumentar, la etapa de filtración finaliza, y cuando la caída de presión es demasiado alta, el filtro no produce la cantidad de agua esperada.

El lavado se logra invirtiendo el flujo a través del filtro, utilizando suficiente flujo de agua para licuar el medio filtrante y lograr la fricción intergranular, y expulsando el material eliminado a través de los canales de lavado. Estos filtros se clasifican según la dirección del flujo, la fuerza impulsora, el tipo de lecho filtrante, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

### **1.3 Sistema de tratamiento de agua potable no convencional**

Los sistemas de tratamiento de agua potable no convencionales son aquellos que no se relacionan con una planta de tratamiento, sino que son tecnologías que tienen singularidades que hacen que se adapten a las necesidades que se requieran, por ello son versátiles, adaptables con bajo costo, por lo que son muy aceptadas. (Grisales, 2010) Razón por la cual se habla de métodos para purificar el agua, ya que algunas comunidades no cuentan con la infraestructura de una planta de tratamiento y el acceso al agua es esencial para la vida humana, se presentan pues a continuación algunos métodos para el tratamiento de agua potable.

### ***1.3.1. Desinfección por ebullición***

Aún si le agua está hirviendo de 15 a 30 minutos, no obstante, tiene la dificultad de tener concentraciones altas de minerales disueltos alta por la vaporización del agua. (Fan del agua, 2017). Esta es una forma muy sencilla y eficaz de eliminar esos microorganismos presentes en el agua que causan enfermedades, debe hervir a una temperatura de 100°C y enfriarse a temperatura ambiente, sin embargo, puede llegar a temperatura entre 55° C y 60°C. El agua queda con un sabor característico por lo que se recomienda agregar una pisco de sal por libro y debe cuidarse de no contaminarse de nuevo. (Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E, 2022)

### ***1.3.2 Desinfección con cloro***

Es un proceso muy común y es usado para reducir el porcentaje de contaminación que tiene el agua, la cantidad a agregar dependiendo de la concentración del cloro, seguidamente se espera una hora antes de ingerirla. (Fan del agua, 2017). Es importante antes de hacer esta desinfección, filtrar el agua antes para quitar los sedimentos o materia flotante. No obstante, es más recomendable hacer la desinfección con yodo y no con cloro a fin de matar organismos que causan enfermedades, aunque el cloro es más económico y fácil de adquirir. (Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E, 2022)

### ***1.3.3 Uso de filtros purificadores de agua***

Estos purificadores están elaborado de un material que tiene una superficie capaz de adsorber partículas pequeñas contaminantes. Estos filtros pueden ser de cerámica, que separan

materia sólida del líquido ya que tienen un poro muy fino. Se encuentra igualmente el purificador de carbón activado, el cual tiene agujeros microscópicos que tienen la función de capturar y romper las moléculas de los contaminantes, además de eliminar el cloro, sabores desagradables y malos olores. (Fan del agua, 2017).

Hay otros filtros de agua que son portátiles que eliminan agentes infecciosos de agua potable, pero la mayoría no eliminan eficazmente los virus, por lo que es necesaria una desinfección química después de la filtración. Tener en cuenta igualmente que según el tipo de filtro será el sabor del agua, por ello, este método es bueno combinado con otro. (Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E, 2022)

#### ***1.3.4 Purificación por ozono***

Se basa en que en el desgaste de por medio de un gas de los microorganismos sin dejar un residuo químico, mejorando el sabor, olor, aspecto y disminuye los sólidos en suspensión, eliminando virus, bacterias, y otros microorganismos. Sin embargo, resulta ser un poco costoso y necesita un mantenimiento constante, así como una instalación especial y energía. (Fan del agua, 2017).

#### ***1.3.5 Desinfección por rayos ultravioleta UV***

La luz UV es aquella invisible a los humanos, y esta funciona en el proceso de desinfección del agua, pues se somete a los virus y bacterias a longitudes de onda haciendo que sean incapaces de infectar y reproducirse. (Fan del agua, 2017). Para este método se requiere que

el agua este clara, ya que las partículas suspendidas pueden proteger los microorganismos contra los rayos UV. Se han creado para esta alternativa, aparatos de luz UV que actúan como baterías que dan una dosis medida y temporizada de UV y sirve para desinfectar pequeñas cantidades de agua, aunque son costosos y necesita de una fuente de energía. (Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E, 2022)

Se encuentra igualmente la irradiación UV por la luz solar, la cual puede mejorar la calidad microbiológica del agua, se usan botellas transparentes extendidas en un superficie oscura y se exponen a la luz solar durante cuatro horas, se inactiva debido a los rayos UV y el efecto térmico es sinérgico en cuanto a la desinfección solar de agua potable. (Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E, 2022).

### ***1.3.6 Purificación por osmosis inversa***

En este proceso se utiliza una membrana semipermeable la cual tiene la función de eliminar y separar los sólidos que estén en el agua, así como sustancias orgánicas, bacterias y virus. (Fan del agua, 2017). Este método existe desde 1950 y ha sido exitoso en la desalinización de agua, llegando a ser un proceso eficaz de purificación y muy utilizado en industrias. La osmosis inversa purifica el agua usando una membrana semipermeable para eliminar iones del agua y remover minerales a fin de quitar partículas más grandes. (WATERSTATION, 2021)

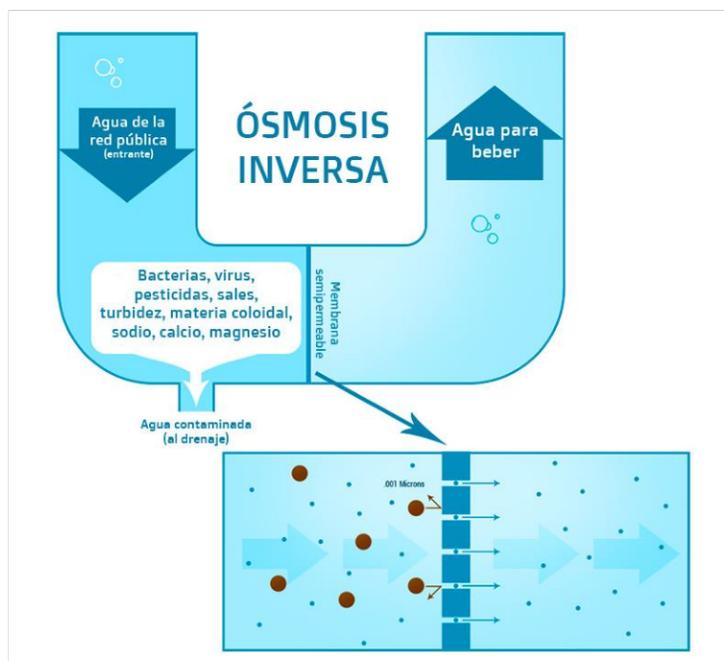
Su funcionamiento se basa en aplicar presión al agua empujándola por medio de una membrana semipermeable para filtrarla, esta ayuda a que las moléculas o iones pasen por medio de ella por difusión, pero este paso depende de la concentración, la presión osmótica, la

temperatura y el gradiente electroquímico de las moléculas o solutos, así como de la permeabilidad de la membrana para cada soluto. (WATERSTATION, 2021)

Actualmente, la ósmosis inversa elimina varios tipos de iones y moléculas, así como bacterias, es usada en procesos industriales y producción de agua potable, es así, que ya existen purificadores de agua con sistema de ósmosis inversa, es muy usado para la purificar agua de mar, quitando la sal y otros materiales. Se lleva a cabo pues, un proceso contrario de la ósmosis convencional. (WATERSTATION, 2021). En la figura 2 se relaciona el proceso que se lleva a cabo con la ósmosis inversa.

## Figura 2

*Proceso de ósmosis inversa.*



*Nota.* Se muestra en la imagen el proceso que realiza la ósmosis inversa. Fuente. WATERSTATION, (2021).

## **1.4 Etapas del proceso de potabilización**

### ***1.4.1 La pre-cloración***

Este es un proceso en el que se acondiciona el agua para las siguientes etapas, y son más eficientes, por lo que antes de la cloración, consiste en agregar un agente que origina formas activas de cloro entrando a la planta de tratamiento de agua, favoreciendo así la coagulación. . y se eliminan reduciendo la materia inorgánica, los contaminantes, las algas y los microorganismos del lodo en los filtros de arena. Sin embargo, una de las desventajas es el requerimiento de cloro, que el agua necesita antes que las otras etapas. (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, CIDTA, 2021)

### ***1.4.2 Coagulación***

En este proceso se neutralizan los sólidos en el agua, dado que las partículas generalmente tienen carga negativa y se agregan al proceso químicos o coagulantes con carga positiva para neutralizar la carga. Cambian la carga de los microorganismos, haciendo que se acumulen en el proceso de neutralización de la carga. Esto ayuda a que las partículas formen familias que luego se filtran.. (LMI ,2022).

Mencionar que existen coagulante orgánicos (conocidos como polímeros, usados más en los procesos de tratamiento de agua) e inorgánicos (o sales inorgánicas), la cantidad y el tipo depende de la variedad de condiciones del proceso. Este proceso también usa fluidos de mayor viscosidad del agua purificada, por lo que el proceso es importante y costoso, ya que determina

la cantidad de productos químicos que se utilizarán en el proceso. Esta coagulación lleva tiempo y es importante en las ptat. (LMI ,2022).

### ***1.4.3 Floculación***

En este proceso se agrupan las partículas por medio de un proceso físico, que después de la coagulación, la floculación inicia la mezcla del fluido, lo que ayuda a que algunos sólidos suspendidos inicien la unión y formen grupos grandes, este proceso es ayudado por la adición de mezcladores y floculantes. Ya que después de la neutralización de las cargas, se mezcla el fluido permitiendo que se junten más partículas.

El fin último es que los grupos de partículas lleguen a un estado en el que se pueda filtrar más fácil. De manera que la mezcla del agua al agregar los floculantes, ayuda a que las partículas coloidales se junten y formen esos grupos grandes, sin embargo, lo complicado es que se debe agitar el líquido sin separar las partículas, y es por ello que se tiene en cuenta el cizallamiento de mezcla en el fluido. (LMI ,2022).

### ***1.4.4 Decantación***

Este proceso es una separación por gravedad, de modo que las partículas más pesadas que el líquido tienen una trayectoria descendente que se deposita en el fondo del decantador, pero esto depende del líquido, la densidad, la gravedad específica, las propiedades y el tamaño.. Este proceso es efectivo cuando la densidad y tamaño de las partículas a separar son mayores que la

densidad y tamaño del líquido, y la velocidad de sedimentación depende de la morfología de las partículas.. (Buch, 2017)

De esta forma, la decantación por gravedad separa las partículas suspendidas en el agua, de forma que los depósitos más densos y nocivos quedan al fondo y son eliminados allí, mientras que los sedimentos menos densos continúan disolviéndose en el agua decantada.. (Acciona, 2020)

#### ***1.4.5 Filtración***

Este proceso después de haberse realizado la decantación, tiene la misión de pasar el líquido por un medio poroso, eliminando así los sedimentos menos densos, es así como estos filtros terminan de colar las impurezas que haya en el agua. Mencionar que existen diversos tipos de filtros, como los de carbón activados o de arena, los cuales pueden ser ya sea, cerrados y a presión o abiertos y por gravedad. (Acciona, 2020). Buch (2017) al respecto expresa que estos filtros tienen una arena especial que retiene los sólidos más pequeños en el agua, la cual en esta etapa ya debe estar clara.

#### ***1.4.6 Desinfección***

Esta es la última etapa, donde se agrega cloro para eliminar cualquier virus o bacteria que haya quedado, se recomienda que para eliminar agentes patógenos se puede aplicar el método de irradiación de rayos ultravioletas. (Acciona, 2020).

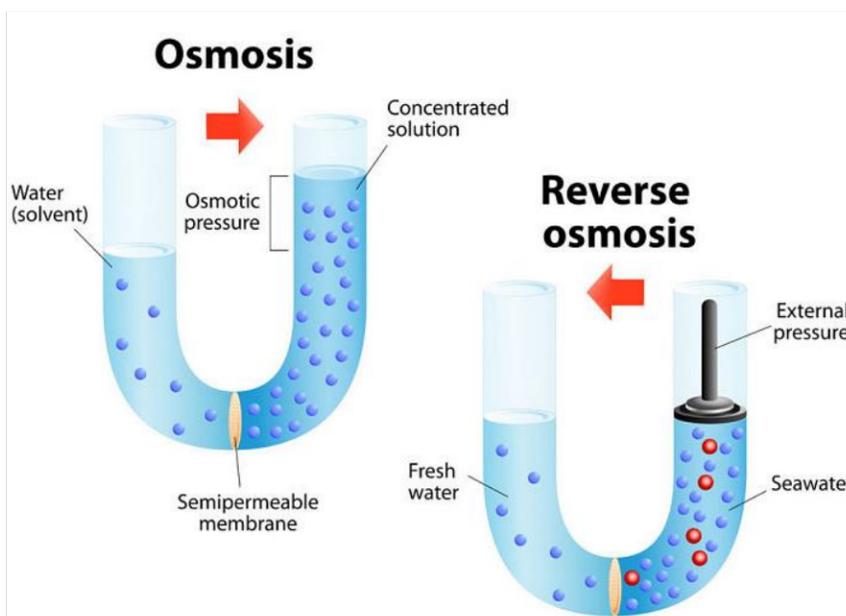
## Capítulo 2. Tratamiento De Potabilización Del Agua Por Ósmosis Inversa

Es un proceso en el cual se separa un componente de otro por medio de una membrana semi-permeable, ejerciendo cierta presión. (Claudio et al, 2018)

En este sentido lo que se busca es separar el soluto del solvente, que por lo general es agua; en el caso del tratamiento de potabilización del agua se elimina la carga contaminante. Generalmente este tratamiento se aplica para soluciones que contienen solutos de muy pequeño diámetro. En la figura 3 se observa el proceso de ósmosis inversa.

### Figura 3.

*Sistema de ósmosis inversa*



*Nota.* El gráfico representa el proceso que realiza la ósmosis convencional en comparación con la ósmosis inversa. Fuente: Lynette K. Bundi & Samamba Amunga (2019)

<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/osmosis-inversa.html>

El tratamiento se utiliza generalmente en casos de desalinización de agua de mar, tratamiento de aguas residuales y potabilización del agua. En el caso del agua de mar, se separa el 95% de las sales y en el segundo caso se logra eliminar el color, los sólidos disueltos, la carga orgánica y los microorganismos. (Benavides, 2011)

## **2.1. Inicios de la Ósmosis Inversa**

Jean Antoine Nollet fue la persona que pudo observar por primera vez el proceso, cuando en el año 1748, al colocar una membrana de vejiga de cerdo, el agua fluía a través de la membrana, pero el alcohol se quedaba retenido. (Mellado, 2017)

En 1920 se pudieron observar los primeros pasos con respecto a la creación de membranas comerciales, en Alemania, para ser utilizadas en la reducción de carga bacteriológica. (Díaz, 2008) Compuestas por nitrato y acetato de celulosa y con estructura porosa.

## **2.2. Características del Sistema de Ósmosis Inversa**

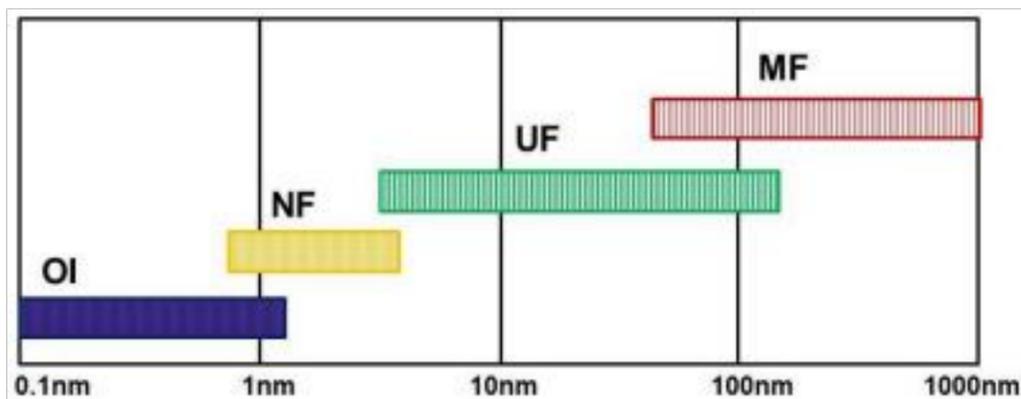
La ósmosis inversa se utiliza cuando existen flujos con partículas muy pequeñas de 0,002 micrómetros de diámetro, siendo este el proceso más eficiente y utilizado, con respecto de otros tratamientos como lo son la microfiltración y la ultrafiltración, especialmente en la

desalinización del agua y tratamiento de aguas residuales, así como también en la industria farmacéutica y alimentaria. (Hernandez, Tejerina, Arribas, Martinez, & Martinez, 1990)

En la figura 4 se observa la comparación de las membranas, de acuerdo al tamaño de sus poros, donde para soluciones con partículas de mayor diámetro se utiliza la microfiltración (MF) y en soluciones con partículas muy pequeñas se utiliza el sistema de tratamiento de ósmosis inversa.

#### Figura 4.

*Comparaciones de membrana acorde al tamaño de sus poros.*



*Nota.* La figura representa un ejemplo de lo que sería la diferencia entre la porosidad de los diferentes tipos de membrana. Fuente: Luis Maldonado (2017)

<https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/1608/1/TMIPICYTM3O32017.pdf>

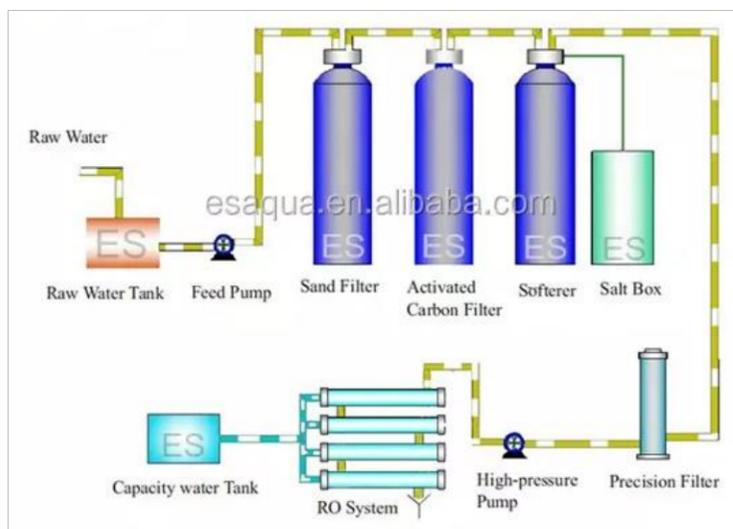
Este proceso además tiene varias ventajas, entre las cuales se encuentran el bajo impacto medioambiental ya que no requiere de químicos; es de fácil funcionamiento pues el proceso se

realiza mediante una etapa continuamente, por lo que reduce el consumo de energía eléctrica; y logra reducir el 99% de carga contaminante. (Fibras y normas de Colombia, 2015)

Generalmente los componentes de este sistema consisten en un tubo o tubos ordenados en paralelo o serie, los cuáles contienen la membrana; además se utilizan bombas que proporcionan el flujo y al mismo tiempo ejercen la presión requerida para que se aplique el principio. Para complementar el proceso también se utilizan filtros que actúan para realizar un pre-tratamiento al agua. (Claudio et al, 2018b), como se observa en la Figura 5.

**Figura 5.**

*Sistema de Potabilización de Ósmosis Inversa*



*Nota.* La imagen representa los diferentes procesos aplicados al sistema de ósmosis inversa.

Fuente: Alibaba (2018) <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Industrial-Reverse-Osmosis-Water-Filtration-System-60504933970.html>

### 2.2.1. Pre-tratamiento

El pre-tratamiento es el procedimiento que se realiza con la finalidad de filtrar el agua antes del proceso de ósmosis inversa para obtener los mejores resultados. En este sentido se implementan 4 etapas, que constan de filtros de diferentes componentes que cumplen una función específica en la remoción de la carga contaminante.

**2.1.1.1. Filtro de sedimentos o Filtro Multimedia.** Este filtro actúa como barrera de sedimentos, que son partículas que se retienen en el fondo del agua, observado en la Figura 6.

#### Figura 6

*Filtro de Sedimentos*



*Nota.* En la imagen se muestra el filtro de sedimentos o multimedia con los diferentes estratos correspondientes al proceso de filtración. Fuente: Pure Aqua (2019)

<https://es.pureaqua.com/blog/filtro-multimedia-de-gua/>

**2.1.1.2. Filtro de arena.** Este filtro actúa reteniendo las sustancias orgánicas ya que consta de una capa de arenas que actúan como barrera al paso de las partículas orgánicas. Como se muestra en la figura 7

**Figura 7.**

*Filtro de arena.*



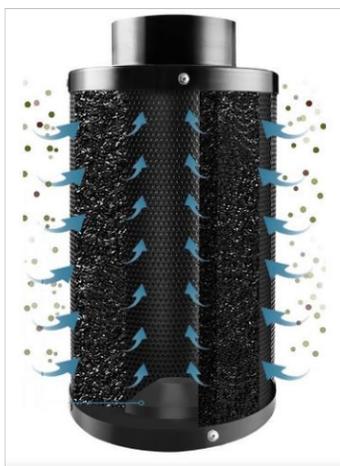
*Nota.* El filtro de arena contiene diferentes capas o estratos de partículas para realizar el proceso de filtración. Fuente: STF (2017), como se citó en Mellado (2017)

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15143/Informe.pdf?sequence=3>

**2.1.1.3. Filtro de carbón activado.** es un material que actúa adsorbiendo moléculas orgánicas, su función al igual que el filtro de arena, es extraer esas partículas orgánicas, pero en este caso, además gracias a la función del carbón activado se logran atraer y eliminar olores, sabores y cloro residual. Como se muestra en la figura 8

**Figura 8.**

*Filtro de Carbón Activado*



*Nota.* Se representan las diferentes partículas de carbón activado que atraviesa el flujo. Fuente:

Blog Equipos Osmosis Inversa (2019) <https://equipososmosisinversa.com/filtros-de-carbon-activado/>

**2.1.1.4. Suavizador.** Esta fase del pre-tratamiento cumple la función de descalcificar el agua, es decir, eliminar los minerales disueltos en el agua (calcio y magnesio). En este sentido, el flujo atraviesa una capa de resina catiónica que hace que se reduzcan o se minimicen las cantidades de sales minerales. Como se muestra en la figura 9

**Figura 9**

Suavizador



*Nota.* Proceso del suavizador para ablandar el agua. Fuente: Blog Pysitec (2017)

<https://www.pysitec.com/equipo-y-maquinas>

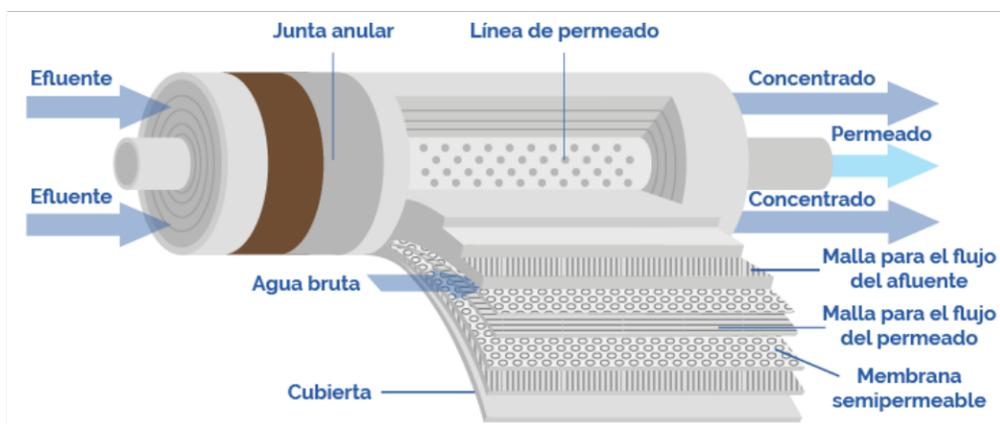
### **2.2.2. Membrana de OI**

La membrana es lo más importante en el proceso de ósmosis inversa pues actúa como barrera, lo que impide el paso de los componentes, logrando separar el solvente (agua) del soluto (iones disueltos).

En los inicios se utilizaban membranas de acetato de celulosa (siendo este un componente de origen animal) y poco a poco se fueron implementando materiales de mayor resistencia y calidad como en la actualidad que se utilizan principalmente membranas a base de polímeros. En la figura X se puede observar la estructura y los componentes de la membrana de ósmosis inversa utilizada en tratamiento de potabilización del agua. Como se muestra en la figura 10

### Figura 10.

#### *Membrana de ósmosis inversa*



*Nota.* La figura representa los diferentes componentes de la membrana de ósmosis inversa.

Fuente: Compañía Sefiltra (2018) <https://www.sefiltra.com/productos/osmosis-inversa/>

### 2.3. Acontecimientos Importantes

A lo largo del tiempo la optimización del proceso de ósmosis inversa ha crecido, con respecto al mejoramiento de las membranas utilizadas, puesto que la producción pasó de ser muy poca, a tener un rendimiento de 20 millones de metros cúbicos diarios. (Díaz, 2008b)

Los primeros proyectos implementados con respecto al tratamiento de aguas con el proceso de OI se dieron gracias a la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA), quienes investigaron por primera vez la desalinización del agua por medio de membranas, logrando convertirla en agua dulce a mediados de la década de 1950, junto con la Universidad de Florida y fue a finales del 2001, donde pusieron en funcionamiento alrededor de 15.200 plantas de desalinización. (Mellado, 2017b, pág 10)

Según estudios realizados por la Universidad de California, Irvine (UCI) y la NASA, existe una reducción del porcentaje de agua subterránea debido al consumo humano, a lo que se suma también el cambio climático y el crecimiento poblacional, por lo cual, los esfuerzos para la implementación del tratamiento de ósmosis inversa aumentarán. (García, 2015)

#### **2.4. La Ósmosis Inversa en el Contexto Internacional**

En Perú, una empresa agrícola con la finalidad de tratar agua subterránea para poder utilizarla en sus procesos industriales (agua principalmente compuesta por sales minerales), implementó un sistema de tratamiento de OI, que pudiera tratar el material proveniente de pozo y posteriormente utilizarla en el lavado de frutas y hortalizas. Este estudio demuestra que se logró reducir la cantidad de sales minerales disueltas, así como también los sólidos disueltos, material orgánico y microorganismos, teniendo en cuenta los estándares permitidos por la normativa peruana. (Lévano & Jimenez, 2021)

En España, para para lograr el abastecimiento a la Universidad de Piura, se realizó la instalación de un sistema de OI que tratara el agua de un pozo existente en esa universidad, en este sentido la implementación de la planta de tratamiento logró tratar el agua con resultados de remoción de carga contaminante entre el 85% y 95% y un porcentaje de abastecimiento del 30% del personal laboral y estudiantado. Para esta planta de tratamiento fue necesario implementar el proceso de pretratamiento con cloración, filtración y ablandamiento. (Zelada, 2015)

En Sonora, México se implementó una planta de ósmosis inversa para desalinizar las aguas salobres provenientes de los pozos y posteriormente poder utilizarla para riego en actividades agrícolas, teniendo en cuenta que se presentan problemas de disponibilidad de agua en este sector. En este sentido, se esperaba reducir las cantidades de sales que afectaban los cultivos de sorgo y se obtuvieron unos resultados de reducción del 99,7% de las sales y esto se vio reflejado en el crecimiento del cultivo, donde al aplicar el riego con agua salobre y agua tratada, las diferencias fueron significativas, siendo mayor el crecimiento al utilizar agua tratada por ósmosis inversa. (Dévora et al, 2016)

En Shiraz, Irán se realizó un estudio y seguimiento a un sistema desalinizador por ósmosis inversa que contaba además con componentes fotovoltaicos-térmicos, teniendo en cuenta que dicho sistema de ósmosis inversa pide muchas cantidades de energía para su funcionamiento a diferencia de un sistema convencional. Este estudio arrojó resultados positivos en cuanto a la producción de agua y reducción del consumo de energía, así como también la

reducción de los costos del agua y la rebaja de emisiones de CO<sub>2</sub> en un 85,7%. (Shafaghat, Elsami, & Baneshi, 2022)

En España se realizó el diseño e implementación de una PTAP potable por medio del método de OI, en la comarca El Maresme, para el abastecimiento de dicha población. En esta comarca, la actividad principal es de tipo agrícola, por lo que el uso de herbicidas y pesticidas contaminan las aguas subterráneas, causando contaminación por nitratos, en este sentido se implementa la planta de tratamiento para abastecer a la población de más de 100.000 habitantes, la cual pudo demostrar mediante análisis de laboratorio que el agua es apta para el consumo, pues los valores se encuentran dentro de los estándares pedidos y los costos de mantenimiento y operación son económicamente viables. (Aix, 2021)

## **2.5 La ósmosis Inversa en el contexto Nacional**

En Colombia existen diversas aplicaciones y/o estudios con respecto del tratamiento de potabilización de aguas por medio del método de ósmosis inversa. Uno de ellos es el de la industria minera, ubicado en el municipio de Buriticá, Antioquia, en donde se lleva a cabo la implementación del proceso de OI, debido la descarga de aguas residuales que generan alto impacto al medio ambiente en el proceso de la extracción de Oro que se realiza allí. Este estudio el cual fue hecho por la universidad Nacional de Colombia, logró demostrar que se alcanza un 79% de la recuperación de agua acorde a las normas exigidas en la normatividad colombiana. (Delgado, 2020)

En la empresa Bawer Company S.A.S se realizó un estudio con el fin de incorporar en su compañía, las plantas de potabilización de agua por ósmosis inversa y que a su vez demostrara el

impacto positivo que esta causa en la remoción de contaminantes y las ventajas que trae la implementación de esta para el tratamiento de aguas residuales, aguas grises, aguas subterráneas, superficiales y aguas de lluvia. Se pudo determinar que es viable su funcionamiento siguiendo ciertos aspectos técnicos específicos, empleando principalmente agua de lluvia, utilizando en el pretratamiento únicamente el filtro de carbón activado y estableciendo un precio mínimo de venta. (Martinez, 2019)

Según un estudio de la Universidad Libre de Cúcuta, en donde se realizó el diseño de un prototipo de OI para una PTAR en la industria textil, teniendo en cuenta que la industria textil ha crecido exponencialmente y que para estos procesos se requieren grandes cantidades de agua, se estudió la necesidad de la implementación de dicho sistema de ósmosis inversa en donde se pudo demostrar que es posible darle un segundo uso al agua empleada en el proceso, obteniendo un 45% de aprovechamiento. (Velasquez, 2018)

En Barrancabermeja, Santander, la empresa petrolera Ecopetrol instaló una planta de tratamiento por OI con el fin de utilizar el agua resultante en el abastecimiento de agua potable a los empleados, así como también en los procesos de refinería que allí se realizan. Esta planta logra remover la máxima cantidad de sales, así como también disminuye el impacto ambiental pues se reduce la necesidad de utilización de químicos para el tratamiento de potabilización, así como también disminuyen los vertimientos de aguas residuales. (Chávez, 2013)

## 2.6 El Sistema Convencional y el Sistema de OI

Existen ciertas ventajas y desventajas con respecto al sistema de OI. Una de las ventajas es que remueven en un 99% las partículas orgánicas, sales disueltas, sólidos disueltos y microorganismos presentes en el agua. Es un proceso de una sola etapa que funciona de manera continua, sin interrupciones. Es un proceso automatizado y continuo, por lo que no requiere un seguimiento significativo y gracias a esto puede producir mayor cantidad de agua limpia en menor cantidad de tiempo, es decir, es más eficiente.

Con respecto a las desventajas, tiene altos costos para su implementación y operación, también tiene un alto consumo de energía con respecto al sistema convencional. Puede requerir de un proceso de pretratamiento eficiente, lo cual depende de la procedencia y las características del agua a tratar. (Olmos, 2002, pág 19)

Según la Universidad Piloto de Colombia con un estudio realizado, en donde se realiza la comparación entre un sistema de potabilización convencional en Bogotá, Colombia y un sistema de desalinización por OI en los Emiratos Árabes, con el fin de establecer la posibilidad de implementar un sistema de desalinización de ósmosis inversa en La Guajira, debido a la complejidad de obtención del recurso hídrico, se observaron ciertos aspectos como lo son el costo de producción, el cual es mucho más alto en el sistema de ósmosis inversa; la calidad del agua es apta para consumo humano en ambos métodos; ambos métodos generan impactos al medio ambiente, puesto que en el caso del tratamiento convencional se producen lodos que contienen materia orgánica, microorganismos y metales pesados, así como también la formación

de trihalometanos por la utilización de cloro y en el caso de ósmosis inversa se generan impactos en la fase de pretratamiento por los residuos de salmuera, además del gran gasto de energía que implica este sistema. (López, Martínez, & Quevedo, 2018)

Teniendo en cuenta los diversos casos de implementación de ptap por medio del proceso de OI o plantas de desalinización, es preciso mencionar que el sistema convencional es uno de los sistemas de potabilización del agua con menores costos, sin embargo, genera afectación al medio ambiente por la generación de lodos, así como por la posible formación de trihalometanos, compuesto cancerígeno que se genera por el contacto entre el agua y el cloro. El sistema de ósmosis inversa es mucho más novedoso y automatizado, sin embargo, requiere de grandes costos de producción y mantenimiento y además requiere de grandes cantidades de energía para su funcionamiento, sumándole a esto también su impacto negativo al medio ambiente pues se generan aguas de rechazo o salmuera, que se dan en el pretratamiento, así como la carga bacteriana que puede acumularse en la membrana, todo esto puede considerarse residuos peligrosos.

Para tener en cuenta las diferencias de calidad del agua entre el sistema convencional y el sistema de potabilización por ósmosis inversa, se deben tener en cuenta los parámetros Determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas en Colombia. La Resolución N° 2115 de 2007 define los estándares de calidad que debe cumplir el agua apta para el consumo humano, “la cual determina las características, instrumentos básicos y frecuencia de los sistemas de

control y seguimiento de la calidad del agua potable destinada al ser humano”. Estos parámetros (que se muestran en las Figuras 8, 9 y 10) se refieren a las propiedades físicas, químicas y

**Tabla 4.**

*Características físicas del agua potable.*

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

*Nota.* Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007a)

**Tabla 5.**

*Características químicas del agua potable.*

Elementos químicos y compuestos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresados cómo	Valor máximo aceptable
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	200
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	250
Aluminio	Al <sup>3+</sup>	0,2
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	300
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	Po <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,5

*Nota.* Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007b)

**Tabla 6.***Características microbiológicas del agua potable.*

Técnicas utilizadas	Coliformes totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismos en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

*Nota.* Fuente: (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007)

En este sentido, se mostrarán algunos resultados con respecto a la calidad del agua, en el sistema convencional y el sistema de ósmosis inversa, con el fin de realizar una comparación para establecer cuál es el proceso más eficiente en términos de calidad de agua, analizando únicamente algunos de los parámetros fisicoquímicos.

En la planta de tratamiento por OI que se implementó en el Valle de Yaqui, en Sonora, México, los resultados de la calidad del agua, luego de pasar por un tratamiento de ósmosis inversa, fueron muy favorables, tanto así, que afectaron a los cultivos de manera positiva puesto que su crecimiento fue mayor, al comparar el riego con agua de pozo (salobre) y con agua tratada. En este sentido se muestran los análisis físico-químicos al agua luego de su tratamiento por ósmosis inversa (Dévora et al, 2016b):

**Tabla 7.**

*Parámetros físico-químicos del agua tratada por ósmosis inversa en el Valle del Yaqui, Sonora, México.*

Muestra	Ph	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (uS/cm)	Sólidos disueltos totales (mg/l)
Alimentación	7,4	26,50	10433,20	6610,20
Producto	6,40	27,02	103,00	64,80

*Nota.* Fuente: (Dévora et al, 2016c)

El agua de alimentación es la entrada a la PTAP y el agua producto es el resultado del tratamiento. Como se puede ver en la Tabla 7, los valores de conductividad eléctrica (o salinidad) y solución total se reducen significativamente y son exigidos dentro de la normatividad colombiana, considerando que la conductividad puede llegar hasta 1000 uS/cm y la cantidad de disuelto. Los sólidos deben ser de hasta 500 mg/l.

En Perú, en el distrito de Morales, San Martín, en un sector llamado Chuina se realizó la implementación de un sistema de tratamiento de agua mediante OI, utilizando agua extraída de un pozo subterráneo, en donde se realizaron las muestras antes y después para evaluar su eficacia. Como se puede observar en la Tabla 8

**Tabla 8**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de Chuina, Morales-San Martín.*

Parámetros	Unidades	Preprueba	Postprueba	LMP
pH	valor del Ph	5.48	7.5	6.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	uS/cm	98.1	20.02	1500
Salinidad	Mg/L	44	1.02	Parámetro indicador
Calcio	Mg/L	4.36	1.01	Parámetro indicador
Magnesio	Mg/L	2.01	0.18	Parámetro indicador
Bacterias heterotróficas	UFC/MI A 35°C	250000	170	500

*Nota.* Fuente: (Martínez & Coronel, 2015)

Como se puede ver en la tabla 8, los análisis realizados al agua antes y después, muestran una eficiencia alta de remoción de contaminantes, puesto que se encuentran dentro de los parámetros límites permisibles (LMP) acordes a la normativa peruana.

En un municipio de Buriticá del departamento de Antioquia en Colombia, se aplicó el tratamiento de OI al agua proveniente de una PTAR del sector minero, en donde se tuvo en cuenta la remoción de ciertos elementos característicos de estas aguas residuales.

**Tabla 9.***Análisis químicos al agua proveniente de la industria minera en Buriticá, Antioquia*

	Alimentación	Permeado	Rechazo
Arsénico (ppm)	1,75	0,09	5,83
Cadmio (ppm)	0,5	0,03	1,7
Zinc (ppm)	6	0,3	19,98
Cloruros (ppm)	1250	34	4416
Conductividad (us/cm)	4856	86	5953

*Nota.* Fuente: (Delgado, 2020)

Como se muestra en la tabla 9, el tratamiento por OI logra remover gran cantidad de componentes provenientes de este tipo de aguas residuales, como lo indican los resultados de las aguas de permeado, que son las que atraviesan la membrana, siendo aptas para vertimiento en cuerpos hídricos, como lo indica la resolución 0631 de 2015.

Por otro lado, se tienen los resultados de la caracterización de la PTAP El Dorado en Bogotá. Esta planta surte de agua a la capital colombiana, por lo que es importante que esta cumpla con los estándares exigidos en la normativa colombiana. Según se observa en la Tabla 10

**Tabla 10***Parámetros fisicoquímicos al agua de la PTAP El Dorado*

Parámetro	Media	Intervalo de confianza (95%)		Mediana	Moda	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango	Asimetría
		Límite inferior	Límite superior								
Turbiedad	0,27	0,27	0,28	0,25	0,27	0,02	0,14	0,03	1,84	1,81	3,4
Color	1,76	1,72	1,81	2	1	1,67	1,29	0	18	18	2,19
Conductividad eléctrica	57,27	56,9	57,65	55,7	46,6	105,37	10,27	4,69	119,1	114,4	0,49
Ph	6,95	6,94	6,96	6,94	6,84	0,08	0,28	5,19	9,93	4,74	0,98
Alcalinidad total	7,61	7,54	7,69	7	7	4,23	2,06	2	22	20	0,52
Cloruros	4,6	4,51	4,69	4,06	4,91	6,06	2,46	0	21,27	21,27	0,84
Dureza total	17,4	17,28	17,52	17,34	18,6	10,08	3,17	1,53	39,32	37,79	0,42
Dureza cálcica	15,44	15,33	15,54	15,36	14,2	8,2	2,86	4,79	28,08	23,29	0,2
Hierro total	0,03	0,03	0,03	0,01	0	0	0,05	0	1,01	1,01	6,49
Aluminio residual	0,07	0,06	0,07	0,05	0,02	0	0,06	0	0,93	0,93	3,89
Cloro residual libre	1,48	1,47	1,49	1,47	1,46	0,06	0,25	0,28	2,59	2,31	0,17
Cloro residual combinado	0,12	0,11	0,13	0,11	0,1	0,04	0,21	0	11	11	48,28
Cloro residual total	1,6	1,59	1,61	1,58	1,48	0,11	0,33	0	12,11	12,11	11,1
Sulfatos	7,77	7,68	7,86	7,68	8,87	6,63	2,57	0	26,35	26,35	0,49

*Nota.* Fuente: (Redondo & López, 2016)

Teniendo en cuenta los mismos parámetros evaluados en el caso de ósmosis inversa, como lo son el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, siendo este último representado en este caso por la turbiedad, con un valor límite de 2 NTU, se puede concluir que el agua de la planta potabilizadora El Dorado cumple con la normatividad colombiana.

En la PTAP de la ciudad de Yopal, se tiene en cuenta parámetros como la turbiedad, el color aparente, sólidos totales, conductividad y Ph, analizados en diferentes gráficas, en donde en los periodos de lluvia, los valores de color aparente y turbiedad superan los límites establecidos,

debido a la relación existencia entre la turbiedad y el color, con la temporada de lluvias. Con respecto a los demás parámetros, estos se encuentran dentro de los límites permitidos de acuerdo a la resolución 2115 de 2007. (López J. E., 2010)

Ahora, en el municipio Fómeque, Cundinamarca se realizó un diagnóstico en donde se obtuvieron resultados favorables respecto de los análisis del producto del tratamiento en la planta, como se observa en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos de la PTAP de Fómeque, Cundinamarca.*

Parámetros	E stiaje 2008	E stiaje 2009	In vierno 2009	M áximo	M ínimo	V alor máximo permisibl e	C umple
Ph	7,31	7,75	8,12	8,12	7,31	6,5-9,0	SI
Sólidos totales (mg/L)	110	100	50	110	50	< 500	SI
Turbie dad (NTU)	1	4,1	0,93	54,1	0,93	< 2	N O
Condu ctividad (mS/cm)	80	33	79	80	33	< 1000	SI
Colifo rmes totales (bact/ml)	400	460	<3,0	460	< 3,0	0	N O

Nota. Fuente: (Jiménez & Jiménez, 2017)

Como se puede observar en la tabla 11, en este caso no se cumple con los estándares establecidos por la normatividad colombiana sobre la calidad del agua potable. En este caso la turbiedad y los Coliformes totales superan los límites máximos permisibles. Por lo general la turbiedad, un parámetro físico suele verse afectado por la agitación del agua en temporada de lluvias, sin embargo, los Coliformes totales son un parámetro importante, ya que indican la

cantidad de microorganismos presentes en el agua, siendo que para el agua potable su valor debe encontrarse en cero y se encuentra muy por encima.

En el municipio de Boyacá se realizó un diagnóstico al funcionamiento de la PTAP del municipio de Moniquirá en el departamento de Boyacá, como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de la PTAP de Moniquirá, Boyacá*

Parámetro	Unidades	Valores	Resultado	Cumplimiento
Ph	Unidades de pH	6,5-9	7,2	Cumple
Color	UPC	15	1	Cumple
Conductividad	Ms/cm	1000	82,2	Cumple
Turbiedad	UNT	2	0	Cumple
Coliformes totales	UFC/100 MI	0	0	Cumple
Aluminio	Mg Al <sup>3+</sup> /L	0,2	1,32	No cumple

Nota. Fuente: (Sierra, 2019)

Como se puede observar, todos los parámetros cumplen con lo establecidos excepto por el valor del aluminio, esto es debido a que en el tratamiento se utilizan sales de aluminio para la reducción de la materia orgánica, el color y microorganismos, sin embargo, se deben mantener los niveles porque pueden ocasionar problemas de salud en la población que consume agua con niveles elevados de este compuesto.

Ahora, teniendo en cuenta los casos analizados y los parámetros que para cada sistema de tratamiento de aguas se tuvieron en cuenta, se realizará una comparación del cumplimiento del

parámetro acorde a los estándares permitidos por la normativa, con los parámetros que más se utilizaron.

**Tabla 13.**

*Comparación del cumplimiento de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de los casos analizados.*

Parámetro	Sistema convencional	Ósmosis inversa
Ph	Cumple	Cumple
Sólidos disueltos	No cumple	Cumple
Turbiedad	No cumple	N/A
Conductividad eléctrica	Cumple	Cumple
Coliformes totales	No cumple	N/A

*Nota.* Fuente: Autor del trabajo.

Teniendo en cuenta los diferentes casos, en donde se obtiene una mayor eficiencia de remoción de contaminantes es en el sistema de ósmosis inversa, acorde a los parámetros analizados para cada caso. Es decir, en los estudios realizados para los casos de tratamiento por el sistema de ósmosis inversa, se tuvieron en cuenta solamente algunos parámetros físicos y químicos, en cambio en los análisis del agua por el sistema convencional, que por lo general se realizan de forma más rigurosa, se tienen en cuenta la mayor cantidad de parámetro físicos, químicos, así como también microbiológicos. En este sentido, para el sistema convencional algunos parámetros no cumplen, como lo son los parámetros físicos y los microbiológicos. En el caso del sistema de ósmosis inversa, los parámetros físicos siempre cumplen, es decir, en lo que se refiere al color y la turbiedad (representados por la cantidad de sólidos en suspensión que se encuentran en el agua y a simple vista puede arrojar una valoración de la calidad del agua) estos siempre logran mantenerse en los límites permitidos acordes a la normatividad, una vez son tratados mediante ósmosis inversa, mientras que por el tratamiento convencional, estos

parámetros pueden no encontrarse dentro de los límites permisibles, especialmente en época de lluvias.

En conclusión, el sistema de ósmosis inversa tiene mejores resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, que el sistema convencional, esto es debido a la alta tecnología y la calidad que representa la membrana utilizada en el proceso y la presión ejercida para que se logre remover la mayor cantidad de contaminantes.

### **Capítulo 3. PTAP que implementan el proceso de osmosis inversa en Latinoamérica.**

Este capítulo se basa en la presentación de varias (PTAT) en América Latina que utilizan el tratamiento de OI como proceso de purificación y analizan la calidad del agua antes y después del tratamiento mediante análisis microbiológicos de la calidad del agua tratada. agua .

#### **3.1. Caso de Chile**

Chile, que cuenta con una empresa que quiere implementar ósmosis inversa, REGENERA, donde la experiencia ha sido exitosa en cuanto a regeneración en plantas desalinizadoras, es una alternativa sustentable, ya que las actividades mineras e industriales ya compiten por el agua en Chile. Motivo, El agua de mar es una alternativa viable, pero debe ser tratada para consumo industrial y humano. Esta empresa tenía como objetivo comercializar el tratamiento de agua tratada mediante desalinización. (Gutiérrez, 2009).

También, se reconoció la modernización de la planta de ósmosis inversa del complejo Nejuenco en Chile, debido a que esta planta puede optimizar hasta en un 50% el agua utilizada en el circuito combinado de refrigeración de las unidades Nejuenco 1 y 2 en periodos de escasez de agua. . . . lo que corresponde al consumo de agua potable de 80 mil personas por día" (Colbún, 2018a).

Esta instalación limpia el agua extraída de los pozos de la instalación, elimina partículas y minerales, limpia aún más el agua y reduce la cantidad de agua para refrigeración. De igual forma la planta cuenta con una mayor capacidad de almacenamiento, y ante escasez de agua, el

equipo ayuda a calcular reservas de agua suficientes sin recurrir a fuentes externas, utilizando eficientemente las reservas de agua ahorrando un 50% de agua (Colbún, 2018a).

El proceso de la planta requiere varios pasos, tomar agua del pozo, alimentarla a través de la bomba de entrada a la primera etapa de tratamiento y luego eliminar los sólidos en suspensión. Luego pasa por una bomba de alta presión a la primera etapa de ósmosis inversa para eliminar el 99,9% de las sales disueltas en el agua. Las aguas residuales de la etapa anterior se alimentan a la segunda etapa de ósmosis inversa para maximizar la recuperación de agua, lo que resulta en la recuperación del 90 % del agua de pozo tratada. (Colbún, 2018b).

### **3.2. Caso de Argentina**

En Argentina, existe UNITEK, la cual es una compañía que desde hace muchos años viene desarrollando proyectos de ingeniería, produciendo sistemas de alta tecnología para el tratamiento de aguas y reúso. Diseñan, fabrican y comercializan equipos para optimizar características tanto químicas, físicas y microbiológicas del recurso hídrico. (Moreno, 2011). Teniendo en cuenta que la mayoría del agua del mundo es salada y el agua dulce es poca, y con la alta demanda de agua apta para el consumo, se han inventado tecnologías para potabilizar el agua de mar, es por ello, que UNITEK, con su tecnología ha fabricado tecnologías con este tratamiento de aguas.

Este tratamiento requiere alta presión para superar la alta presión osmótica del agua de mar (375-500 psi), lo que asegura un alto rendimiento. Las membranas de ósmosis inversa

utilizadas en estas aplicaciones deben poder operar a presiones de 800 a 1200 psi y eliminar el 99 % o más de la sal para que el agua cumpla con los estándares de la Organización Mundial de la Salud". (EXPOK, 2013).

### 3.3. Caso de Perú

En Perú se llevó a cabo el tratamiento de Agua de Pozo por a fin de obtener agua tratada para usarla en el lavado de hortalizas y frutas en una empresa agrícola, anteriormente este pozo no tenía las condiciones necesarias para el uso de esa agua por ello se debía realizar un pretratamiento del agua cruda y luego la salmuera. De manera que “El contenido total de sólidos disueltos del agua del pozo fue de 3252 ppm y el pretratamiento del agua del pozo con cloro redujo el valor del metabisulfito de sodio a 1500 ppm para la inyección en el sistema de ósmosis inversa.” (Contreras & Estancio, 2021, p. 14).

Las propiedades físicas del agua subterránea, incluidos el pH, la conductividad, el total de metales, la turbidez, el total de sólidos disueltos, la salinidad, la dureza total, la alcalinidad y otras, deben determinarse inicialmente. Se hizo pues un muestreo de estas aguas, investigando los parámetros fisicoquímicos a fin de saber en qué medida era posible la reducción de los sólidos totales disueltos el pozo para el uso de esta agua. Para el sistema de tratamiento se utilizó un dosificador de metabisulfito, uno de anti incrustante y uno de cloro, así como un equipo de ósmosis inversa BW 4: 3x6, una bomba de alta presión, una línea de mezcla, dos tanques de agua pura de 25 metros cúbicos y un compresor. (Contreras & Estancio, 2021).

Los parámetros fueron evaluados luego de realizado el procedimiento y los resultados indicaron que este proceso de ósmosis inversa podría incorporarse al sector agrícola, ya que según este estudio comentado anteriormente se demostró que el agua se vuelve potable a 495.51 ppm. De los resultados científicos del análisis físico, químico y microbiológico del agua se concluyó que si es posible purificar el agua del pozo de ósmosis inversa en la empresa. El análisis del agua por proceso de ósmosis inversa mostró que al eliminar la materia en suspensión se puede obtener agua potable y se respetan los parámetros microbianos establecidos por la Organización Mundial de la Salud. (Contreras & Estancio, 2021).

### **3.4. Caso de Ecuador**

En Ecuador se lanzó un proyecto para diseñar y construir un prototipo de planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa que consiste en un sistema de bombeo que genera la presión suficiente a través de una bomba multietapas que también cuenta con un cartucho de filtro de sedimentos preliberado y carbón activado. filtrar. El objetivo del proyecto es promover la creación de estas plantas de tratamiento, que utilizan membranas de filtración para producir agua de alta calidad, mientras que el proceso de ósmosis inversa utiliza membranas de filtración semipermeables para retener la cantidad total de sólidos disueltos en el agua.. (Carate & Lapo, 2011).

La construcción de estas plantas con el método de osmosis inversa nace de la necesidad de tener acceso a agua potable en zonas rurales, donde muchas veces se accede a agua que no es tratada y puede acarrear enfermedades, además se encuentra la problemática de la contaminación de las fuentes hídricas a causa de las actividades humanas. Por tanto, en este caso de aplicó el

sistema de ósmosis inversa purifican el agua de los manantiales para cumplir con parámetros físicos, químicos y biológicos, como en el caso de Ecuador, donde es difícil obtener agua potable.

Por ello, uno de los objetivos del proyecto era “desarrollar un prototipo de dispositivo de tratamiento por ósmosis inversa con una capacidad de almacenamiento de 200 litros de agua purificada y un caudal de producción de 3,5 litros por hora” (Karat y Lapo, 2011, p. 11) . La planta se caracteriza por la facilidad de instalación y mantenimiento, así como cálculos relativos de presión del elemento filtrante y presión de trabajo correcta para cada dispositivo y pruebas lógicas de laboratorio para garantizar agua potable de acuerdo con los parámetros del agua. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108. (Carate & Lapo, 2011).

El modelo de planta contaba con tanques de polietileno, filtros y membranas para filtrado de agua, una capacidad nominal de producción de 200 litros, así como herrajes de hierro galvanizado y PVC y sistema de accionamiento y control. También se diseñaron despieces y un plano general para seguir las partes y componentes del mecanismo para su futuro almacenamiento, ocupando al menos dos metros cúbicos.

Así, este proyecto ha logrado la potabilización del agua de manantial que tomo para el procedimiento, debido a que los análisis previos demostraron que los parámetros físicos tienen valores altos y se redujeron por el tratamiento del sistema de ósmosis inversa, obteniendo agua que respeta posee aquellas que cumplen con los parámetros especificados en la norma y son aptas para el consumo humano, que además tienen límites aceptables en cuanto a parámetros permisibles, y por lo tanto tienen una “reducción de 68° espesor, 96. 8° conductividad, 95.73

sustancias totales solución, 95 Alcanzar 97. Alcalinidad, 98.85 dureza total, 99.60 magnesio, 93.33 fluoruros, 91.56 cloruros, 87.09 amoníaco, 51.19 nitratos, 98.18 sulfatos, 98.82 coliformes totales” (Carate & Lapo, 2011, p. 176).

Se llega a la conclusión que este sistema de purificación igualmente se puede aplicar en procesos industriales como elaboración de medicamentos o pasteurización de alimentos. Se tuvo en cuenta en este diseño parámetros como la cantidad de flujo de rechazo, la presión del trabajo y permeado obtenido, y se optó por hacer un sistema de recirculación en la línea de rechazo para impedir desperdicio de agua a causa del elevado caudal. Asimismo, se usó un filtro de sedimentos para atrapar materias sólidas y disminuir la turbidez, el porcentaje de cloro y así cuidar la membrana permeable.” (Carate & Lapo, 2011).

Se dice que este sistema tiene tres etapas, la primera de las cuales consiste en "crear un flujo de 32 litros/min con el tubo 1" y la segunda es la descarga en un tubo que proporciona un flujo de 16 litros/min. donde se rechazan 15 litros/min, aprox. 1 litro/min a través de una tubería de 1/2", mientras que la tercera etapa es unidireccional y entrega 16 litros/min a través de una tubería de 3/4" (Carate & Lapo, 2011, p. 178) para regular el flujo de entrada a filtros y membranas .

### **3.5. Caso de México**

En México, se implementó un proyecto donde uno de los objetivos era implementar un sistema de permeado de desalinización de circuito cerrado (CCD RO) en la planta Vallejo de Procter & Gamble (P&G) para reducir costos. Operar y mejorar el uso del agua perteneciente a

esta instalación. Por lo tanto, se analizó el caudal de agua de la planta y se determinaron los equipos y materiales necesarios para instalar la nueva planta. Con el fin de reducir el consumo de agua de la planta y la disposición del agua restante, se destinaron fondos para crear un mapa hídrico de la planta. (Vázquez, 2017).

Se busca implementar esta tecnología, debido a que el agua que se utiliza en las diversas actividades humanas es regresada al ambiente sin ningún tratamiento, de manera que se recibe un agua limpia y se entrega un agua contaminada, lo que está ocasionando un deterioro ambiental que está afectando a todos los seres vivos, pues algunos consumen esta agua sin ser tratada, contrayendo así enfermedades. En México específicamente se presentan sequías e inundaciones debido a su variedad climática y la comunidad no está preparada para hacerle frente a estos fenómenos.

Se dice que un sistema de ósmosis de desalinización de circuito cerrado (CCD RO) funciona en un modo cíclico, de modo que el sistema no tiene cabeza ni cola, por lo que la membrana se desgasta de manera uniforme en todo el sistema, lo que aumenta la vida útil de la membrana. . porcentaje de recuperación del sistema. Debido a que es cíclico, la presión de operación de la bomba de alimentación varía, reduciendo el consumo de energía de la bomba principal. (Vázquez, 2017). Así Procter & Gamble (P&G), empresa de bienes de consumo como alimentación, productos de limpieza y cuidado personal, apuesta por energías 100% renovables en sus instalaciones y el uso de materiales renovables o reciclados, eliminando así los residuos de producción y consumo

Por lo tanto, la empresa se esfuerza por garantizar que el agua tratada tenga la calidad requerida para la producción de sus productos y que sus equipos cumplan con los estándares de calidad y las buenas prácticas de fabricación de P&G, implementando así un sistema de tratamiento de agua en la planta de México. Por lo tanto, se llevaron a cabo inspecciones del sitio, inspecciones técnicas y evaluaciones. Posteriormente, se elaboró un mapa hídrico de la instalación para evaluar las tecnologías a utilizar y seleccionar las más adecuadas.

Con base en lo anterior, se decidió combinar los residuos de la caldera, el ablandador, la torre de enfriamiento y dos operaciones de ósmosis inversa y luego procesarlos a través de un sistema de permeación de desalinización en un circuito cerrado. reciclado. alimentado desde la planta El agua de las operaciones de ósmosis inversa y las purgas ingresará a los sistemas de drenaje industrial o torres de secado. (Vázquez, 2017, p. 29). La tecnología de purificación por ósmosis requiere un pretratamiento para controlar el agua que ingresa al sistema y garantizar la calidad del agua, en este caso el pretratamiento se realiza con filtros de arena y descalcificadores.

El proyecto llegó a la conclusión de que la mejor solución para esta empresa era la implementación de la tecnología de osmosis inversa de circuito cerrado de desalinización, ayudando a tener un mejor cuidado del recurso hídrico, ya que en México y el resto del mundo se ha presentado una elevada escasez de agua, por ello, es compromiso de los futuros profesionales y empresas hacerle frente a esta problemática. Esto sirvió como antecedente para que la empresa implementará esta tecnología en otras plantas en Latinoamérica como Brasil, pues se espera que haya una reducción del consumo de agua en un 30% así como la disminución del agua enviada al drenaje en un 80%. (Vázquez, 2017).

Es así como este proyecto prueba que esta tecnología de osmosis inversa de desalinización de circuito cerrado es rentable e ideal para el tratamiento de agua residual, y que puede ser replicable con las respectivas adecuaciones ingenieriles cumpliendo con los parámetros de calidad del agua. En cuanto a lo económico hay una reducción entre un 48% y un 70%. (Vázquez, 2017). Por último, este proyecto fue seleccionado como uno de los mayores proyectos de innovación de la empresa P&G en 2016 recibiendo fondos para desarrollar la ingeniería y la integración de la tecnología pertinente.

## **Capítulo 4. Análisis comparativo entre el proceso de potabilización de osmosis inversa y el utilizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Manaure, Cesar.**

Se hace referencia al análisis de los propios autores, que analiza datos previamente publicados comparando plantas que utilizan el proceso de ósmosis inversa y su posible aplicación en una planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Manaur Cesar

### **4.1. Descripción de los procesos realizados en la planta de Manaure, Cesar**

A continuación, se nombran las características con las que trabaja la subcuenca del río Manaure y los datos relevantes para una adecuada comparación.

La subcuenca del río Manaure cubre 12.538 hectáreas y está ubicada en el municipio de Manaure Barcón del Cesar en la parte nororiental de la provincia de Cesar. Limita al norte con la ciudad de Rajagua del Pilar (provincia de La Guajira), al sur y al oeste con la ciudad de La Paz (provincia del Cesar) y al este con la República Bolivariana de Venezuela. (CORPOCESAR, 2010)

Nace en Sabana Rubia a una altura de unos 3.000 metros y desemboca en el río Pereira a una distancia de 31 kilómetros a 225 metros sobre el nivel del mar, que es el límite territorial entre las ciudades de Manaure y La Paz. (ver mapa 1). La Corporación Autónoma Regional del César - CORPOCESAR - identificó las subcuencas como prioritarias y las declaró con Resolución N° 5 de agosto de 2003. 112.

El principal caudal de agua de la subcuenca lo proporciona el acueducto de la ciudad de Manaure, el Corregimiento de Sabanas de León, el cual cuenta con un área de riego que abastece de agua a cincuenta y cuatro (54) propiedades. Además, las familias asentadas a orillas del río utilizaban el agua del río para diversos fines, siendo los más importantes las actividades de consumo, agricultura y turismo.

El subcondado tiene una población de 12.873, que se divide. Hay 8.239 personas en la capital, o el 64% del número total; El corregimiento de Sabanas de León tiene 714 habitantes, o el 6% de la población; y 3.920 personas, o el 30% de la población, vive en el campo disperso.

- Nombre de la cuenca: río Manaure cuenta con un área de 11.336 hectáreas, recorriendo un total de 91km.

- Caudal máximo: 90 lts/s desde la planta.

- Caudal mínimo: 5l ts/s por cada barrio

- Acueducto y bocatoma de tipo convencional, el caudal es concesionado

- Tipo de tratamiento: Tratamiento secundario: Microorganismo con cloro gaseoso y

Turbiedad con sulfato en polvo

- El pH es óptimo (natural del agua), se tiene un caudal constante lo cual constituye en promedio a 7.776.000Lts/s diarios para una población de 14mil hab

- El sistema está compuesto por 4 capas de los siguientes materiales: Carbón, Gravilla, Arenón y Atrasita

- Se realiza un porcentaje de 15 lb por 90 lts, Porcentaje 1.2 ppm en plata y 0.6 ppm en el hogar (Cloro gaseoso, Clorador)

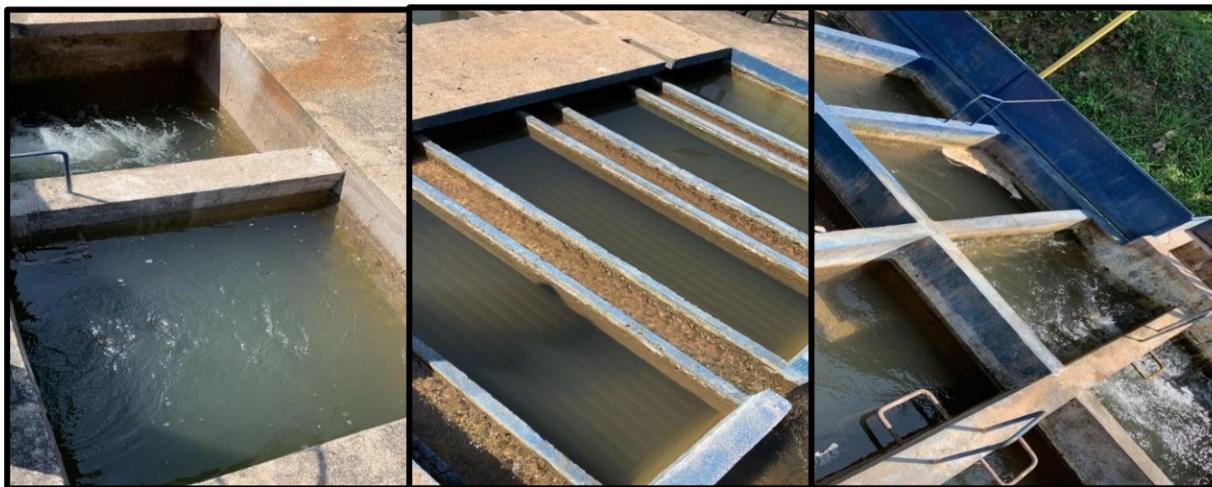
Se realizan análisis microbiológicos como:

- Análisis fisicoquímicos: se tratan microorganismos y coliformes.
- Análisis microbiológicos: se trata la sedimentación
- Se realizan ensayos diarios de: Phmetro y Clorimetria
- La Secretaria de salud hace pruebas mensuales (Microbiológica (microorganismo) y Micro químicas (partículas)), Se maneja sulfato a 100 unidades de turbiedad (Cuando pasa de mil unidades no se permite utilizar sulfato, toca suspender el servicio)
- Los controles se realizan cada 72 hrs equivalentes a 3 días

En la figura 11 y 12 se muestran algunas imágenes de la bocatoma o captación del sistema de tratamiento actual

### **Figura 11**

*Imágenes de la bocatoma o captación*



*Nota.* Fuente propia.

**Figura 12***Imágenes de la bocatoma o captación*

*Nota.* Fuente Propia.

El sistema de captación, se realiza mediante una toma de fondo y una lateral. La Primera se adaptó al acueducto actual con dimensiones de 8 m de largo por 0.50 m de ancho, cuenta con una rejilla con un ángulo de inclinación de 35°, varillas espaciadas a 2 cm de 1", la segunda toma, la lateral tiene dos rejillas de 1.0 m de largo por 0.55 m de ancho, además tiene varillas de hierro de ½" cada 2 cm. (Empresa de servicios públicos "Espuma E.S.P", 2021)

Además de las ya mencionadas, el sistema cuenta con una caja de control, con la cual se realizan los diferentes mantenimientos al canal con dos compuertas, la primera No. 1, de 0.30 m x 0.30 m, es la que controla el retorno del agua al río, el cual se realiza por medio de un canal de

4.96 m de largo, 0.35 m y 0.37 m, el agua pasa a un tubo de 3.5 m de longitud y 10" de diámetro en PVC. La compuerta No. 2 se encarga de regular el caudal de entrada y esta es de 0.30m x 0.30m.

Existen 2 desarenadores de 11.75 m de largo x 3.2m de ancho cada uno, en paralelo, con capacidad de 30 lt/s cada uno, cuentan con una profundidad útil de 1.30 m y fondo de 2.20 m hacia la tubería de lavado.

El agua llega a una cámara de aquietamiento de 6.4 m de ancho, 1.30 m de alto y 10 cm de espesor. Esta cuenta con un muro de repartición con orificios sumergidos. Cada desarenador tiene instalado tres compuertas (admisión, desagüe o lavado y control del efluente hacia la aducción) de 0.30m X 0.30m.

Existen dos sistemas de tipo convencional. EL primero maneja una capacidad nominal de 70 lt/s y el más antiguo maneja un caudal de 20 lt/s. Con la operación de los dos sistemas se ha aumentado la continuidad del servicio en el casco urbano municipal, satisfaciendo la demanda actual de la población. (Empresa de servicios públicos "Espuma E.S.P", 2021)

#### **4.2. Componentes de la Planta de tratamiento de agua potable**

Consta de un vertedero Parshall, que cuantifica el caudal al sistema, y un aliviadero rectangular, tipo Creager, de 3,00 m de largo y 0,63 m de ancho, con una regla para medir la altura del nivel del agua a la entrada.

El sistema cuenta con floculadores tipo Alabama, con dos compartimientos de (10) módulos cada uno; estos miden: 1.10 m, 1.55 m y profundidad de 1.85 m. El agua de cada uno llega a un estanque de medidas: 0.38 m x 0.38 m y 0.97 m de profundidad.

La aplicación del sulfato de aluminio se hace de acuerdo a los resultados de turbiedad del agua obtenidos de la prueba de jarras, la cual es realizada varias veces al día por el operario de la planta. Según lo obtenido se dosifica el sulfato y se aplica en la entrada a la planta por medio de una flauta en tubería PVC. (Empresa de servicios públicos "Espuma E.S.P", 2021)

El sistema cuenta con dos decantadores acelerados, cada uno con dos módulos que transportan el agua a los filtros. Se trata de cuatro filtros autolimpiantes de velocidad constante con una longitud de 2,76 m, una anchura de 5,6 m y una profundidad de 2,30 m. Disponen de un lecho de grava de hormigón armado de 1,50 m de altura con una capa total de grava de 0,35 m 2 mm - 2", 0,25 m de arena y 0,50 m de antracita. También dispone de un canal para recoger el agua de lavado de piezas. Se añade cloro en la final para garantizar que el agua sea potable. , para eliminar el exceso de bacterias. (Empresa de servicios públicos "Espuma E.S.P", 2021)

Los análisis que evalúan la calidad hacen referencia a la determinación de los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos, a través de los cuales se establece la calidad, disponibilidad del agua y se identifican las alteraciones en el recurso y las fuentes de dicha contaminación. (CORPOCESAR, 2010)

El río Manaure es muy importante para su municipio ya que se ha convertido en fuente de agua potable, recreación, agricultura, ganadería y ganadería. Sin embargo, en algunos lugares se utiliza como vertedero de desechos sólidos, efluentes domésticos y agroindustriales, lo que genera degradación y contaminación. Esto puede generar desequilibrios en el ecosistema y el medio ambiente, así como posibles impactos en la salud humana en toda la cuenca. (Corpocesar, 2013).

Los resultados obtenidos en laboratorio al evaluar los parámetros microbianos a partir de los cambios en las precipitaciones en el río Manaueres entre 2010 y 2011 muestran cambios en ambas estaciones climáticas. Por lo tanto, en las estaciones E3 (Balneario Los Caracolí) y E6 (Granja Pereira). (Castillo, Fontalvo, & Borja, 2018 )

Por el contrario, las estimaciones de *E. faecalis* (79,8 MPN/100 ml) y *P. aeruginosa* (14,4 MPN/100 ml) rastreadas en la estación E4 (100 m después del vertedero STAR Manaure) mostraron valores más altos durante la lluvia. De igual forma, los valores en la estación E5 (Balneario Casa Blanca) fueron menores para coliformes totales (76,1 NMP/100 ml), coliformes fecales (3,6 NMP/100 ml) y *E. faecalis* (10,0 NMP/100 ml). La excepción fue *Pseudomonas aeruginosa* (1,5 NMP/100 ml), que apareció en la estación E3 (Balneario Los Caracolí) durante la sequía.(Castillo, Fontalvo, & Borja, 2018 )

Las temperaturas del agua registradas muestran fluctuaciones estacionales, con un promedio de 13,2 °C a 27,7 °C (en el río Manauer). El pH del sistema de agua mantuvo una tendencia alcalina en ambas temporadas, con un rango de 7.3-8.6 (sequía) a 7.3-8.8 (lluvia). En

cambio, en la estación seca, la conductividad es mayor (156 – 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). De igual manera, el nivel de oxígeno disuelto mostró 5,8–9,8 mg/l (época seca) y 8,2–12,2 mg/l (época lluviosa).. (Castillo, Fontalvo, & Borja, 2018 )

Se ha informado la presencia de bacterias (coliformes totales, coliformes fecales, *Enterococcus faecalis*) y bacterias potencialmente patógenas (*Pseudomonas aeruginosa*) indicativas de contaminación fecal en áreas afectadas por vertidos domésticos, agrícolas, urbanos y de aguas residuales menores y *Salmonella*. Cobertura vegetal; nuevamente, corresponden a los tramos inferiores del cauce principal del río, lo que determina directamente la calidad y uso de los recursos hídricos consumidos; sin embargo, pueden ser utilizados con fines agrícolas, domésticos, recreativos y de conservación de flora y fauna. (Castillo, Fontalvo, & Borja, 2018 )

La calidad del río Manaure durante la temporada de lluvias (2010) disminuye con el caudal, por lo que su comportamiento en la estación 1 es similar al caudal de Doña Flor, condición de buena calidad del agua que se muestra en las estaciones 2 y 3. En las Estaciones 4, 5 y 6, la calidad de los recursos se normalizó y la descarga de aguas residuales y las actividades recreativas fueron fuentes importantes de contaminación que alteraron la calidad del agua, como se observa en la Figura 13.. (CORPOCESAR, 2010)

**Figura 13**

*Estimación del índice sobre el Río Manaure, en periodo de lluvias*

Estaciones de muestreo	pH (E)	%OD(A)	DQO(B)	Sólidos suspendidos (C)	Conductividad (D)	Coliformes Fecales (F)	Valor del ICA	Código de color
Estación 1	1.0	1.0	0.91	0.54	1.0	0.98	0.91	
Estación 2	0.73	0.73	0.91	0.79	0.20	0.98	0.73	
Estación 3	0.72	1.0	0.91	0.55	0.20	0.98	0.72	
Estación 4	0.74	0.70	0.91	0.60	0.15	0.98	0.68	
Estación 5	0.67	0.74	0.91	0	0	0.98	0.55	
Estación 6	0.72	0.95	0.71	0	0	0.98	0.56	

*Nota.* Información extraída de(CORPOCESAR,2010)

Durante la época seca (2011), este comportamiento es similar al de la época lluviosa con algunos cambios en la zona del Balneario los Caracolés. Estos cambios están asociados con el aumento de la actividad recreativa y la disminución del caudal, lo que puede aumentar la concentración de algunos contaminantes, como se observa en la Figura 14. (CORPOCESAR, 2010)

**Figura 14**

*Estimación del índice sobre el Río Manaure, en periodo de estiaje 2011.*

Estaciones de muestreo	pH (E)	%OD (A)	DQO (B)	Sólidos suspendidos (C)	Conductividad (D)	Coliformes Fecales (F)	Valor del ICA	Código de color
Estación 1	1.0	0.60	0.91	0.95	1.0	0.98	0.91	
Estación 2	0.78	0.68	0.91	0.94	0	0.98	0.71	
Estación 3	0.80	0.73	0.71	0.95	0	0.98	0.69	
Estación 4	0.85	0.72	0.91	0.98	0	0.98	0.74	
Estación 5	0.81	0.68	0.91	0.95	0	0.88	0.70	
Estación 6	0.81	0.75	0.71	0.93	0	0.98	0.69	

*Nota.* Información extraída de(CORPOCESAR,2010)

Con base en el IRCA promedio anual por ciudad reportado por el sector del Cesar a SIVICAP (2013), se encontró que el 66% de la población del sector bebe agua segura, el 11%

son de bajo riesgo, el 7% de riesgo moderado y el 16% restante son agua alta. peligro para la salud. Como se observa en la Figura 15

### Figura 15

*Distribución del nivel de riesgo en Cesar de acuerdo con el IRCA*

Convención de Colores					
Sin Riesgo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Inviabile Sanitariamente	No Reporta
0 - 5	5.1 - 14	14.1 - 35	35.1 - 80	80.1 - 100	

*Nota.* Información extraída de(CORPOCESAR,2010)

De acuerdo con el análisis de la información proporcionada por las agencias mencionadas al SIVICAP en 2013, el puntaje promedio de los IRCA específicos de la industria fue de 11,27, lo que corresponde a un nivel de riesgo bajo.

Hay 25 ciudades en César, todas las cuales SIVICAP (2015) brinda información sobre la calidad del agua. Según IRCA, 7 ciudades no tienen riesgo, 6 ciudades tienen un nivel de riesgo medio y 3 ciudades tienen un nivel de riesgo bajo. El análisis arrojó que los departamentos de Astrea, Bosconia, Chiriguaná, El Paso, González, La Gloria, Pailitas, Cesar reportaron un total de 842 pruebas en 2015, de las cuales 771 se realizaron en zona urbana y 13 en zona urbana. En el área rural, 58 muestras no fueron reportadas en el área de recolección.(BERMÚDEZ, 2015)

Los resultados del IRCA Urbano fueron similares a los de los municipios regulares, La Jagua de Ibirico no tuvo reportes y solo 5 municipios reportaron en zona rural, de los cuales 2

mostraron un nivel de riesgo alto y 1 mostró derrame de agua en zonas peligrosas. a niveles donde el saneamiento no era posible. (Bermúdez, 2015). Como se muestra en la Figura 16

**Figura 16.**

*Resultados IRCA en Cesar 2015.*

ID	Municipios	Municipal		Zona Urbana		Zona Rural	
		Número de Muestras	IRCA (%)	Número de muestras	IRCA (%)	Número de muestras	IRCA (%)
20443	Manaure	19	12.35	19	12.35		
20517	Pailitas	39	58.29	9	65.75		
20550	Pelaya	7	41.89	2	79.57		
20570	Pueblo Bello	35	16.55	35	16.55		
20614	Río de Oro	39	2.80	39	2.80		
20710	San Alberto	60	1.57	60	1.57		
20750	San Diego	1	0.00	1	0.00		
20770	San Martín	13	13.48	13	13.48		
20787	Tamalameque	6	100.00	5	100.00	1	100.00
20001	Valledupar	219	0.65	219	0.65		
Convención de Colores							
Sin Riesgo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Inviabile	No Reporta		
14,1 – 35	35,1 – 80	14,1 – 35	35,1 – 80	80,1 - 100			

*Nota.* Fuente: SIVICAP,– DRSP, Instituto Nacional de Salud

A continuación, se presenta el IRCA del municipio de Manaure para tener la continuidad del riesgo presentado

**Tabla 14.***Informe IRCA consolidado mensual por municipio***Cesar - Manaure****Período: Enero 2015 - Diciembre 2019**

Año: 2015

Mes	Número de Muestras de Vigilancia	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Vigilancia Mensual	Número de Muestras de Control	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Control Mensual	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Febrero	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Marzo	3	13,0	1,7	0	0,0	0,0	1,7	SIN RIESGO
Abril	2	17,0	45,5	0	0,0	0,0	45,5	ALTO
Mayo	2	17,0	0,8	0	0,0	0,0	0,8	SIN RIESGO
Agosto	2	19,0	25,3	0	0,0	0,0	25,3	MEDIO
Septiembre	2	16,0	8,1	0	0,0	0,0	8,1	BAJO
Noviembre	2	16,0	16,4	0	0,0	0,0	16,4	MEDIO
Diciembre	2	2,0	18,8	0	0,0	0,0	18,8	MEDIO

Año: 2016

Mes	Número de Muestras de Vigilancia	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Vigilancia Mensual	Número de Muestras de Control	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Control Mensual	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Enero	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Febrero	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Marzo	1	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Mayo	2	11,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Julio	1	11,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Octubre	3	8,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Noviembre	2	9,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Diciembre	1	7,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO

Año: 2017

Mes	Número de Muestras de Vigilancia	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Vigilancia Mensual	Número de Muestras de Control	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Control Mensual	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Enero	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO

Febrero	4	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Marzo	2	11,0	8,9	0	0,0	0,0	8,9	BAJO
Mayo	4	15,0	36,2	0	0,0	0,0	36,2	ALTO
Junio	4	14,0	21,1	0	0,0	0,0	21,1	MEDIO
Julio	2	13,0	80,9	0	0,0	0,0	80,9	INVIABLE SANITARIAMENTE
Agosto	2	13,0	80,9	0	0,0	0,0	80,9	INVIABLE SANITARIAMENTE
Octubre	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Noviembre	1	12,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Diciembre	1	12,0	78,6	0	0,0	0,0	78,6	ALTO

Año: 2018

Mes	Número de Muestras de Vigilancia	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Vigilancia Mensual	Número de Muestras de Control	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Control Mensual	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Febrero	1	10,0	81,5	0	0,0	0,0	81,5	INVIABLE SANITARIAMENTE
Julio	1	10,0	81,5	0	0,0	0,0	81,5	INVIABLE SANITARIAMENTE
Agosto	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE
Septiembre	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE
Octubre	1	10,0	81,5	0	0,0	0,0	81,5	INVIABLE SANITARIAMENTE
Noviembre	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE
Diciembre	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE

Año: 2019

Mes	Número de Muestras de Vigilancia	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Vigilancia Mensual	Número de Muestras de Control	Promedio de Parámetros Analizados	IRCA Control Mensual	IRCA Consolidado Mensual	Nivel de Riesgo
Enero	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE
Febrero	1	2,0	100,0	0	0,0	0,0	100,0	INVIABLE SANITARIAMENTE
Marzo	1	11,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Abril	1	11,0	66,3	0	0,0	0,0	66,3	ALTO
Mayo	1	11,0	18,1	0	0,0	0,0	18,1	MEDIO
Junio	2	2,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Julio	1	10,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO
Agosto	1	10,0	67,5	0	0,0	0,0	67,5	ALTO
Septiembre	1	10,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	SIN RIESGO

Octubre	1	10,0	67,5	0	0,0	0,0	67,5	ALTO
Noviembre	1	10,0	67,5	0	0,0	0,0	67,5	ALTO
Diciembre	1	10,0	67,5	0	0,0	0,0	67,5	ALTO

<b>Año</b>	<b>Municipio</b>	<b>Mes</b>	<b>Muestras analizadas en el municipio</b>	<b>Promedio de parámetros analizados en el municipio</b>	<b>IRCA municipal</b>	<b>Nivel riesgo municipal</b>
2020	MANAURE	ENERO	2	4	50	Riesgo Alto
2020	MANAURE	MARZO	1	2	0	Sin Riesgo
2020	MANAURE	ABRIL	1	3	0	Sin Riesgo
2020	MANAURE	MAYO	1	10	18,4049	Riesgo Medio
2020	MANAURE	JUNIO	1	11	67,4846	Riesgo Alto
2020	MANAURE	AGOSTO	1	11	67,4846	Riesgo Alto
2020	MANAURE	SEPTIEMBRE	1	12	85,8895	Inviabile Sanitariamente
2020	MANAURE	OCTUBRE	1	10	36,8098	Riesgo Alto
2020	MANAURE	NOVIEMBRE	2	23	89,5705	Inviabile Sanitariamente
2020	MANAURE	DICIEMBRE	1	11	67,4846	Riesgo Alto
2021	MANAURE	ENERO	1	2	0	Sin Riesgo
2021	MANAURE	FEBRERO	1	3	0	Sin Riesgo
2021	MANAURE	MARZO	1	3	0	Sin Riesgo
2021	MANAURE	ABRIL	1	11	55,2147	Riesgo Alto
2021	MANAURE	MAYO	1	12	84,8484	Inviabile Sanitariamente
2021	MANAURE	JUNIO	1	11	85,8895	Inviabile Sanitariamente
2021	MANAURE	JULIO	1	11	36,8098	Riesgo Alto
2021	MANAURE	AGOSTO	1	11	85,8895	Inviabile Sanitariamente
2021	MANAURE	SEPTIEMBRE	1	11	85,8895	Inviabile Sanitariamente
2021	MANAURE	OCTUBRE	1	11	36,8098	Riesgo Alto
2021	MANAURE	NOVIEMBRE	2	22	52,1472	Riesgo Alto
2021	MANAURE	DICIEMBRE	1	7	38,2165	Riesgo Alto
2022	MANAURE	ENERO	1	2	0	Sin Riesgo
2022	MANAURE	FEBRERO	1	11	18,4049	Riesgo Medio
2022	MANAURE	MARZO	1	11	0	Sin Riesgo
2022	MANAURE	ABRIL	1	11	36,8098	Riesgo Alto
2022	MANAURE	MAYO	1	11	36,8098	Riesgo Alto
2022	MANAURE	JUNIO	1	11	18,4049	Riesgo Medio
2022	MANAURE	JULIO	2	13	27,9525	Riesgo Medio
2022	MANAURE	AGOSTO	1	10	0	Sin Riesgo

*Nota.* Informe IRCA consolidado mensual por municipio MANAURE Fuente: SIVICAP

Según el gerente de Servicios Públicos Manaure Espuma E.S.P, Jorge Fragozo,, el 37,5% de los resultados del IRCA en 2021 se deben a los deslaves provocados por las lluvias. agua. (Namieh Baute Barrios, 2021)

*“Nos toca suspender los procesos de desinfección porque los químicos y filtros no logran asentar los sedimentos. Enviamos el agua para que las personas la utilicen en las labores domésticas. Actualmente está en curso un plan que contempla la construcción de una nueva planta de tratamiento para que las lluvias no generen afectaciones en el servicio”,* explicó Fragozo.

En las subcuencas del río Manaure se cultivan pequeños cultivos de cacao, banano, malanga, caña de azúcar, yuca, cebolla, maíz, frijol y frutas. Tienen una marca negativo sobre el suelo, las plantas y los factores hídricos; también se debe mencionar la tala y quema, así como el uso de agroquímicos, que son fuentes difusas de contaminación de los recursos naturales.

Las explotaciones ganaderas, como las granjas avícolas de la vereda Sabana de León y las ganaderas de las haciendas de Pereira, descargan residuos sólidos y líquidos al río Manaure sin ningún tratamiento, aumentando el grado de modificación del recurso. (CORPOCESAR, 2010)

#### **4.3. Tratamiento secundario.**

El propósito del tratamiento es poder descomponer y evacuar el material pasado por los tratamientos anteriores y dejar atrás los lodos traídos de las bocatomas. Es importante lograr los

porcentajes deseados por lo cual el proceso general del tratamiento pasa por una fase crítica donde la coagulación y la desinfección tienen sus propios beneficios y desventajas.

Dentro del tratamiento realizado en la planta de Manaure, Cesar, se llevan a cabo dos pasos importantes, el tratamiento de microorganismo con cloro gaseoso y Turbiedad con sulfato en polvo, a continuación se explicará un poco de estos, analizando sus ventajas y desventajas.

La desinfección es un proceso que se utiliza hace muchos años, en este caso de análisis, en las plantas de tratamiento de Brasil es muy común utilizar el cloro gaseoso para la finalización del tratamiento del agua, esta etapa tiene como objetivo principal eliminar los organismos indeseables del agua, considerando el cloro muy eficaz ya que contiene una acción oxidante utilizada en la remoción de los ácidos, el sabor, el color y el olor.

La presencia del compuesto va en relación al pH del agua, la forma dominante asegura la calidad en todas las etapas, como ventaja se tiene que es un método bastante económico y fácil de utilizar, al ser uno de los más utilizados para desinfectar el agua es importante en el proceso de las plantas de tratamiento, tanto así que depende de la contaminación del agua del agua, el uso del cloro gaseoso podría ser el único tratamiento a utilizar. (FluidFeeder, 2019)

El cloro penetra en las membranas y elimina los microorganismos, la dosificación de este en la etapa de desinfección asegura la eficiencia del procedimiento evitando riesgos a la salud, por ello se deben tener en cuenta las reglamentaciones dadas para dicha dosificación, al tener una gran eficiencia en la eliminación de los organismos patogénicos del agua como ventaja, además

de su bajo costo, la tolerancia y el no afectar la salud se prioriza como un tratamiento de prioridad y de alta calidad.

Por otra parte, la turbiedad es una propiedad óptica que hace que la luz se absorba o disperse y no se transmitan son alterar una muestra, al utilizar este tratamiento para potabilizar el agua se debe tener en cuenta los componentes e impurezas de la misma, la calidad y los grados de tratamientos a los que ha sido sometida, el impacto ambiental de igual forma es muy importante, las dosis óptimas pedidas para la remoción están dadas por los ensayos realizados con el coagulante.

Asimismo, debe cumplir con las normas y resoluciones que arrojen los resultados requeridos en la remoción de los parámetros analizados, determinar la turbiedad es de gran importancia ya que el agua debe estar cumpliendo con todos los factores de calidad para el consumo.

Los sulfatos son coagulantes que adicionados al agua pueden producir reacciones químicas, reaccionan con la alcalinidad del agua produciendo hidróxidos, se sedimenta y deja un líquido clarificado. Dentro de las características para consumo del agua están el olor, sabor, turbiedad y color, para tal efecto y debido al cumplimiento de los parámetros y valores máximos aceptables, la planta de tratamiento de Manaure utiliza y desarrolla estas mezclas determinados por los ministerios de protección, mencionando las implicaciones directas a la calidad de vida del ser humano. (Pérez, 2016).

#### 4.4. Ventajas del tratamiento secundario

- Bajo costo.
- Fácil de implementar
- Alta tolerancia de la población a los químicos utilizados.
- Disminución del tiempo en el tratamiento de las aguas.

#### 4.5. Desventajas del tratamiento secundario

- Se puede considerar un proceso aditivo.
- Requiere de productos químicos para lograr resultados
- La dosificación debe ser exacta para que se realice de manera optima
- El cloro es volátil, requiere un manejo cuidadoso, varios virus no se ven afectados por su uso.

Habiendo analizado los componentes de la PTAP de Manaure, Cesar, se expondrán las características del tratamiento realizado por medio de la osmosis inversa, donde se lograrán ver las diferencias y al final se evidenciaran las ventajas y desventajas de ambos métodos

La OI funciona aplicando presión al agua empujandola a través de una membrana para filtrarla, dando como resultado un mecanismo difusivo dando mayor eficacia en la separación de las concentraciones de soluto, es comúnmente conocida por la purificación de agua de mar, ya que por su metodología elimina la sal y demás materiales en la molécula del agua.

Para su implementación es necesario el uso de una bomba con gran capacidad al lado de la membrana, la presión a tener depende la concentración de la sal del agua a tratar, como resultado se tienen dos flujos de agua, una con sales y contaminantes y el agua filtrada.

La osmosis elimina hasta el 99% de las sales, bacterias, coloides y partículas, a pesar de esto es recomendable realizar tratamientos previos a esta, pre tratamientos químicos que ayuden a minimizar los riesgos y aseguren una mejor funcionalidad de la membrana.

### **Desarrollo de la desalación**

La implantación de la OI en la desalación supone costes de inversión, operación y construcción de las plantas desaladoras se reducirán significativamente, reduciendo así el precio del agua desalada, creando la oportunidad de desarrollar la desalación para obtener agua de calidad. cada vez más rincones de la tierra.

La ósmosis inversa se utiliza para desalinización, potabilización y abastecimiento de agua, y sus aplicaciones pueden ser industriales o de riego.

La tecnología ofrecida por la osmosis inversa ofrece un tratamiento un agua que cumpla con las necesidades específicas de consumo. De igual forma la osmosis inversa también se utiliza en las aguas residuales tanto municipales como industriales, depurando y logrando así el aprovechamiento posterior de estas aguas. A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas del tratamiento:

#### **4.6. Ventajas del tratamiento por ósmosis inversa**

- Los mecanismos filtrantes utilizados en el tratamiento ayudan a eliminan bacterias como *Cryptosporidium* y *Giardia* se filtran eficientemente, aminorando los riesgos de enfermedades gastrointestinales o en general.

- Eliminación del color y sabor de residuos de cloro
- Este sistema es portátil, adaptándose a espacios físicos pequeños
- Se produce agua de alta calidad

#### **4.7. Desventajas del tratamiento por ósmosis inversa**

- El agua se desmineraliza, por ende, se eliminan los minerales saludables naturales del agua, dado esto el sistema se debe completar con un filtro remineralizador.

- Evita agua acida.
- Los sistemas de filtros pueden obstruirse, por lo que se necesita realizar la instalación de una serie de filtros de sedimentación antes del filtro de osmosis.
- La filtración es un proceso lento
- La producción suele ser de 15 galones de agua-día
- Quedan bastantes residuos

Este tratamiento es una herramienta que ofrece un recurso a los problemas de distribución y limpieza del agua, por lo que se puede concluir que es una tecnología avanzada, teniendo en cuenta que la expansión de este sistema es un hecho irreversible debido a su economía barata. , simplicidad de construcción y facilidad de operación del dispositivo, y debido a que no requiere calor, tiene grandes ventajas sobre la destilación.

La efectividad de este tratamiento y sistema para purificar agua como es el uso de las zonas industriales es indudable.

Se anexa una tabla resumen donde se comparan las ventajas y desventajas de ambos tratamientos.

**Tabla 15**

*Comparación de ambos tratamientos.*

<b>COMPARATIVO</b>		
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>PLANTA MANAURE</b>	<b>OSMOSIS INVERSA</b>
<b>Características</b>	<p>El sistema está compuesto por 4 capas de los siguientes materiales: Carbón, Gravilla, Arenón y Atrasita</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utiliza un porcentaje de 15lb por 90lts, Porcentaje 1.2 partes por millón en plata y 0.6 partes en el hogar (Cloro gaseoso, Clorador)</li> </ul> <p>Se realizan análisis microbiológicos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis fisicoquímicos: se trata la sedimentación.</li> <li>- Análisis microbiológicos: se tratan microorganismos y coliformes.</li> <li>- Se realizan ensayos diarios de: Phmetro y Clorimetria</li> <li>- La Secretaria de salud hace pruebas mensuales (Microbiológica (microorganismo) y Micro químicas (partículas)), Se maneja sulfato a 100 unidades de turbiedad (Cuando pasa de mil unidades no se permite utilizar sulfato, toca suspender el servicio)</li> <li>- Los controles se realizan cada 72hrs=3 días</li> </ul>	<p>La ósmosis inversa utiliza presión con el fin de ser pasado el medio acuoso por una membrana, dando como resultado un mecanismo difusivo dando mayor eficacia en la separación de las concentraciones de soluto, es comúnmente conocida por la purificación de agua de mar, ya que por su metodología elimina la sal y demás materiales en la molécula del agua. La osmosis elimina hasta el 99% de las sales, bacterias, coloides y partículas, a pesar de esto es recomendable realizar tratamientos previos a esta, pre tratamientos químicos que ayuden a minimizar los riesgos y aseguren una mejor funcionalidad de la membrana</p>
<b>Tipo de tratamiento</b>	Secundario.	Ósmosis Inversa.

<b>Compuestos y funcionamiento</b>	Está compuesta por una canaleta parshall, de igual forma se tiene un vertedero rectangular, El sistema cuenta con Floculadores tipo Alabama, La aplicación del sulfato de aluminio se hace de acuerdo a los resultados de turbiedad del agua obtenidos de la prueba de jarras, EL sistema tiene dos sedimentadores de tasa acelerada, por último se agrega cloro que elimina el exceso de bacterias.	bomba con gran capacidad al lado de la membrana, Filtro de cartucho, Panel de control, membranas de Ósmosis Inversa.
<b>Ventajas</b>	<p>Bajo costo.</p> <p>Fácil de implementar</p> <p>Alta tolerancia de la población a los químicos utilizados.</p> <p>Disminución del tiempo en el tratamiento de las aguas.</p>	<p>- Los filtros utilizados en el tratamiento ayudan a eliminar las bacterias y patógenos del agua. Las bacterias como Cryptosporidium y Giardia se filtran eficientemente, disminuyendo enfermedades gastrointestinales o de otro tipo.</p> <p>- Eliminación de olor y sabor del cloro.</p> <p>- Se ahorra dinero al no utilizar garrafones de agua.</p> <p>-El sistema de osmosis inversa ocupa poco espacio</p> <p>-Se produce agua de alta calidad, por lo cual los alimentos procesados tendrán mejor sabor.</p>
<b>Desventajas</b>	<p>Se puede considerar un proceso aditivo.</p> <p>quiere de productos químicos para lograr resultados</p> <p>La dosificación debe ser exacta para que se realice de manera optima</p> <p>El cloro es volátil, requiere un manejo cuidadoso, varios virus no se ven afectados por su uso.</p>	<p>Los filtros desmineralizan el agua, por ende, se eliminan los minerales saludables naturales del agua, dado esto el sistema se debe completar con un filtro remineralizador.</p> <p>- La eliminación de los minerales hace Reducción de minerales, disminuyendo la acidez del agua.</p> <p>- Los sistemas de filtros pueden obstruirse, por lo que se necesita realizar la instalación de una serie de filtros de sedimentación antes del filtro de osmosis.</p> <p>- La filtración es un proceso lento,</p>
<b>Porcentaje de remoción</b>	Remueve el 60% de los sólidos suspendidos del agua y un 35 a 40% de la DBO.	95% de recuperación de agua potable.

*Nota.* Ventajas y desventajas de los tratamientos (Secundario, osmosis inversa) Fuente Autores

## Conclusiones

Con el análisis realizado y ensayos de laboratorio se observa una necesidad de usar un mejor sistema de tratamiento para el agua potable cosa que garantice una mejor calidad para su uso y consumo. El agua es el recurso básico que garantiza la vida, por lo cual es fundamental acceder a él, aunque las condiciones han mejorado significativamente a lo largo de los años y los tratamientos cada vez más se van desarrollando en pro de resolver los problemas presentados frente a la calidad del agua aún hay escasez de agua y la población se ve afectada por la contaminación que esta sufre.

El tratamiento propuesto conocido como osmosis inversa ayuda a obtener agua purificada ya que parte de un proceso donde el agua se oxigena y desarrolla un comportamiento que ayuda a combatir la caracterización fisicoquímica y microbiológica del cauce. Las altas o bajas precipitaciones también son un factor importante en la variación de la contaminación de las aguas y del porcentaje de abastecimiento del mismo, por ende un tratamiento donde se aumente su eficiencia y eficacia es lo primordial puesto que se encarga de establecer los grados de afectaciones del recurso a utilizar y con esto se aminoran los índices de calidad del agua.

Las condiciones que presentaron las estaciones dispuestas mostraron el impacto negativo generado por las actividades de las zonas aledañas, se identifica y establecen los grados de afectación del recurso con este método y con esto se determinan las actividades significativas. El impacto relacionado tras los estudios muestran la caracterización de la calidad del agua obtenida con el fin de usarlo para el consumo humano, aunque según los informes del IRCA el índice se

ha mantenido bajo, en promedio, se está manifestando una tendencia creciente debido al limitado tratamiento realizado, aunque este cubre lo básico y logra obtener un mínimo de calidad no es el apropiado para establecer un mejor recurso de consumo, el corto tratamiento hace que las diferentes bacterias aún sobrevivan y causen afectaciones en la salud de los consumidores.

Por esto la propuesta de mejorar el tratamiento convencional reemplazándolo por uno moderno con mejores capacidades y mejores resultados en comparación con los realizados supone un avance significativo en la calidad del recurso a consumir.

La oxigenación permitida por la osmosis inversa y el porcentaje de limpieza generado lo convierte en un tratamiento apto para establecer mejores parámetros de calidad mejorando la destinación del recurso, toda vez que se logran eliminar en mayor porcentaje los sólidos, la dureza, turbiedad, coliformes, mejora el PH y optimiza la PTAP.

Hay que tener en consideración de igual forma que un fallo en el sistema puede acarrear a una contaminación a gran escala y esto a su vez afecta de manera considerable al abastecimiento general, el número de contaminantes químicos afectan la salud de las personas y la trazabilidad del recurso debe ser consistente pues se realiza la purificación del líquido hasta determinar las mínimas concentraciones y una óptima calidad. Además la remoción de las partículas contaminantes producidas por las actividades culturales y agrícolas así como el caso de los pesticidas, productos farmacéuticos y de higiene personal del sector no se encuentran estipuladas dentro de la normatividad y los tratamientos tradicionales realizados, son ineficientes para la remoción de los mismos, al no estar dentro de la normatividad no se tienen en cuenta aun cuando

afectan directamente la salud de las personas, partiendo de esto, los resultados y las pruebas y la determinación de los parámetros según los porcentajes normativos se considera que un cambio de equipos, químicos, una mejora de unidades y medios filtrantes hace más viables en términos técnicos, económicos y ambientales la optimización del tratamiento y la actualización en la calidad del agua para el consumo. Se hace la recomendación a las entidades estatales de hacer énfasis en la actualización de la normatividad establecida, actualizando la información de los contaminantes a tener en cuenta, esto sirve de base para posteriores estudios que permitan generar alternativas que mejoren la eliminación y purificación de residuos y el sistema de tratamiento en el sector.

## **Recomendaciones**

Debido a la gran carga contaminante que actualmente presenta la cuenca que abastece de agua potable del Municipio de Manuare, Cesar, se hace necesario implementar métodos que ayuden a disminuir el IRCA que actualmente se presenta con el fin de proporcionar condiciones de bienestar a la población.

La implementación del sistema de osmosis inversa implica una gran inversión económica que debe ser evaluada y puesta a un análisis de factibilidad económica de la población del municipio de Manaure, cesar, y de esta manera determinar su implementación.

## Referencias

- Acuatecnica S.A.S. (2018) Características de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales. <https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>
- Acciona (2020) Potabilización del agua. Acciona.com [https://www.acciona.com/es/tratamiento-deagua/potabilizacion/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/tratamiento-deagua/potabilizacion/?_adin=02021864894)
- Aniruddha B. & Pandit, J. K. (2015). Clean Water for Developing Countries. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering , 217-246.
- Asociación de médico de sanidad exterior A.M.S.E (2022) Métodos de potabilización del agua. <https://www.amse.es/informacion-salud-y-viajes/recom-generales/273-potabilizacion-del-agua#:~:text=La%20forma%20m%C3%A1s%20eficaz%20de,despu%C3%A9s%20enfriarse%20a%20temperatura%20ambiente.>
- Aschermann G, J. A.-P. (2016). Seasonal variation of organic matter concentration and characteristics in the Maji ya Chai River (Tanzania): Impact on treatability by ultrafiltration. Water Research, 370-381.
- Aix, V. M. (2021). Diseño de una planta potabilizadora de agua ubicada en el Maresme. *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/handle/10251/177695>

BERMÚDEZ, J. G. (2015). INCA 2015. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de  
INFORME NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO  
INCA 2015:

[https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-2015\\_reducido.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-2015_reducido.pdf)

Buch, W. (2017) Así es el proceso o etapas para potabilizar el agua. [aquasistemas.com.gt](http://aquasistemas.com.gt)

<https://aquasistemas.com.gt/sin-categoria/el-proceso-o-etapas-para-potabilizar-el-agua>

Benavides, J. A. (2011). Diseño de planta de tratamiento de agua de ósmosis inversa para la empresa Dober Osmotech Colombia LTDA. *Universidad de Occidente*. Obtenido de

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3077/TBM00990.pdf;jsessionid=3A683E5268EABF3CE7B98BCAD1D0E733?sequence=1>

Carate, E.A. & Lapo, L.A. (2011) Diseño y construcción de una planta prototipo para purificación de agua de vertientes por el método de osmosis inversa. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1053/1/UPS-KT00015.pdf>

Colbun (2018a) Planta de Osmosis Inversa de Colbún recibe premio a la Innovación. [Colbun.cl](http://Colbun.cl)

<https://www.colbun.cl/planta-de-osmosis-inversa-de-colbun-recibe-premio-a-la-innovacion/>

Colbún (2018b) Planta depuradora permite ahorro de 50% de agua en termoeléctrica Nehuenco.

Colbun.cl <https://www.colbun.cl/planta-depuradora-permite-ahorro-de-50-de-agua-en-termoelectrica-nehuenco/>

Contreras, K.G. & Estancio, J.F. (2021) Tratamiento de agua de pozo por osmosis inversa para usos en la industria agrícola. [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio De Loyola]

<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2b7cf689-e2e2-4351-bced-788e6521f626/content>

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) (2021) Unidad 4. Capítulo 2. Precolación.

[https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni\\_04/u4c3s1.htm#Anchor6](https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni_04/u4c3s1.htm#Anchor6)

Chávez, M. A. (2013). Instalación de moderna planta de agua en la refinería. *Vanguardia*.

Obtenido de <https://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/instalan-moderna-planta-de-agua-en-la-refineria-MAVL216192>

Claudio, D., Ana, Á., Lucas, M., Verónica, C., Federico, M., Federico, E., & Cataldi, Z. (2018).

Análisis de membranas de Ósmosis Inversa. *PROIMCA-PRODECA*, 2.

Castillo, Y. M., Fontalvo, J. A., & Borja, I. M. (No. 46, enero - junio de 2018 ). CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS RÍOS MANAURE Y CASACARÁ, DEPARTAMENTO DEL CESAR, COLOMBIA. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de No. 46 Luna Azul ISSN 1909-2474 ©Universidad de Caldas: [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul46\\_7.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul46_7.pdf)

CORPOCESAR. (2010). CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CESAR “CORPOCESAR”. Recuperado el 24 de septiembre de 2022, de Informe Final Pomca Manaure: <https://www.corpocesar.gov.co/files/Informe%20Final%20Pomca%20Manaure.pdf>

Delgado, J. E. (2020). Evaluación de la eficiencia de la ósmosis inversa en una planta de tratamiento de agua residual en la industria minera. *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80846/1152707315.2021.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Dévora, G. E., López, M. E., Fimbres, G. A., Álvarez, J., & Astorga, S. (2016). Desalación por ósmosis inversa y su aprovechamiento en agricultura en el Valle del Yaqui, Sonora, México. *Scielo*, 7. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000300155](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300155)

Díaz, A. S. (2008). Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. *Universidad Rey Juan Carlos*. Obtenido de

<https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/4605/Tesis%20ARCADIO%20SOTTO%20D%c3%8dAZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EXPOK (2013) Desalinización de agua de mar, el negocio del ‘mañana’. expoknews.com.

<https://www.expoknews.com/desalinizacion-de-agua-de-mar-el-negocio-del-manana/>

Fan del agua (2017) 6 Métodos para purificar el agua. <https://fandelagua.com/6-metodos-para-purificar-el-agua/>

Fibras y Normas de Colombia S.A.S (2022) PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

POTABLE – PTAP: FUNCIONAMIENTO Y TIPOS.

<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>

Fibras y normas de Colombia. (2015). *Ósmosis inversa, características del proceso*. Obtenido de

<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/osmosis-inversa-se-define-cuales-las-caracteristicas-del-proceso-equipos-tecnologicos-utilizados-aplicacion/>

- Gutiérrez, F.J. (2009) Internacionalización de Tratamiento para Recuperación Membranas de Osmosis Inversa: El Caso De La Empresa Regenera. [Tesis de posgrado, Universidad de Chile] <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102225/Internalizacion-de-tratamiento-para-recuperacion-membranas-de-osmosis-inversa.pdf?sequence=3>
- Grisales, D.K. (2010) Sistema no convencionales de tratamiento de aguas superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (Caso Villa – Clarín) [Tesis de pregrado Universidad Militar Nueva Granada]
- García, J. C. (2015). Proceso de desalación de agua de mar mediante un sistema de ósmosis inversa de muy alta conversión en tres etapas con recirculación de permeado y doble sistema de recirculación de energía. *Universidad del País Vasco*. Obtenido de [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18530/TESIS\\_CABERO\\_GARCIA\\_JULEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18530/TESIS_CABERO_GARCIA_JULEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/494/GrisalesPenagosDayana2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Hernández, E.J. & Corredor, C.A. (2017) Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la universidad católica de Colombia. [Tesis de pregrado, universidad católica de Colombia] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14556/1/DISE%C3%91O%20Y%20>

[CONSTRUCCION%20DE%20UNA%20PLANTA%20MODELO%20DE%20TRATAMIENTO%20PARA%20LA%20POTABILIZACION%20DE%20AGUA.pdf](#)

Health, U. A. (2015). 25 progress on sanitation and drinking water 2015 update and MDG assessment.

Hernandez, A., Tejerina, F., Arribas, J., Martinez, L., & Martinez, F. (1990). Microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jZ0Z9-G8YdoC&oi=fnd&pg=PA6&dq=qu%C3%A9+es+la+%C3%B3smosis+inversa&ots=E9GvasWz8w&sig=b2ErDDVuC4bpHrQzQ9c3Rn4pBrY#v=onepage&q=qu%C3%A9%20es%20la%20%C3%B3smosis%20inversa&f=false>

Islam S, A. K.-H. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 282-291

Jiménez, S. Y., & Jiménez, M. A. (2017). *Diagnóstico y optimización de la PTAP del municipio Fómeque (Cundinamarca)*. Fómeque. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14485/4/PROYECTO%20DE%20GRADO%20PTAP%20FOMEQUE.pdf>

LMI (2022) Coagulación y Floculación en el tratamiento de agua: Bombas dosificadoras y mezcladoras. <https://www.lmipumps.com/> <https://www.lmipumps.com/es->

[co/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment#:~:text=La%20coagulaci%C3%B3n%20es%20el%20proceso,proceso%20para%20neutralizar%20la%20carga.](#)

Lévano, K. G., & Jimenez, J. F. (2021). Tratamiento de agua de pozo por ósmosis inversa para usos en la industria agrícola. *Universidad San Ignacio de Loyola*. Obtenido de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2b7cf689-e2e2-4351-bced-788e6521f626/content>

López, J. E. (2010). *Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal*. Bucaramanga. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133761.pdf>

López, Y. A., Martínez, P. A., & Quevedo, K. D. (2018). Análisis comparativo de tecnologías de potabilización del agua de las plantas Jebel Ali (Dubai) y El Dorado (Bogotá) para determinar la aplicabilidad técnica de la ósmosis inversa en la Guajira. *Universidad Piloto de Colombia*. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004571.pdf>

Moreno, J.A. (2011) DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE OSMOSIS INVERSA PARA LA EMPRESA DOBER OSMOTECH DE COLOMBIA LTDA.  
[Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de occidente]

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3076/TBM00990.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martínez, A. R., & Coronel, M. C. (2015). Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector Chuina, Morales-San Martín. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. Obtenido de [https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/621/0](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/621/0)

Martinez, P. J. (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 SAS. *Fundación Universidad de América*. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7379/1/6121916-2019-1-IQ.pdf>

Mellado, M. S. (2017). Sistema de tratamiento de aguas mediante ósmosis inversa. *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15143/Informe.pdf?sequence=3>

Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2007). *Resolución 2115*. Obtenido de <https://laboratoriodeanalisis.lasalle.edu.co/wcm/connect/LIAC/d951c109-a227-44a3->

[8a42-1d1f87db2b43/Resoluci%C3%B3n\\_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMo0SFe](https://www.resoluciones.gov.co/Resoluci%C3%B3n_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMo0SFe)

Namieh Baute Barrios. (8 de SEPTIEMBRE de 2021). EL PILÓN. Recuperado el 24 de Septiembre de 2022, de Estudio demostró que en 6 municipios del Cesar consumir agua es un riesgo: <https://elpilon.com.co/estudio-demostro-que-en-6-municipios-del-cesar-consumir-agua-potable-es-un-riesgo/>

Olmos, C. F. (2002). Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de agua para calderas. *Universidad de Oviedo*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11146/UOV0013TCFGO.pdf?sequen>

Redondo, E. A., & López, A. C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora El Dorado (Bogotá D.C) a través del análisis estadístico de series de tiempo*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3458/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SPENA GROUP (2016) Planta de tratamiento de agua – convencional (potabilizadoras) <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-convencional-potabilizadoras/>

Shivom Sharma, G. R. (2012). Multi-objective Optimization of a Membrane Distillation System for Desalination of Sea Water. *Computer Aided Chemical Engineering*, 117-121.

Shakhawat Chowdhury, M. A.-A. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Sci Total Environ*, 569-570.

Shafaghat, A. H., Elsami, M., & Baneshi, M. (2022). Techno-enviro-economic study of a reverse osmosis desalination system equipped with photovoltaic-thermal collectors. *Science Direct*, 218. Obtenido de [https://www.sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S1359431122012194](https://www.sciencedirect.com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S1359431122012194)

Sierra, L. M. (2019). *Diagnóstico del estado actual de la PTAP del municipio de Moniquirá*.

Obtenido de

[https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3796/1/Diagnostico\\_PTAP\\_Moniquira.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3796/1/Diagnostico_PTAP_Moniquira.pdf)

Tischler, S. (2007). Drinking Water Regulations & Standards: An International Perspective. *Water Quality Products Magazine*.

Vázquez, M.S. (2017) Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15143/Informe.pdf>

- Velasquez, R. O. (2018). Diseño de un prototipo de ósmosis inversa para tratamiento de aguas residuales en la industria textil de Cúcuta. *Universidad Libre*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17631/DISE%C3%91O%20PROTOTIPO%20PLANTA%20OSMOSIS%20INVERSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vesilind, P. A. (1982). Environmental engineering. Michigan: Ann Arbor Science Publishers.
- WATERSTATION (2021) Ósmosis inversa: ventajas y desventajas. <https://waterstation.mx/>  
<https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/>
- Yadav IC, D. N. (2015). Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighbouring countries: A comprehensive review of India. *Science of the Total Environment*, 123-137.
- Zelada, F. S. (2015). Producción de agua de mesa por ósmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP. *Universidad de Piura*. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2238/ING\\_550.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2238/ING_550.pdf?sequence=1&isAllowed=y)