

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR, UNA OPCIÓN PARA EL RIEGO DE CULTIVOS
EN ZONAS ÁRIDAS.**

**POR
JOSÉ DE JESÚS MARÍN GONZÁLEZ**

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR, UNA OPCIÓN PARA EL RIEGO DE CULTIVOS
EN ZONAS ÁRIDAS

POR:

JOSÉ DE JESÚS MARÍN GONZÁLEZ

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL
COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

REVISADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



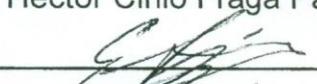
Dr. Jorge Luis Villalobos Romero

COASESOR PRINCIPAL:



M.C. Héctor Cirilo Fraga Palomino

COASESOR:



M.C. Carlos Efraín Ramírez Contreras

COASESOR:



M.C. Braulio Duarte Moreno



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA
POR
JOSÉ DE JESÚS MARÍN GONZÁLEZ

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



Dr. Jorge Luis Villalobos Romero

VOCAL:



M.C. Héctor Cirilo Fraga Palomino

VOCAL:



M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras

VOCAL SUPLENTE:



M.C. Braulio Duarte Moreno



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

JUNIO DE 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios antes que nada por darme la sabiduría necesaria y la fortaleza para emprender nuevos retos, a descubrir mis capacidades y por enseñarme que uno nunca está solo en la vida, por haberme brindado una familia que siempre ha estado conmigo apoyándome en todo momento, por protegerme y permitirme concluir de buena manera mis estudios.

A mi familia por el gran apoyo brindado a lo largo de mi vida y porque siempre confiaron en mí a pesar de mis caídas.

A mi “alma terra mater” gracias por haberme brindado las herramientas necesarias para poder formarme como profesionista.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.(CIBNOR) por abrirme sus puertas y permitir que realizara con ellos este trabajo de investigación, ya que sin ellos esto no hubiera sido posible.

Al M.C. Héctor Cirilo Fraga Palomino y a su esposa Karla Camacho Ponce, por todo el apoyo brindado durante mis prácticas profesionales y permitirme formar parte de su familia.

Al Dr. Jorge Luis Villalobos Romero gracias por haberme guiado en el asesoramiento y resolver mis dudas durante la elaboración de la presente.

Al M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras gracias también por todos sus consejos hacia mi persona, siempre orientados hacia la superación personal.

A los profesores del departamento de riego y drenaje mil gracias por haber contribuido de manera muy importante en mi formación profesional, por los consejos y enseñanzas brindadas en el salón de clase.

Al M.C. Álvaro González Michel encargado del laboratorio de Hidrología e Irrigación, por haberme hecho un espacio para poder realizar mis trabajos, y por acompañarme a realizar los muestreos de la calidad del agua.

Al Dr. Arturo Cruz Falcón gracias por su apoyo en las imágenes del acuífero de La Paz, para la realización de esta tesis.

Al Ing. Luis Landa y Miguel Díaz Martínez gracias también por haberme dado el apoyo necesario para los estudios de la planta desaladora y brindarme la información necesaria.

Al Lic. Marco Antonio Díaz Serna gracias por el apoyo brindado en la toma de fotografías de la planta desaladora.

A mi amigo Lalo, a su esposa y a toda su familia gracias por aceptarme como un miembro más de su familia y apoyarme en todo momento, por sus buenos consejos, por los momentos de alegrías, por siempre confiar en mí de todo corazón gracias.

A mi prima Blanca Flor, de verdad muchas gracias por todos sus buenos deseos durante todos estos años por sus consejos y por todos los momentos felices de verdad mil gracias.

A Claudia Coria por todos sus buenos consejos brindados siempre y por preocuparse por mí en todo momento, por motivarme siempre a dar lo mejor de mí y por haber confiado en mí de todo corazón mil gracias.

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por rodearme de gente que siempre me brindo la mano, a siempre mostrar humildad ante las demás personas y a mostrarme que siempre hay alguien que estará a tu lado cuando más solo estés.

A MIS PADRES:

PEDRO MARÍN CALLEJA Y CLAUDIA GONZÁLEZ PINEDA, por siempre procurar lo mejor de mí, por haberme dado una buena formación, porque aunque pasamos muchos momentos difíciles siempre estuvieron a mi lado sin importar nada, por darme la fortaleza para continuar con mis objetivos y poder terminar bien mis estudios, por sus buenos consejos. GRACIAS PAPAS.

A MIS HERMANOS

Diana, Ana Karen y Carlos Eduardo, gracias por todos los momentos tan maravillosos que compartimos, por sus consejos y por sus palabras de aliento para continuar adelante.

A MIS AMIGOS

Marvey, Verónica e Iván, mil gracias por brindarme su amistad, por estar conmigo en las buenas y en las malas, y aunque a veces discutíamos mucho en el salón de clases supimos diferenciar el trabajo de la amistad, por los fines de semana viendo películas, por las tantas risas compartidas a lo largo de estos 4 años, por brindarme su confianza, por hacerme sentir una persona importante. GRACIAS AMIGOS.

A MIS ABUELAS Y TIOS

Gracias por sus buenos deseos, porque cada vez que estaba con ustedes me daban palabras de aliento y siempre estuvieron preocupados por mi formación como persona y como profesionalista, por brindarme su cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRAC.	X
I.INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	1
JUSTIFICACIÓN.	2
II.REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Antecedentes de la desalación.....	5
Historia de la desalación en España.....	6
Tipos de desalación.	8
Destilación súbita por efecto flash (MSF).	8
Destilación por múltiple efecto (MED).	10
Compresión térmica de vapor.	11
Destilación solar.....	12
Congelación.....	13
Formación de hidratos.	13
Destilación por membranas.	14
Compresión mecánica de vapor (CV).	14
Osmosis inversa.	15
Electrodialisis.	18
Intercambio iónico.	19
Comparación de las características de cada una de las plantas.	20
Panorama mundial de la desalación.	21
Oriente medio y norte de África.	23
Asia yOceanía.....	24
Europa.....	24
América.....	25
Panorama nacional de la desalación.....	25
Panorama de la desalación en zonas áridas del país.	27

Panorama de la desalación en baja california sur.....	28
Descripción del sitio de investigación.	28
Localización del área de estudio.	30
Descripción de la desaladora del Centro de Investigaciones Biológicas CIB.	38
Pozo agrícola.....	39
Panel solar del pozo agrícola.	40
<i>III. MATERIALES Y MÉTODOS.</i>	<i>42</i>
<i>IV. RESULTADOS.....</i>	<i>46</i>
<i>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</i>	<i>62</i>
<i>VI. CONCLUSIONES.</i>	<i>64</i>
<i>VII. RECOMENDACIONES.....</i>	<i>65</i>
<i>VIII. LITERATURA CITADA.....</i>	<i>66</i>
<i>IX. ANEXO.</i>	<i>70</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1. Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 2. Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF).</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 3. Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF.</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 4. Esquema de un colector solar para destilación.</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 5. Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE).</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 6. Proceso natural de Ósmosis.</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 7. Proceso de Ósmosis inversa.</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 8. Desalación por Ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada.</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 9. Proceso de electrodiálisis.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 10. Descarga de salmuera al mar, desde una desaladora.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 11. Municipios de B.C.S.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 12. Localización de la zona de estudio</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 13. Pozo agrícola y Planta desaladora del CIBNOR.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 14. Regiones Hidrológicas Administrativas.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 15. Acuíferos sobreexplotados en el país.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 16. Acuíferos con intrusión marina y/o salinización de suelos y aguas subterráneas salobres, Baja California Sur, 2009.</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 17. Cuenca de La Paz</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 18. Planta desaladora.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 19. Pozo agrícola del CIBNOR.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 20. Panel solar colocado en el área del pozo agrícola del CIBNOR, para el funcionamiento de la bomba sumergible.</i>	<i>41</i>

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

<i>Gráfica 1. Evolución de la capacidad total de desalación en el mundo.</i>	22
<i>Gráfica 2. Capacidad total concentrada de agua de mar, por métodos de desalación.</i>	23
<i>Gráfica 3. Temperatura mensual de La Paz, B.C.S. de 1984-2011</i>	31
<i>Gráfica 4. Precipitación pluvial mensual en el estado de Baja California sur, comparada con Tabasco y con la media Nacional en el periodo de 1971-2000.</i>	36
<i>Gráfica 5. Temperaturas del agua del pozo agrícola.</i>	47
<i>Gráfica 6. Temperatura del agua de los tanques de almacenamiento.</i>	48
<i>Gráfica 7. Temperatura del agua de la membrana de Ósmosis inversa.</i>	48
<i>Gráfica 8. Temperatura del agua del aljibe.</i>	49
<i>Gráfica 9. Temperatura del agua de rechazo.</i>	49
<i>Gráfica 10. Conductividad Eléctrica del agua del pozo agrícola.</i>	50
<i>Gráfica 11. contividad Eléctrica del agua de los tanques de almacenamiento.</i>	50
<i>Gráfica 12. Conductividad Eléctrica del agua de la membrana de Ósmosis inversa.</i>	51
<i>Gráfica 13. Conductividad Eléctrica del agua del aljibe.</i>	51
<i>Gráfica 14. Conductividad Eléctrica del agua de rechazo.</i>	52
<i>Gráfica 15. Sólidos disueltos totales en el agua del pozo agrícola.</i>	53
<i>Gráfica 16. Sólidos disueltos totales en el agua de los tanques de almacenamiento.</i>	53
<i>Gráfica 17. Sólidos disueltos totales en el agua de la membrana de Ósmosis inversa.</i>	54
<i>Gráfica 18. Sólidos disueltos totales en el agua del aljibe.</i>	54
<i>Gráfica 19. Sólidos disueltos totales en el agua de rechazo.</i>	55
<i>Gráfica 20. Salinidad presente en el agua del pozo agrícola.</i>	56
<i>Gráfica 21. Salinidad presente en el agua de los tanques de almacenamiento.</i>	56
<i>Gráfica 22. Salinidad presente en el agua de la membrana de Ósmosis inversa.</i>	57
<i>Gráfica 23. Salinidad presente en el agua del aljibe.</i>	57
<i>Gráfica 24. Salinidad presente en el agua de rechazo.</i>	58
<i>Gráfica 25. pH del agua del pozo agrícola.</i>	59
<i>Gráfica 26. pH del agua de los tanques de almacenamiento.</i>	59
<i>Gráfica 27. pH del agua de la membrana de Ósmosis inversa.</i>	60
<i>Gráfica 28. pH del agua del aljibe.</i>	60
<i>Gráfica 29. pH del agua de rechazo.</i>	61

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Primeras instalaciones desaladoras en España.	6
Cuadro 2. Plantas desaladoras instaladas en España tras la 1a crisis del petróleo (1973).	6
Cuadro 3. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 80.	7
Cuadro 4. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los años 90. Datos hasta el año 1997.	8
Cuadro 5. Variación de las diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mundo.	20
Cuadro 6. Capacidad instalada (m³/día) en la región MENA desglosada por técnicas de desalación.	23
Cuadro 7. Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico, datos de 1998.	24
Cuadro 8. Plantas de desalación en los estados de USA.	25
Cuadro 9. Cabecera municipal y superficie territorial por municipio en Baja California Sur.	30
Cuadro 10. Acuíferos del país, con intrusión marina, salinización de suelos y aguas subterráneas salobres por RHA, 2009.	34
Cuadro 11. Usos del agua de pozo en el estado de Baja California Sur.	37
Cuadro 12. Datos obtenidos del primer análisis realizado el día 7 de febrero de 2014.	46
Cuadro 13. Datos obtenidos del segundo análisis realizado el día 14 de marzo de 2014.	46
Cuadro 14. Datos obtenidos del tercer análisis realizado el día 10 de abril de 2014.	46
Cuadro 15. Datos obtenidos del cuarto análisis realizado el día 30 de abril de 2014.	46
Cuadro 16. Datos obtenidos del quinto análisis realizado el día 14 de mayo de 2014.	47
Cuadro 17. Temperaturas del agua en °C de los cinco análisis.	47
Cuadro 18. Conductividad Eléctrica en $\mu\text{s/cm}$ de los cuatro análisis.	49
Cuadro 19. Sólidos disueltos totales en g/l de los cuatro análisis.	52
Cuadro 20. Salinidad presente en el agua del pozo agrícola.	55
Cuadro 21. pH de los cuatro análisis.	58

RESUMEN.

En el Norte del país, por tener bajas precipitaciones se ha tenido que recurrir a una nueva tecnología para poder brindar a la población y a la agricultura el agua que necesitan.

Existen muchos procesos para llevar a cabo la desalinización del agua de mar. Y en este trabajo se vierte la comparación entre los procesos de Evaporación súbita por efecto flash (MSF), Destilación múltiple efecto (MED), Termo compresión de vapor (TCV), Compresión de vapor mecánica (CV), Osmosis inversa (OI) y Electrodiálisis (ED)

Una opción muy viable que se encuentra a nuestro alcance es la osmosis inversa, por ser uno de los procesos de desalinización que tiene la ventaja de producir agua de calidad con un menor costo, ahorro de energía durante el proceso, fácil de operar, capacidad de ampliación a muy bajos costos y la calidad del agua producida es excelente.

El método de osmosis inversa además de ser económico y fácil de operar, deja el agua con valores de salinidad muy bajas que llegan a los 0.03 g/l según los datos obtenidos en los análisis realizados a la planta desaladora del Centro de investigaciones Biológicas (CIB).

Palabras clave: desalinización, agua de mar, osmosis inversa, zonas áridas, procesos.

ABSTRAC.

In the north of the country, having low rainfall has had to use a new technology to provide the population and agriculture water they need.

There are many processes to perform the desalination of sea water. In this paper the compilation between the processes of evaporation by sudden flash effect (MSF), multiple effect distillation (MED), vapor compression term (TCV), Mechanical vapor compression (CV), Reverse osmosis (RO) is poured and Electro dialysis (ED).

A very viable option that is available to us is reverse osmosis, being one of the desalination processes has the advantage of producing quality water a lower cost, saving energy during the process and easy to operate, capacity expansion at the lowest cost and quality of the water produced is excellent.

The method of reverse osmosis as well as being economical and easy to operate, leaving the water with very low salinity values that reach 0.03 g/l according to the data obtained in the analyzes to the desalination plant the Center for Biological Research (CIB.)

Keywords: desalination, sea water, reverses osmosis, arid, process.

I.INTRODUCCIÓN.

La presente investigación descriptiva se realizó en el CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) localizado en el municipio de La Paz B.C.S. En el cual se realizaron 5 muestreos para determinar la calidad del agua así como la salinidad, antes y después de que esta ingresara al proceso de ósmosis inversa. Los parámetros que se midieron fueron: temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y pH.

Antes de realizar los muestreos se establecieron sitios específicos de donde se estarían tomando las muestras para que estas fueran lo más uniforme posible, de igual forma se tomó en cuenta la hora del día que fuera siempre la misma al tomar las muestras del agua. Una vez que se tenían hechos todos los análisis se tomó una muestra de agua que fuera representativa para enviarla al laboratorio del CIB y comparar los valores obtenidos en los muestreos, esto con el fin de saber si los datos fueron tomados correctamente.

De todo el trabajo realizado se concluye que la desalación en el estado de Baja California Sur, ya es una opción muy viable por las escasas precipitaciones que se presentan en el estado a lo largo del año, la desalación debe ser considerada para comenzar a producir alimentos, siempre y cuando se tenga en cuenta que el agua de rechazo no dañe al nicho ecológico.

El método de osmosis inversa es el proceso más apto para realizar la desalación del agua de mar en comparación a todos los demás procesos, ya que tiene la ventaja de que no requiere de mucha infraestructura motivo por el cual su costo es menor.

OBJETIVO GENERAL.

Comparar los procesos de desalinización del agua de mar existentes y mostrar los datos de calidad de agua obtenidos mediante los muestreos de campo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Presentar las ventajas del mejor proceso de desalinización en base a: consumo de energía, capacidad de producción, posibilidad de ampliación, fiabilidad en la

operación, cantidad de agua desalada, superficie requerida, costos de producción, calidad del agua obtenida y cantidad de desechos vertidos al mar.

JUSTIFICACIÓN.

Una de las razones por las cuales se debe realizar el proceso de osmosis inversa es porque en esta zona del país Noroeste se tienen muy bajas precipitaciones por debajo de los 200 mm por año, motivo por el cual se tiene escases de agua en todos y cada uno de los procesos cotidianos.

El proceso de osmosis inversa en comparación a los demás procesos para la desalinización del agua de mar, es el más apto por las siguientes razones; no necesita mucha infraestructura, el tamaño del equipo requerido es pequeño, su instalación es sencilla, no se necesitan más de dos personas para su operación y manejo, la calidad del agua obtenida es buena y esto lo podemos corroborar con los análisis que se realizaron a lo largo de cuatro meses y el comportamiento en base a la calidad siempre fue el mismo, además de que no se requiere demasiada inversión en el mantenimiento del equipo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

La escasez de agua se ha convertido en un problema mundial debido a la creciente demanda que ha venido sufriendo en los últimos años, motivada por el aumento de la población, extensión de las áreas de cultivos y desarrollo industrial, entre otras causas (Vinothkumar y Kasturibai, 2008). Este problema también se extiende a la calidad del agua disponible, que ha venido disminuyendo debido a su uso irracional, produciendo contaminación de ríos, lagos y mares, además de conllevar la sobreexplotación de acuíferos y una mala distribución de los recursos hídricos en el espacio y el tiempo (Sampathkumar et al., 2010). Todo esto ha contribuido a incrementar los problemas de salud asociados a la poca disponibilidad o falta de agua potable. Algunos estudios indican que 3'500,000 personas mueren cada año por enfermedades relacionadas con el agua (Tiwari y Tiwari, 2008).

Uno de los más graves problemas que se avecinan en el siglo XXI es la escasez de agua, entendiendo por ello un agua en cantidad y calidad apta para el consumo humano. Es necesario por lo tanto recurrir, en condiciones desgraciadamente no muy excepcionales (sequías) al aporte de recursos externos de naturaleza no convencional (es decir, no proveniente de fenómenos naturales). En las tierras áridas y semiáridas, la desalinización es una opción disponible para cumplir con las necesidades de agua potable de una población en aumento, sobre todo de aquellos países que bordean los océanos y los mares (Buros, 2000).

España es el país europeo tecnológicamente más avanzado en tecnología y capacidad instalada por el método de ósmosis inversa. Esta tecnología debe mantener este nivel de desarrollo para contribuir a un abaratamiento progresivo del agua desalada en nuestro país (ibíd.).

Actualmente, el porcentaje de instalaciones de desalación con energías renovables es solo alrededor del 1% del total con capacidad global (Delyannis, 2003).

La calidad del agua obtenida por los métodos de desalación es apta para cualquier tipo de consumo humano: abastecimiento, riego agrícola. Tan solo algunos procesos industriales muy específicos necesitan tratamientos especiales.

Las reservas de agua en el planeta son inmensas. Estimaciones actualizadas calculan que la hidrósfera contiene cerca de 1.386 millones de km^3 , sin embargo los océanos que representan una gran reserva de este agua, cubren casi tres cuartas partes de la superficie terrestre y el 97.5 % del total tienen una salinidad de más de un 3 % en peso, haciéndola inservible para cualquier tipo de uso (agrícola, industrial o humano), (Nafey et al., 2010).

El resto es agua dulce. Pero el 68.9 % está en forma permanente como hielo y nieve que cubren las regiones polares y montañosas (y por lo tanto de uso imposible). Del resto de agua dulce disponible, el 29.9 % son aguas subterráneas y tan solo el 0.3 % se encuentran en lagos, reservorios y sistemas de los ríos, están en consideración de ser utilizables sin limitaciones técnicas ni económicas (Shiklomanov, 1999).

La Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2012) tiene definidas en el país 37 regiones hidrológicas, y de manera interna ha dividido al país en 13 regiones administrativas. La región con mayor disponibilidad total de agua durante el año es la Frontera Sur, que abarca los estados de; Chiapas, Tabasco y porciones de Campeche y Oaxaca, conocida como la región (XI), con 158,160 hm^3 y una extracción de 1,999 hm^3 ; por tanto, es la región hidrológico-administrativa con la menor presión sobre el recurso; en contraste con las regiones Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico que registran una presión media fuerte, pues en ellas se concentra el 10% y 20% de la población nacional.

Para fines de administración del agua, el país se ha dividido en 653 acuíferos, de los cuales 104 están sobreexplotados. De éstos, se extrae el 60% del agua subterránea destinada para todos los usos. Entre los problemas que conllevan su sobreexplotación están la disminución de la reserva de agua subterránea a un ritmo cercano de 6 km^3 por año y la intrusión salina en 17 acuíferos: nueve ubicados en la Península de Baja California y cinco en las regiones del Golfo Centro y Lerma-Santiago-Pacífico, (INEGI, 2007).

El uso del agua para la agricultura representa el 70% de uso global de agua y en los países en desarrollo el consumo de agua en el sector agrícola supera el 80%.

Los datos proporcionados por la Oficina Internacional Asociación de Desalación dice que en la actualidad hay alrededor de 66.4 millones de m³/d instalados en plantas de desalinización en todo el mundo y solo el 1.9% se utiliza en la agricultura (Zarco, 2013).

La energía solar está disponible en abundancia en la mayoría de las zonas rurales y por lo tanto, la destilación solar es una solución atractiva y de fácil implementación en regiones áridas y comunidades rurales de pocos recursos que se encuentran alejadas de las grandes ciudades (Rahim, 2003).

Antecedentes de la desalación.

La desalación propiamente dicha comenzó a finales del siglo XIX en el aprovechamiento del vapor de las calderas de los pequeños barcos para su consumo humano, en el propio ciclo hidrológico del agua existe el fenómeno de la desalación en el proceso de evaporación de aguas de mar: anualmente se evaporan de los océanos 502.800 km³ de agua y 65.200 km³ de los continentes (Botero, 2000). Generalmente todos los procesos de desalación más antiguos estaban relacionados con el fenómeno de la evaporación de aguas con contenido salino con la utilización de vapor de proceso o energía solar, hasta la aparición de los años 60 de las membranas con calidad suficiente para filtrar concentraciones de agua de mar. A partir de ahí, este tipo de tecnologías ha sido más rápidamente desarrollada que otro tipo de procesos, especialmente en España debido a las calidades del agua introducida en sus módulos.

El aumento de la demanda de agua dulce ha requerido y obligado a los países del mundo, específicamente los de las regiones áridas, para embarcarse en ambiciosos planes, adoptar y aplicar políticas para lograr la autosuficiencia en la producción de agua (Abdulrahman, 2013).

El Medio Oriente, que es sobre todo una región árida, no está exento de este problema. La literatura revisada, marca que hoy en día, más del 50% de las plantas de desalinización de agua de mar del mundo se encuentran en el Oriente Medio, y en particular en el Golfo Pérsico. La capacidad de desalinización mundial en esta región creció de pocos miles a más de 70 millones de metros cúbicos por día durante las últimas cinco décadas.

Historia de la desalación en España.

La evolución tecnológica de la desalación tiene su perfecto reflejo en España. Las primeras instalaciones desaladoras, algunas de ellas ya desmanteladas o convenientemente readaptadas a nuevas tecnologías, localizadas en Ceuta, Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura, se instalaron hace ya 30 años. Lógicamente la tecnología dominante de la época era la de evaporación, con unidades MSF acopladas a plantas duales (Valero *et al.* 2001).

El Cuadro 1 muestra las características de las plantas desaladoras en esta primera época. La mayoría de ellas ya no operan en la actualidad, o han sido actualizadas con tecnologías más favorables desde el punto de vista energético.

Cuadro 1. Primeras instalaciones desaladoras en España.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Termolanza* (Lanzarote)	1965	2.000	MSF
Ceuta I*	1969	4.000	MSF
Fuerteventura I*	1970	2.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF

*No operan actualmente

Fuente:Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

Tras esta primera etapa, la primera crisis del petróleo supuso un freno al desarrollo de las instalaciones desaladoras, que obligó a buscar medidas de ahorro en las instalaciones existentes. Así surgieron los nuevos diseños de los intercambiadores de los procesos evaporativos, con más superficie de intercambio que permiten mayor destilado con el mismo consumo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Plantas desaladoras instaladas en España tras la 1a crisis del petróleo (1973).

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote I*	1976	5.000	MSF
Riotinto (Lanzarote)*	1977	2.500	MSF
Fuerteventura II*	1978	2.000	CV
C.T. Carboneras (Almería)	1980	2.200	MSF
Las Palmas II	1980	18.000	MSF

*No operan actualmente

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

En la década de los 80 (**Cuadro 3**), con la aparición de las membranas capaces de producir agua dulce a través del proceso de osmosis inversa, empieza el desarrollo y la imposición clara de esta tecnología en España. En esta época, las membranas de ósmosis inversa sólo se habían utilizado para la filtración de aguas salobres, donde la electrodiálisis ya era una tecnología perfectamente viable. También debe reseñarse que muchos complejos turísticos privados instalaron pequeñas unidades de CV (Compresión mecánica de vapor) para solucionar sus problemas de abastecimiento, radicados fundamentalmente en lugares apartados de los núcleos habitados.

Cuadro 3. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los 80.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Fuerteventura II	1990	5.000	OI
Mas palomas I* (Las Palmas)	1987	10.000	EDR
Denia* (Alicante)	1990	16.000	OI

*Aguas salobres

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

A partir de la década de los 90 (**Cuadro 4**), las instalaciones de Osmosis Inversa se han adueñado del panorama desalador en España. Hay que destacar que la oferta eléctrica española ha podido soportar el consumo de este tipo de instalaciones, aunque también es cierto que esta época coincide con la aparición de sistemas de recuperación de energía que reducen considerablemente el consumo eléctrico derivado en estas instalaciones, donde España es un país puntero en cuanto a la investigación encaminada hacia esa reducción de consumo.

La liberación de los precios de la energía eléctrica en nuestro país, sólo accesible ahora a grandes consumidores también ha contribuido a imponer la Osmosis Inversa como casi la única tecnología aplicable, a excepción de la Electro Diálisis para desalación de aguas salobres o reutilización de aguas residuales urbanas (ARU).

Cuadro 4. Plantas desaladoras instaladas en España en la década de los años 90. Datos hasta el año 1997.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote III**	1991	20.000	OI
Sureste I	1993	10.000	OI
Ibiza II	1996	10.000	OI
Marbella	1997	55.000	OI
Ceuta	1997	16.000	OI
Seat Martorell*	1992	10.500	OI
Repsol Tarragona*	1993	14.400	OI
Son Tugores*	1995	35.000	OI
Bajo Almanzora*	1996	30.000	OI
Mazarrón*	1996	9.000	OI
C.R. Jacarilla*	1997	9.000	OI

*Aguas salobres. **Tras ampliación de 5.000 m³/día en 1997.

*OI = Osmosis inversa

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

Tipos de desalación.

En el mundo existe una gran cantidad de desaladoras las cuales funcionan de diferente manera, dependiendo de la capacidad operaria de las mismas, así como el nivel adquisitivo que se tenga en base al equipo a utilizar pues existen plantas muy simples que pueden ser de tipo caseras, hasta llegar a plantas sumamente grandes que trabajan con volúmenes de agua extraordinarios que sirven para abastecer a la población, un ejemplo de ello es la planta desaladora localizada en Cabo San Lucas B.C.S.

Destilación súbita por efecto flash (MSF).

La desalación obtenida por destilación consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300°C): el vapor se condensa posteriormente en el interior o exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas o eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables.

La utilización de una cámara flash (**Ilustración 1**) permite una evaporación súbita (y por lo tanto de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica.

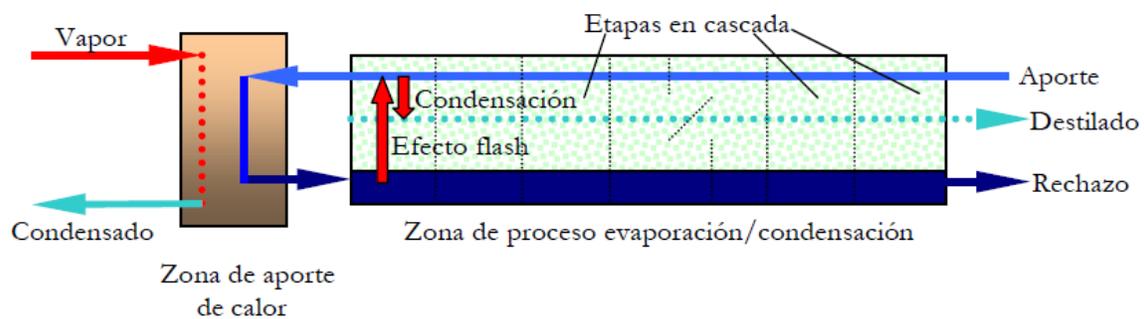


Ilustración 1. Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Es el proceso evaporativo más ampliamente utilizado en el mundo, de implantación masiva sobre todo en Oriente Medio. Ello se debe a varias razones:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.
- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras, en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un grave inconveniente. Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m³ de

agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto coste de operación, su coste de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

Destilación por múltiple efecto (MED).

En la destilación por múltiple efecto (MED) (Ilustración 2) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta (MED) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efecto de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa a siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.

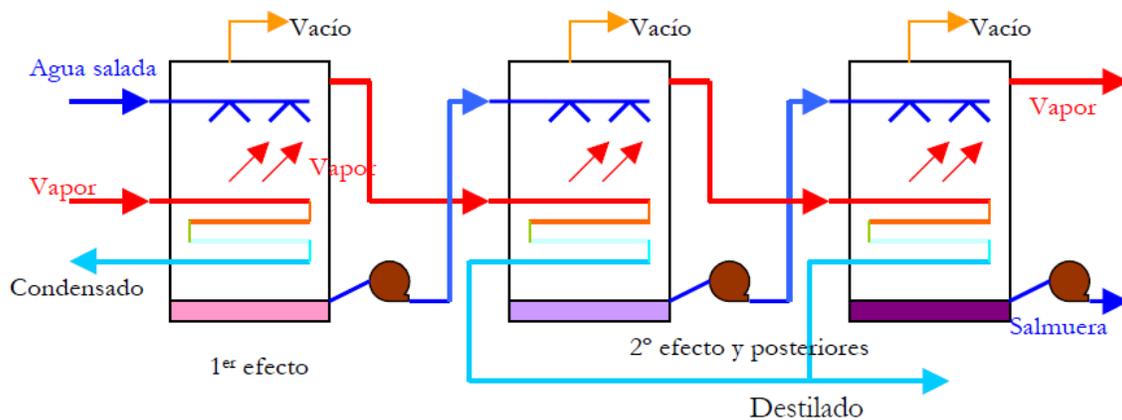


Ilustración 2. Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF).

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (o extracción de una condensación). Un condensador

final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema. Por lo tanto las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a priori a la producción eléctrica.

La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza.

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15,000 m³/día), (Al-Shammiri *et al.*, 1999), aunque ello se debe más a razones de índole política que operativa: las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores en MED están instaladas en las Islas del Caribe para abastecer de agua estas zonas de gran presión turística. También es verdad que el número máximo de efectos conectados en serie raramente es mayor de 15, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a un número total de más de 50.

Compresión térmica de vapor.

Esta (Ilustración 3) obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos (o termocompresores), que consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica, (si tenemos una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello) y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que recordemos ara la única que consume energía en el proceso.

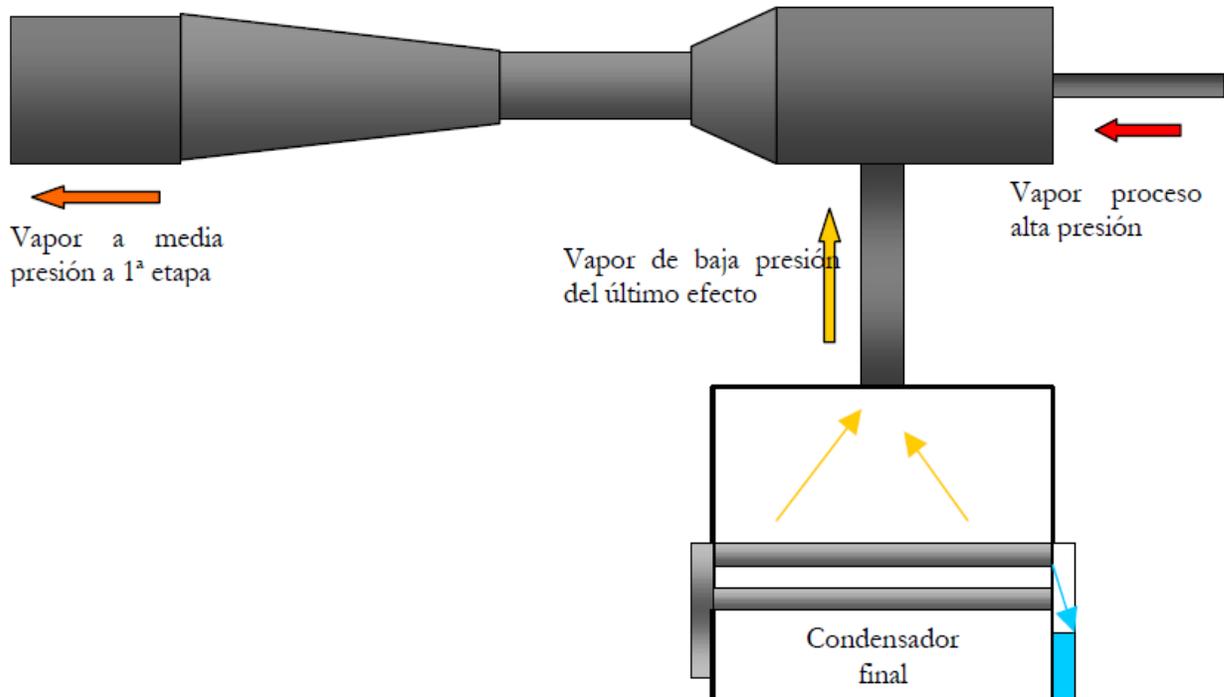


Ilustración 3. Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF.
 Fuente: Figura tomada de Valero *et al.*2001.

Destilación solar.

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto no se han desarrollado a gran escala en lugares de consumo elevado de agua dulce.

Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar. El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo **Ilustración 4**). Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares

apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos o lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.

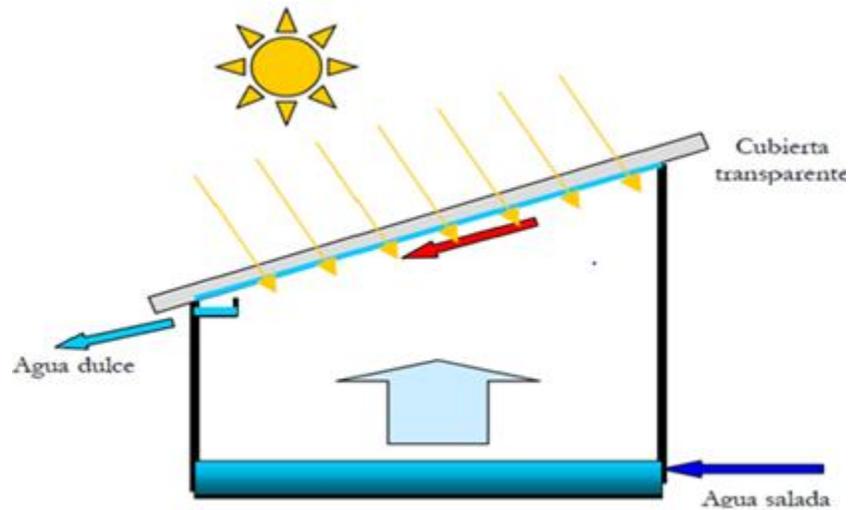


Ilustración 4. Esquema de un colector solar para destilación.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Congelación.

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío. No se ofrecen datos del consumo específico de este proceso porque solo existen experimentos de pequeña escala no extrapolables a la realidad.

La utilización de hielo de los polos para el consumo humano es muy poco conveniente para la conservación del equilibrio térmico del Planeta.

Formación de hidratos.

Es otro método basado en el principio de la cristalización, que consiste en obtener, mediante la adición de hidrocarburos a la solución salina, unos hidratos complejos

en forma cristalina, con una relación molécula de hidrocarburo/ molécula de agua del orden de 1/18(Torres *et al.*, 1999).

Su rendimiento energético es mayor que los de destilación, pero conlleva una gran dificultad tecnológica a resolver en cuanto a la separación y el lavado de los cristales que impiden su aplicación industrial.

Destilación por membranas.

Es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana el vapor se condensa, sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido, esta agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida hacia la salida. (García *et al.*, 2000).

Compresión mecánica de vapor (CV).

En la compresión mecánica de vapor (CV) (Ilustración 5) evapora un líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura (Boiling Point Elevation, BPE).

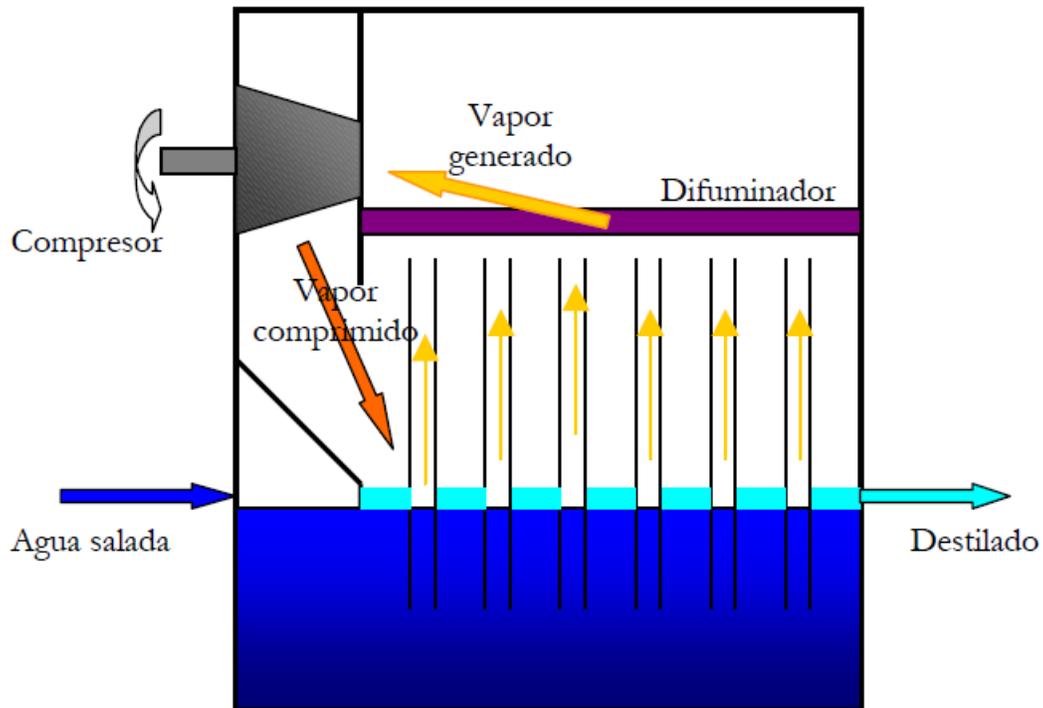


Ilustración 5. Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE).

Fuente: Figura tomada de Velero *et al.* 2001.

Osmosis inversa.

La osmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. Se dice que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (es decir, permite el paso de agua pero no de sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida (suponemos los recipientes de cada soluto al mismo nivel inicial) se traduce en una diferencia de presión, llamada osmótica (**Ilustración 6**).

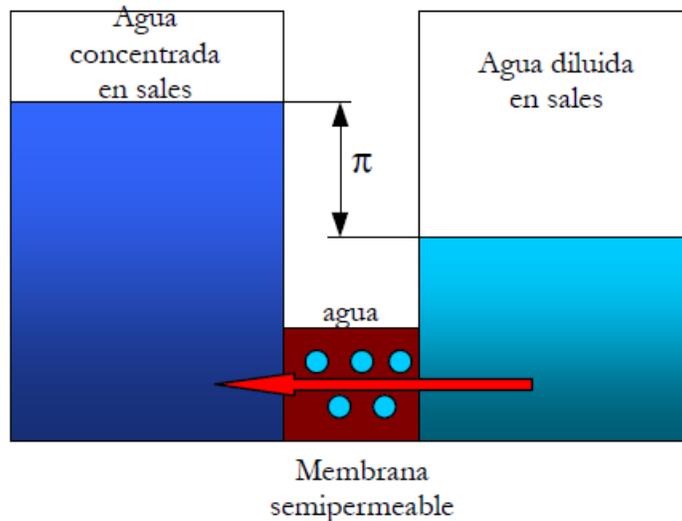


Ilustración 6. Proceso natural de Ósmosis.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TSD, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación (Ilustración 7).

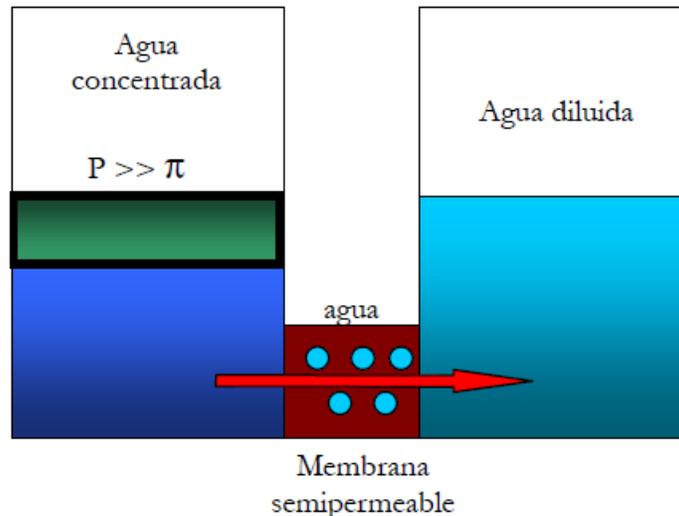


Ilustración 7. Proceso de Ósmosis inversa.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayor a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Además debe ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la Oi como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración. Ello implica que tan solo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración o haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de osmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizado. Pero una planta de Osmosis Inversa es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas (**Ilustración 8**).

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.

- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

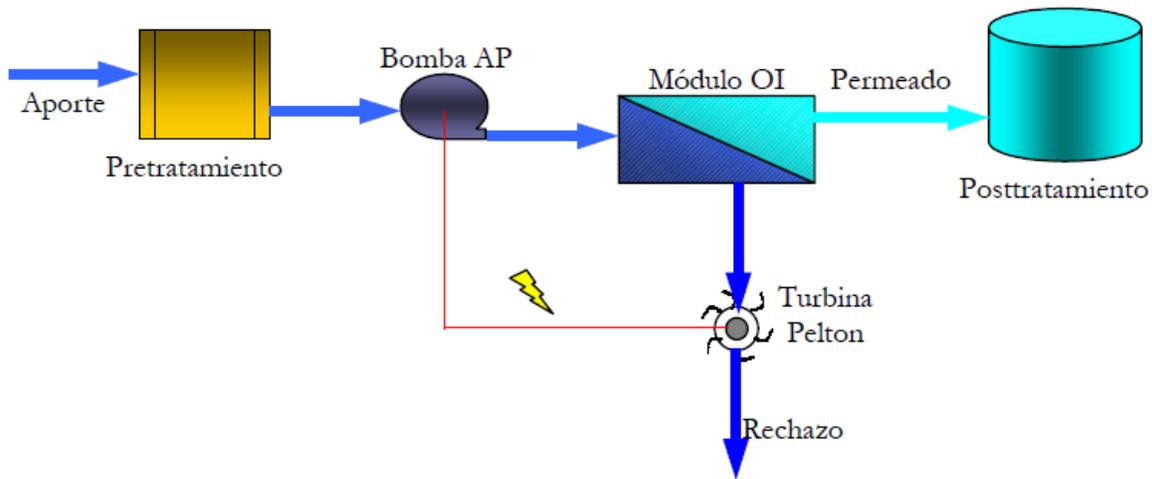


Ilustración 8. Desalación por Ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Electrodialisis.

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de diferente signo se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada.

El proceso puede verse más claramente en la (Ilustración 9). Donde los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en curvas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres o reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa. (De Armas *et al.* 1999).

En algunas ocasiones, la polaridad de los ánodos y cátodos se invierte alternativamente para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas el paso de dichos iones. En este caso se habla de electrodiálisis reversible (EDR).

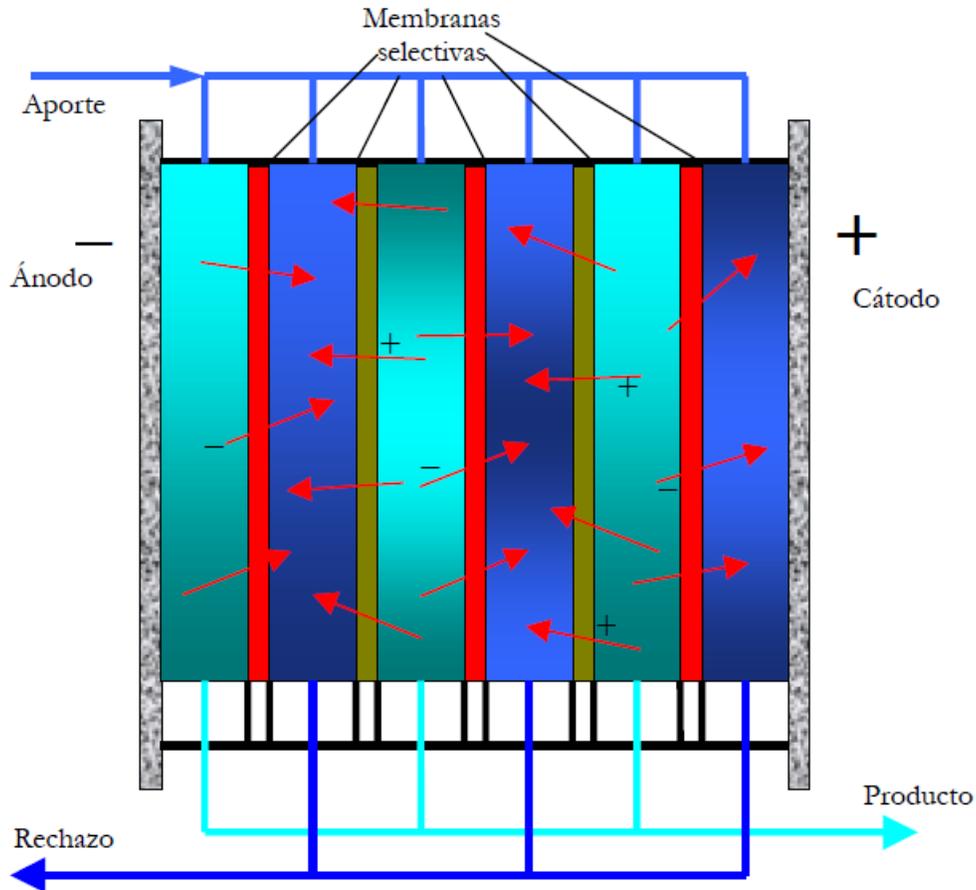


Ilustración 9. Proceso de electrodiálisis.

Fuente: Figura tomada de Valero *et al.* 2001.

Intercambio iónico.

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH⁻ (permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H⁺ (permutación ácida).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor de 1 gr/L. por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos, o en procesos

industriales con tratamiento de afino. Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres.

Comparación de las características de cada una de las plantas.

De manera resumida podemos hacer un análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos tecnológicamente avanzados para la producción de agua desalada.

Cuadro 5. Variación de las diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mundo.

Características	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo de energía	Térmica	Térmica	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	Alto (>200)	Alto/medio (150-200)	Medio (100-150)	Bajo (<80)	Bajo (<30)
Capacidad de producción (m ³ /día)	Alta (>50,000)	Media (<20,000)	Baja (>5,000)	Alta (>50,000)	Media (<30,000)
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil	Fácil
Fiabilidad de operación	Alta	Media	Baja	Alta	Alta
Desalación de agua de mar	Si	Si	Si	Si	No
Calidad de agua desalada (ppm)	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)	Media (<300)
Superficie (terreno requerido de instalación)	Mucha	Media	Poca	Poca	Poca

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Valero *et al.* 2001.

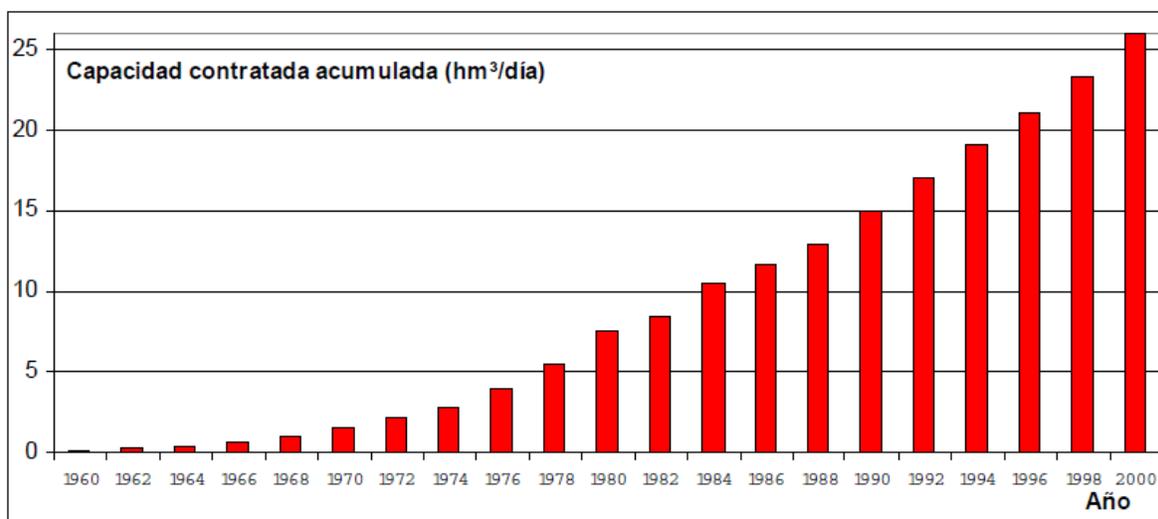
Si comparamos los datos obtenidos en el **Cuadro 5**, nos queda claro que la ósmosis inversa es en conjunto de la tecnología más favorable, en base a su mejor precio de obtención del agua y su fiabilidad.

Panorama mundial de la desalación.

Para el hombre siempre ha sido un reto el separar la sal del agua del mar para aprovechar sin límite sus inmensas reservas, ya se tiene constancia de que Aristóteles hablaba de aquello que hacía inservible el agua de mar para poder regar los campos y calmar la sed. Desde la época griega clásica, donde se defendieron los principios para la separación del agua y las sales, el hombre siempre ha buscado maneras de lograr la separación. Existen ejemplos a lo largo de la historia antigua de hombres dedicados a tal esfuerzo: Aristóteles, Tales de Mileto, Demócrito, Plinio, Laguna (médico de Carlos V). En el siglo XVI ya se utilizaron alambiques en barcos para obtener agua dulce, aunque de naturaleza muy rudimentaria (Valero *et al.* 2001).

Hasta bien entrado el siglo XIX no se puede hablar propiamente de una instalación desaladora de naturaleza estable. Precisamente fue una planta de destilación solar en una explotación minera: las Salinas de Chile (Handbury *et al.* 1993). Su rendimiento era ínfimo (20 m³ producidos en extensión de 4.000 m²), pero era la primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en aquel lugar tan remoto y árido. Posteriormente, en el año 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera. Toda la primera tecnología iba encaminada al efecto pernicioso del agua salada en los tubos de los intercambiadores: incrustaciones, corrosión (ibíd.).

La primera mitad del siglo XX fue totalmente dominada por las tecnologías de evaporación, y se incidió principalmente en el diseño de nuevos tipos de intercambiadores más eficientes y compactos que producían cada vez más agua dulce con el menor consumo. La facilidad de combinación con instalaciones productoras de energía y su robustez y capacidad ha contribuido a su manutención en el panorama mundial (Torres, 1999) (**Gráfica 1**).



Gráfica 1. Evolución de la capacidad total de desalación en el mundo.

El costo promedio de un metro cúbico de agua desalada en el mundo es alrededor de \$0.52 dólares, lo que equivale a \$6.60 pesos mexicanos (ibíd.).

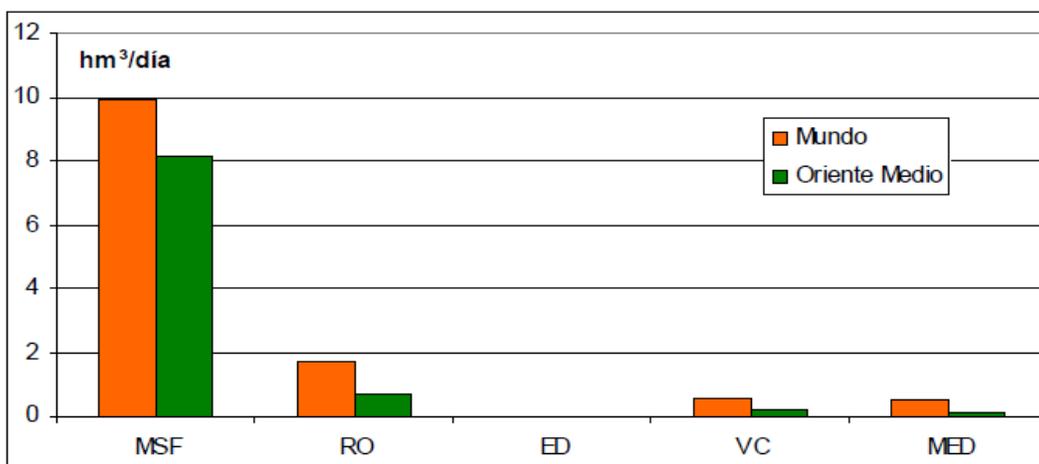
La bibliografía consultada nos dice que actualmente son muchos los países que están apostando por este método para abastecer su demanda. La región de Medio Oriente encabeza la lista con algunas de las plantas desaladoras más grandes del mundo. Arabia Saudita por ejemplo, abastece el 80% del consumo de agua en zonas urbanas con agua desalada mientras Israel provee en 42% del consumo total de agua potable para las ciudades con tres megaplantas desaladoras. Otros países que han invertido de manera importante en infraestructura para desalación son: España, Emiratos Árabes Unidos, Libia, Qatar, Estados Unidos y Japón.

El costo de producción de agua desalada varía dependiendo de la capacidad de producción de la planta, del costo y disponibilidad de la energía y del método que se utilice. En 2012 el estándar internacional óptimo de consumo de energía para la producción de agua desalada es de 3 a 4 kWh por metro cúbico, sin embargo en algunas plantas se ha logrado un consumo de hasta 2.7 kWh por metro cúbico. Se ha comprobado que los proyectos a gran escala son más eficientes en términos de consumo energético ya que permiten la utilización de equipos y motores de gran capacidad que representaría una eficiencia eléctrica más grande (RECSA, 2012).

Oriente medio y norte de África.

El porcentaje de los países de Oriente Medio se incrementa sustancialmente respecto de ese 61% si sólo hablamos de agua de mar. La tecnología MSF es predominante respecto al resto de técnicas evaporativas, como puede verse en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con alrededor del 80% del total del agua de mar desalada por procesos MSF (

Cuadro 6).



Gráfica 2. Capacidad total concentrada de agua de mar, por métodos de desalación.

Cuadro 6. Capacidad instalada (m3/día) en la región MENA desglosada por técnicas de desalación.

País	MSF	MED	CV	OI	ED	Total
Arabia Saudita	3,486.985	17.870	75.512	1,751.191	97.776	5,429.334
Argelia	125.222	955	33.525	83.946	19.976	263.624
Bahrain	581.420	1.135	47.264	140.526	13.914	784.259
Egipto	33.652	2.577	12.350	139.133	33.385	221.097
Irán	319.769	18.210	34.487	85.874	20.710	479.041
Iraq	10.824	1.175	-	232.051	88.563	332.613
Israel	7.191	21.028	2.604	196.739	6.578	234.140
Jordania	-	-	1.100	7.726	1.537	10.363
Katar	782.901	3.642	21.334	13.811	-	821.688
Kuwait	1,468.750	11.672	150	166.472	5.093	1,652.137
Libano	520	-	14.670	3.200	-	18.390
Libia	462.575	6.456	71.489	138.430	69.264	748.214
Mauritania	3.000	-	1.654	-	-	4.654
Marruecos	7.002	-	8.064	-	1.404	16.470
Omán	329.927	4.200	14.019	28.837	896	377.879
Palestina	-	-	-	2.246	-	2.246
Somalia	-	-	120	288	-	408
Siría	-	-	-	6.983	1.983	8.966
Sudán	226	750	900	-	-	1.876
Túnez	336	240	4.820	58.615	-	64.011
UAE	4,468.769	9.346	474.505	174.553	5.102	5,132.275
Yemen	2.400	61.506	250	7.411	3.330	74.887

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

Asia y Oceanía.

Respecto a la situación en la región del pacífico, aunque no sea importante su cuota de participación con respecto al total mundial, es bastante interesante resaltarla (Goto *et al.* 1999) (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico, datos de 1998.

País	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Usos	Tipo de agua
Australia	84.000	64% RO 18% VC 12% MSF+ME	45% Industria 33% Gen. Eléctrica 15% Municipal	70% salobre 18% residual 10% mar
China	182.000	85% RO 15%MSF+ME	55% Industrial 40% Gen. Eléctrica 55 Consumo	50% salobre 20% pura 305 río, residual
Japón	129.885	88% RO 6.5% ED 3,5% MSF 1.8% ME	53% Industria 47% Consumo	Principalmente mar y salobre.
Corea	180.000	>90% RO Resto ED	100% Industria incluyendo gen. eléctrica	Pura > salobre >residual > río

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

Europa.

Con respecto a la situación en Europa, la aportación de la desalación solo es representativa en islas del Mediterráneo.

En el resto de países mediterráneos, la desalación es menos importante en cuanto al porcentaje de aportación al consumo, con pequeñas plantas MSF y CV en el sur de Italia (incluyendo Sicilia y Cerdeña), aunque la capacidad total instalada alcance un valor casi comparable al español. Grecia y Turquía tienen también pequeñas plantas de OI generalmente para abastecimiento de las islas del mar Egeo. Finalmente Alemania y Austria tienen plantas de reutilización de aguas residuales o de producción de agua ultra pura para procesos industriales, sin utilizarse para el consumo humano.

América.

La desalación en los Estados Unidos (**Cuadro 8**) se centra sobre todo en los estados de California, Texas y Florida, ya que son las zonas costeras más áridas del país (con sequías cada vez más frecuentes en la zona) y tienen la mayor previsión de aumento demográfico del país, con un 45% en el horizonte del año 2025 (Gleick 1998).

Cuadro 8. Plantas de desalación en los estados de USA.

Localización	Estado	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Tipo de agua
Chandler	Arizona	10.500	OI/NF	Salobre
El Segundo	California	92.000	OI/NF	Residual
Riverside	California	24.800	OI	Salobre
Saratoga	California	23.000	MF	Deteriorada
Water Factory 21	California	23.000	OI	Salobre / mar
Dunedin	Florida	44.100	OI	Salobre
Hollywood	Florida	82.800	OI/NF	Salobre
Napples	Florida	55.200	OI/NF	Deteriorada
Sanibel	Florida	21.600	OI	Salobre
KemoleWeir	Hawaii	36.800	MF	Residual
Mt. Pleasant	South California	31.300	OI	Salobre
Sherman	Tejas	27.600	EDR	Deteriorada
Newport News	Virginia	26.250	OI	Salobre

MF: Micro filtración NF: Nano filtración

Fuente: Elaboración propia con datos de Valero *et al.* 2001.

Panorama nacional de la desalación.

La desalación en México viene operando desde hace ya alguno años. Durante las últimas tres décadas se han instalado pequeñas plantas desaladoras con fines fundamentalmente turísticos (en hoteles), municipales (servicio de limpieza) y para uso industrial (generación de energía eléctrica)(Nava, 2007).

A principios de este siglo se estimaban aproximadamente un total de 171 plantas de las cuales 120 se encontraban en operación (ibíd.)

Actualmente el IMTA cuenta con el inventario nacional de desaladoras actualizado. Existen en México 320 sitios donde están instaladas desaladoras, y en éstos hay 435 plantas. Esta infraestructura se halla distribuida en todo el país. El estado con el mayor número de desaladoras es Quintana Roo, con 124

unidades; le sigue Baja California Sur, con 71. Este último cuenta con la planta municipal más grande del país, en los Cabos, que produce 200 L/s de agua potable (17 280 m³/d) y abastece a una parte de Cabo San Lucas. Es una concesión por 20 años a una empresa española, y el costo por m³ actualmente está alrededor de los diez pesos con cincuenta centavos (Díaz, 2007).

Tanto de los procesos térmicos como de los de membrana se obtienen dos productos: el agua destilada o baja en sales, a la que es necesario darle un postratamiento para que sea apta para consumo humano y no provoque problemas de corrosión en las redes de distribución, y la salmuera, que es el concentrado de sales de estos procesos y es de tal modo un desperdicio con una concentración doble de sales, la cual debe ser desechada adecuadamente.



Ilustración 10. Descarga de salmuera al mar, desde una desaladora.

Los residuos de las plantas desaladoras se desechan en dos formas: si existe terreno suficiente, se llevan a lagunas de secado, donde el agua se evapora; la sal que queda es confinada, ya que tiene químicos que no permiten su utilización para el consumo humano. El método de disposición de salmuera más común es su depósito en el océano, por medio de difusores ubicados mar adentro (**Ilustración 10**). El mar diluye en segundos las altas concentraciones de sal que por ese medio se le agregan. Es necesario no hacer estas descargas de salmuera en sitios muy frágiles bióticamente, como los bancos de coral. Un dato curioso es que la sal que hay ya en los mares del mundo es tanta, que si la extrajéramos en su totalidad

cubriríamos con ella todos los continentes con una capa de 1.5 m de alto(Díaz, 2007).

Panorama de la desalación en zonas áridas del país.

La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% (30.1 miles de millones de metros cúbicos por año al 2010) del volumen total concesionado para usos consuntivos, pertenece a esta origen (Conagua, 2012).

Las aguas salobres se presentan específicamente en aquellos acuíferos localizados en provincias geológicas caracterizadas por formaciones sedimentarias antiguas, someras de origen marino y evaporativo, en las que la interacción del agua subterránea con el material geológico a través del cual circula, produce su enriquecimiento en sales (ibíd.).

Para finales del año 2010 se habían identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre, localizados principalmente en la Península de Baja California y en el altiplano mexicano. En estas regiones convergen condiciones de poca precipitación pluvial, altos índices de radiación solar y por tanto de evaporación, así como la presencia de aguas congénitas y de minerales evaporativos de fácil disolución (ibíd.).

Los acuíferos que se encuentran sobre explotados en Baja California Sur son: Santo Domingo, Melitón Albañez, Los Planes, La Paz y Alfredo V. Bonfil.

A nivel nacional, México experimenta un grado de presión del 17.38%, lo cual se considera moderado; mientras que la región con más alto grado de presión es la región Noroeste con más de 88% (ibíd.).

El principal uso agrupado del agua en México es el agrícola, el cual en términos de uso de aguas se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos.

El disponer de agua en cantidad y calidad suficiente para el consumo humano es una de las demandas básicas de la población, pues índice directamente en su salud y bienestar en general (ibíd.).

Las aguas superficiales que discurren por la corteza terrestre, más las que están almacenadas en el suelo y subsuelo, sin contar las aguas dulces congeladas en ambos polos no llegan a ser el 2% de las aguas marinas(Lamela, 2000).

Las cantidades máximas y teóricas de agua a desalar para completar las necesidades de agua potable son muy pequeñas, en magnitudes relativas a las aguas marinas (ibíd.).

Está claro que los acuíferos se pueden agotar y no proporcionar agua; y los embalses se pueden vaciar, desafortunadamente, y no dar más lugar a trasvases, como ya ha ocurrido en algunas ocasiones. Las desalinizadoras, en cambio, si están bien planteadas y realizadas, pueden seguir funcionando ininterrumpidamente, sin ningún tipo de servidumbres o limitaciones del clima y de otros condicionantes de muy variadas índoles, cualquiera que sea su tipo y el agua a tratar (ibíd.).

Panorama de la desalación en baja california sur.

La desalación en el estado de Baja California Sur es un tema nuevo que está comenzando a tener auge, esto es debido a la escasa precipitación que se presenta en esta zona, a pesar de estar rodeada por cuerpos de agua.(Sánchez 2010).

Hace algunos años comenzó a funcionar la planta desaladora que se encuentra localizada en la Ciudad de Los Cabos, dicha planta opera con un sistema de Osmosis inversa y el agua producida es utilizada para dotar a la población de agua potable para poder cubrir la demanda de agua por parte de la población.

Actualmente Conagua anuncio la creación de una nueva planta desaladora que se encontrara localizada en la Ciudad de La Paz, y tendrá el mismo fin que la planta localizada en Los Cabos, solo que esta planta se prevé realizar en dos etapas las cuales contarán la primera en una producción de 200 l/s y en un futuro poderla ampliar hasta los 600 l/s. Con este cambio se podrá reforzar el suministro de la ciudad de La Paz y la zona turística de Pichilingue, Punta Colorada, Bahía Balandra y por último Playa Tecolote (Conagua, 2014).

Descripción del sitio de investigación.

El área de estudio comprende el estado de Baja California Sur, el cual se localiza en la península de Baja California , en el noreste de la República Mexicana, entre los paralelos 22°52'40" a 28°00'00" de latitud Norte y entre los meridianos

109°25'28" a 115°04'45" de longitud Oeste. Al norte limita con el estado de Baja California (paralelo 28°), al Sur y al Oeste con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California. Abarca una extensión en ambos litorales de 2200 km. Cuenta con una superficie de 70470.98 km² misma que representa el 3.76 % del Territorio Nacional y el 51.2 % de la correspondiente península; la topografía presente alcanza alturas que van desde la zona litoral hasta las estribaciones de las sierras que reportan alturas de 2080 msnm (INEGI, 1996).

Una de las regiones marinas con mayor riqueza biológica del mundo es el mar de Cortés o Golfo de California, el cual comprende una superficie marina de doscientos ochenta y tres mil kilómetros cuadrados de longitud y treinta mil kilómetros de costas en el océano Pacífico (ibíd.).

Esta inigualable reserva marina, que registra uno de los niveles más elevados de productividad orgánica del planeta, se encuentra rodeada por valles, montañas, bahías, lagunas costeras, playas, marismas, estuarios, islas y arrecifes de coral de gran belleza (ibíd.).

Gracias a las profundidades de más de tres mil metros que alcanza el mar de Cortés, es el santuario de la ballena gris, entre otros cientos de especies endémicas y migratorias (ibíd.).

Tomando como antecedente la declaratoria que en 1964 establece a la isla Rasa como una Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y Fauna Silvestre, en conjunto de 899 islas del Golfo de California fue decretado el 2 de agosto de 1978 como Área de Protección de Flora y Fauna (APFF), que se extiende a través de trescientas ochenta mil hectáreas en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa (Conagua, 2014).

El valle de los Cirios cuenta con 2 521 987.61 hectáreas, abarcando la tercera parte del Estado, es el representante por excelencia del paisaje bajacaliforniano, entidad que cuenta con el mayor número de áreas protegidas del país gracias a su diversidad topográfica, climatológica e hidrológica. A través de una extensa área de litoral de 600 kilómetros por un lado el océano Pacífico y por otro el mar de Cortés y asentando en el municipio de Ensenada, en Baja California, se encuentra el APFF más grande de México (Conagua, 2014).

Localización del área de estudio.

El estado de Baja California Sur se encuentra ubicado en la parte sur de la Península de Baja California al noroeste del país, tiene una extensión de 73,677 km², es decir el 3.7% del territorio nacional. Dividido en cinco municipios; (Mulegé, La Paz, Comondú, Loreto y Los Cabos). Presentado a La Paz como su Capital (Ilustración 11).



Ilustración 11. Municipios de B.C.S.

FUENTE: Tesis de licenciatura (Ángel Sánchez García, Desalación de agua de mar apoyada con energía eólica en Guerrero Negro, BCS).

Generalidades de la Paz B.C.S.

Cuadro 9. Cabecera municipal y superficie territorial por municipio en Baja California Sur.

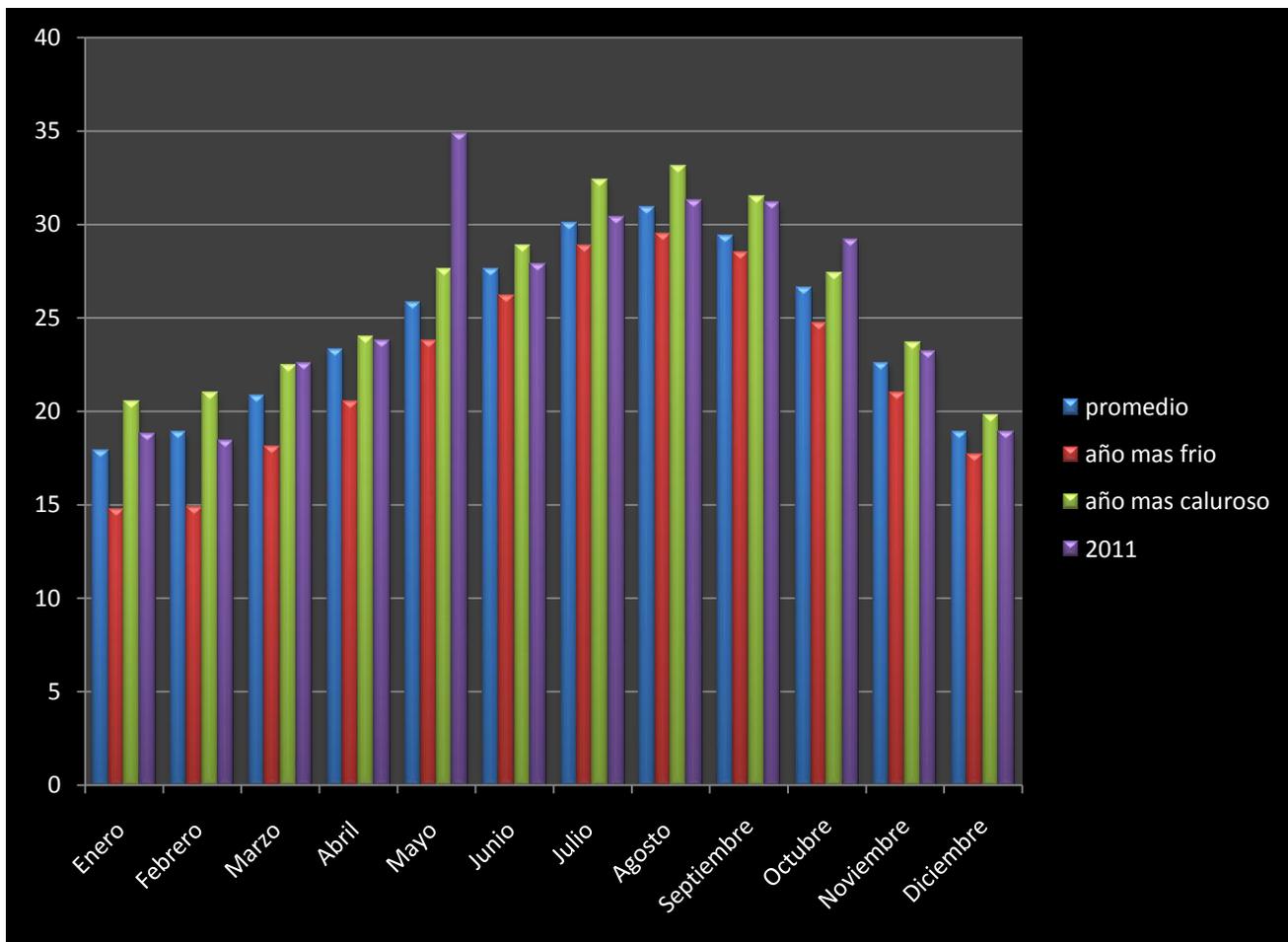
Municipio	Cabecera municipal	Superficie km ²
Comondú	Cuidad Constitución	12, 547.30
Mulegé	Santa Rosalía	33, 092.21
La Paz	La Paz	20, 274.98
Los Cabos	San José del Cabo	3, 451.51
Loreto	Loreto	4, 311.00
Total Baja California Sur		73, 677.00

Fuente: elaboración propia con datos tomados de Sánchez 2010.

Clima.

El clima en la ciudad de La Paz es de tipo seco desértico con temperaturas que oscilan entre los 9-40°C, (Gráfica 3) dando lugar a una temperatura promedio anual

de 24-25°C., presentándose con ello temperaturas elevadas durante el verano en los meses de mayo-octubre.



Gráfica 3. Temperatura mensual de La Paz, B.C.S. de 1984-2011

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico de Baja California Sur 2012.



Ilustración 12. Localización de la zona de estudio

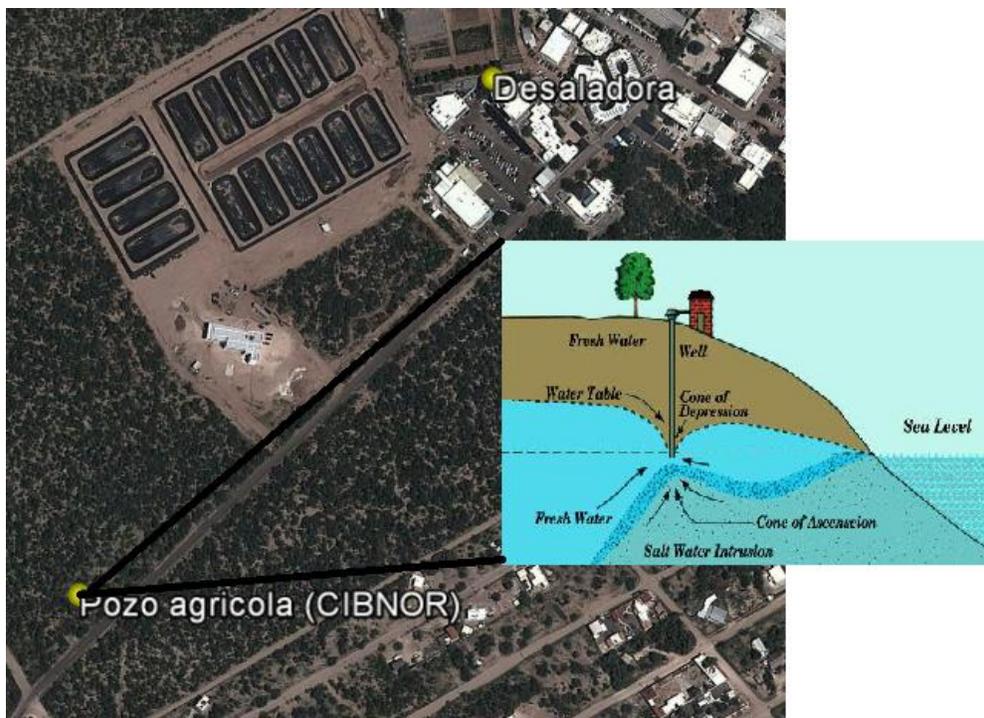


Ilustración 13. Pozo agrícola y Planta desaladora del CIBNOR.
Fuente: Elaboración propia

El CIBNOR se encuentra localizado en el paralelo 24°09´ de latitud Norte y entre los meridianos 110°24´ de longitud Oeste.

Región hidrológica administrativa I.



Ilustración 14. Regiones Hidrológicas Administrativas.
Fuente: CONAGUA (2008). Estadísticas del Agua en México.

La región I Península de Baja California, se encuentra a su vez dividida en dos subregiones, la primera en Baja California, la cual abarca el estado del mismo nombre y parte del municipio de San Luis Río Colorado en el estado de Sonora, y la otra subregión que comprende el estado de Baja California Sur (**Ilustración 14**).



Ilustración 15. Acuíferos sobreexplotados en el país.
Fuente: Conagua. Estadísticas del Agua en México, Edición 2011

Esta región se encuentra localizada en el lugar con menores recursos hidráulicos en el país y con menores índices de precipitación. Esto agrava aún más la situación de los pobladores por las condiciones climatológicas existentes, por lo que el abastecimiento es en menor medida con aguas subterráneas.

Uno de los parámetros que permite evaluar la salinización de aguas subterráneas, son los sólidos totales. De acuerdo a su concentración las aguas subterráneas se clasifican en dulces (<1 000 mg/L), ligeramente salobres (1 000-2 000 mg/L), salobres (2 000-10 000 mg/L) y salinas (>10 000 mg/L).

El límite entre agua dulce y ligeramente salobre coincide con la concentración máxima señalada por la modificación de la norma oficial mexicana **NOM-127-SSA1-1994**, que “establece los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua consumo humano y tratamiento en materia de calidad del agua para consumo humano.”(Conagua, 2010, p. 55).

A partir de la década de los setenta, ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados (*Ilustración 15*). En el año 1975 eran 32 acuíferos sobreexplotados al 31 de diciembre del 2009. De los acuíferos sobreexplotados se extrae el 53.6% del agua subterránea para todos los usos. (Conagua, 2011, p. 34) (*Cuadro 10*).

Cuadro 10. Acuíferos del país, con intrusión marina, salinización de suelos y aguas subterráneas salobres por RHA, 2009.

RHA		Número de acuíferos				Recarga media (hm ³)
		Total	Sobre explotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	
I	Península de Baja California	87	8	9	5	1 300
II	Noroeste	63	13	5	0	3 426
VI	Río Bravo	100	15	0	7	5 306
VII	Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	19	2 392
X	Golfo Centro	22	0	2	0	4 260
XII	Península de Yucatán	4	0	0	1	25 316
Total nacional		653	100	16	32	81 707

FUENTE: Elaboración propia con datos obtenidos de (CONAGUA), Estadísticas del Agua en México, Edición 2011.

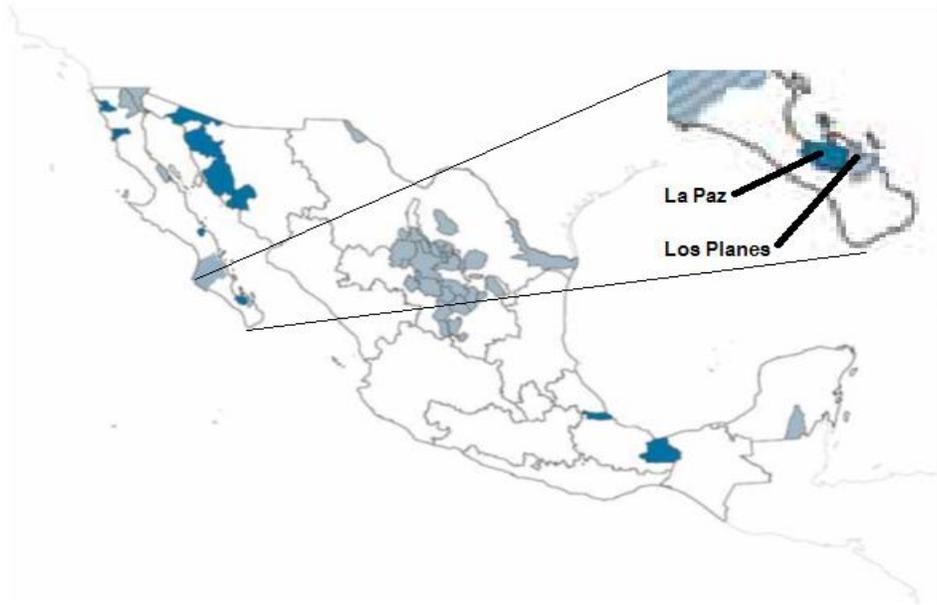


Ilustración 16. Acuíferos con intrusión marina y/o salinización de suelos y aguas subterráneas salobres, Baja California Sur, 2009.

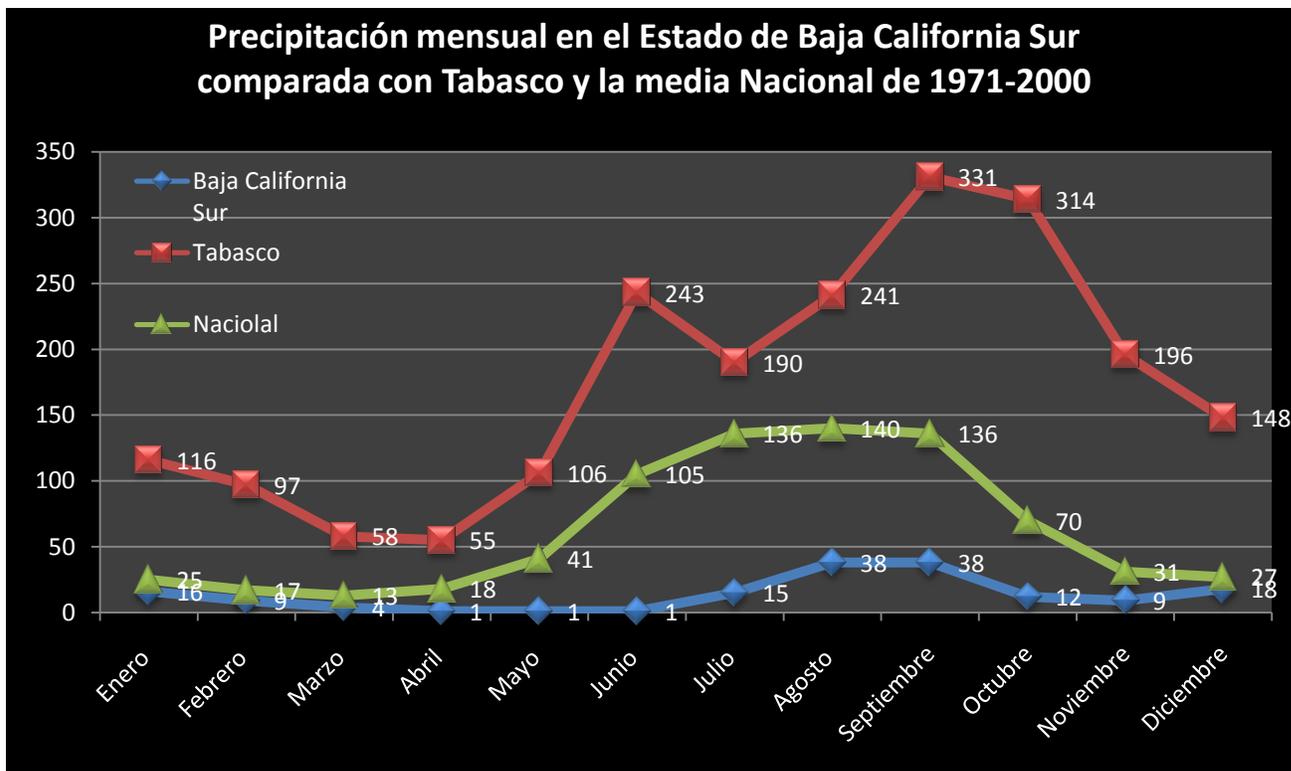
Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua. Subdirección General de Programación. 2010.

Precipitación pluvial.

Anualmente México recibe del orden de 1 489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.7% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.

La precipitación normal del país en el periodo de 1971-2000 fue de 760 milímetros. Los valores “normales”, de acuerdo con la OMM corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de recabar información, lo cual se considera como un periodo climático mínimo representativo.

Es importante señalar que la distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, debido a que el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre los meses de junio y septiembre.



Gráfica 4. Precipitación pluvial mensual en el estado de Baja California sur, comparada con Tabasco y con la media Nacional en el periodo de 1971-2000.

Fuente: Elaboración propia con datos de (Conagua), Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional.

Como podemos observar en la **Gráfica 4** nos damos cuenta que mientras en el estado de Tabasco tienen una gran cantidad de agua por sus precipitaciones tan abundantes durante todo el año, para Baja California Sur tenemos el caso de estar aún por debajo de la media nacional en cuanto a las precipitaciones, volviéndolo el estado con menos precipitaciones durante el año con apenas 160 mm al año, y los meses más lluviosos son de Julio a Octubre esto gracias a la temporada de huracanes.

Usos del agua en Baja California Sur.

El agua es empleada de diversas formas principalmente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios.

En el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tienen registrados los volúmenes concesionados (o asignados, en el caso de volúmenes destinados al uso público urbano o doméstico) a los usuarios de aguas nacionales. En dicho

registro se tienen clasificados los usos del agua en 12 rubros, mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, es decir el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas, y por último el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo.

Los principales usos que se le dan al agua en el estado de Baja California Sur son:

- Agrícola
- Público-Urbano
- Pecuario
- Otros

Baja California Sur cuenta con importantes desarrollos agropecuarios diseminados a lo largo del estado, actividad que demanda una gran cantidad del recurso. En las costas de la región sur debido al auge turístico y comercial, la mayor demanda se tiene por el sector Público- Urbano dejando atrás al agrícola.

En diciembre de 1998 personal del departamento de aguas subterráneas de la gerencia estatal de B.C.S. realizó el censo de los pozos existentes en el acuífero, identificándose 252, dividiéndose según su uso (**Cuadro 11**).

Cuadro 11. Usos del agua de pozo en el estado de Baja California Sur.

Núm. Pozos	Usos
122	Agrícola
123	Público Urbano
6	Servicios
1	Domésticos

Fuente: Elaboración propia con datos de la tesis (Desalinización del agua de mar con energía eólica en Guerrero Negro, BCS.)

De los 79,752.3 millones de m³ que se concesionan en el país de agua de acuerdo al uso consuntivo, Baja California Sur es el estado en el que se concesiona la menor cantidad de agua resultando ser un total de 401.2 millones de m³ los cuales se distribuyen de la siguiente manera: Agrícola 326.3, Abastecimiento Público 61.5, Industria auto abastecedora sin termoeléctricas 9.5, Termoeléctricas 3.9. (Conagua, 2011).

Acuífero de La Paz.

De acuerdo a los reportes de la Conagua el acuífero de la paz (Ilustración 17) actualmente se encuentra considerado como un acuífero sobre explotado, y esto es debido al aumento de la población, la implementación de la agricultura y la promoción de las zonas turísticas que año con año traen a esta ciudad miles de turistas, lo que provoca que en ciertas fechas específicas la demanda de agua se incremente.

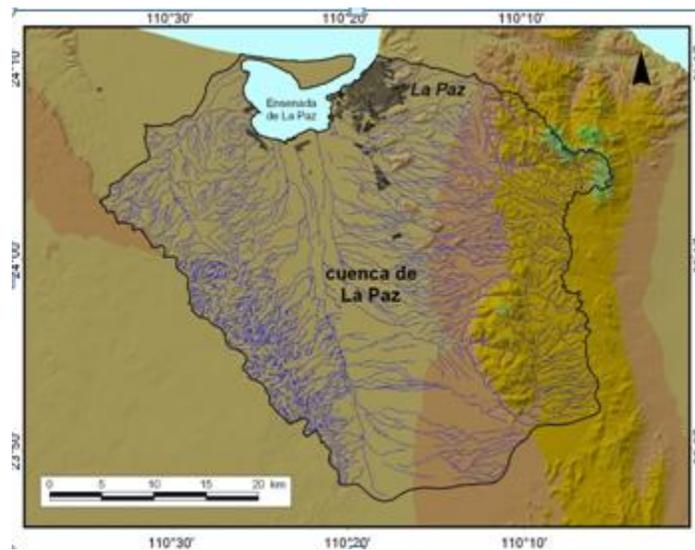


Ilustración 17. Cuenca de La Paz

Fuente: Ilustración proporcionada por el Dr. Arturo Cruz Falcón

Descripción de la desaladora del Centro de Investigaciones Biológicas CIB.

La planta desaladora que se encuentra en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste CIBNOR (Ilustración 18) es una planta muy distinta a las que existen comercialmente, ya que esta ensamblada con algunos materiales que se tenían disponibles en el Campo Agrícola, la planta funciona por el método de Osmosis inversa. Tiene una sola membrana que es la encargada de Quitarle la sal al agua proveniente del pozo agrícola, el agua es impulsada por una bomba de 15 caballos a través de la tubería y después de que ha pasado por el proceso el agua sin sales es enviada a un aljibe donde se mantendrá almacenada para después poder ser utilizada para regar los cultivos.



Ilustración 18. Planta desaladora.

Fuente: fotografía tomada por Marco Antonio Díaz Serna.

Pozo agrícola.

El pozo agrícola (**Ilustración 19**) se encuentra localizado a un kilómetro de la planta desaladora, este pozo es alimentado con agua salobre debido a la intrusión salina por la cercanía que se tiene al mar. Actualmente se está extrayendo agua a 12 metros de profundidad con ayuda de los paneles solares que activan una bomba solar.

La construcción del pozo agrícola es de block como se muestra en la figura para que el agua pueda pasar a través de los poros.



Ilustración 19. Pozo agrícola del CIBNOR.

Fuente: Fotos tomadas con cámara propia en el lugar donde se localiza el pozo agrícola del CIB.

Panel solar del pozo agrícola.

La implementación de los paneles solares (**Ilustración 20**) es nueva, y estas hacen funcionar a una bomba sumergible la cual extrae el agua del pozo y la almacena en el tanque que se encuentra localizado a un lado del pozo el cual tiene una capacidad de 10, 000 litros. De este tanque el agua es enviada por gravedad hasta los dos tanques de almacenamiento que se encuentran localizados a un costado de la planta desaladora. Mientras mayor sea la radiación que se esté recibiendo en los paneles la bomba trabaja de manera más eficiente.





Ilustración 20. Panel solar colocado en el área del pozo agrícola del CIBNOR, para el funcionamiento de la bomba sumergible.

Fuente: Fotos tomadas con cámara propia en el pozo agrícola del CIB.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- Equipo para medición de calidad y salinidad de agua;
- Medidor de pH y conductividad eléctrica Modelo HI 98130.
- Medidor multiparámetro Modelo YSI 556 MPS.
- Agua destilada.
- Bote o cubeta.
- Libreta de Campo.
- Lápiz.

El método que se utilizó para el muestreo de los análisis fue como sigue:

1.- Tomar una muestra que represente el agua a estudiar.



2.- Lavar muy bien todo el equipo con agua destilada.



3.- Encender el aparato.



4.- Introducir el aparato en la muestra de agua contenida en el balde de agua.



5.- Tomar lectura de la muestra localizada en la pantalla del aparato.



6.- Anotar los resultados en la libreta para hacer el registro.



7.- Retirar el aparato del agua y apagarlo, después colocarlo en una bolsa para no mojar el estuche.

8.- Tirar la muestra de agua.

9.- Guardar todo el material

10. Repetir los pasos anteriores para el siguiente muestreo.

IV. RESULTADOS

Después de haber realizado una serie de análisis al agua del pozo agrícola del CIBNOR, antes y después del tratamiento de Osmosis inversa, se tienen los siguientes resultados:

Cuadro 12. Datos obtenidos del primer análisis realizado el día 7 de febrero de 2014.

	Temp. °C	C.E ms/cm	TDS g/l	Sal g/l	pH
Pozo	25.9	6.753	4.391	3.68	7.07
Tanques	21.4	6.871	4.467	3.78	7.28
Membrana	19.8	0.062	0.040	0.03	8.34
Aljibe	23.7	1.311	0.852	0.65	7.86

Cuadro 13. Datos obtenidos del segundo análisis realizado el día 14 de marzo de 2014.

	Temp. °C	C.E ms/cm	TDS g/l	Sal g/l	pH
Pozo	28.64	6.584	4.28	3.58	7.28
Tanques	26.45	6.646	4.32	3.62	7.42
Membrana	24.67	0.064	0.042	0.03	7.8
Aljibe	26.55	0.814	0.528	0.4	8.35
Rechazo	27.42	11.84	7.692	6.72	6.65

Cuadro 14. Datos obtenidos del tercer análisis realizado el día 10 de abril de 2014.

	Temp. °C	C.E ms/cm	TDS g/l	Sal g/l	pH
Pozo	29.56	6.384	4.150	3.46	7.18
Tanques	28.26	6.331	4.118	3.43	7.05
Membrana	27.28	0.067	0.044	0.03	7.95
Aljibe	28.19	1.279	0.831	0.63	7.83
Rechazo	29.16	11.38	7.39	6.43	7.50

Cuadro 15. Datos obtenidos del cuarto análisis realizado el día 30 de abril de 2014.

	Temp. °C	C.E ms/cm	TDS g/l	Sal g/l	pH
Pozo	29.68	6.308	4.100	3.41	7.29
Tanques	29.60	6.235	4.053	3.37	7.63
Membrana	30.45	0.070	0.045	0.03	8.30
Aljibe	29.49	1.441	0.938	0.72	7.06
Rechazo	31.04	11.16	7.268	6.31	7.25

Cuadro 16. Datos obtenidos del quinto análisis realizado el día 14 de mayo de 2014.

Lugar	Temp. °C	C.E ms/cm	TDS g/l	Sal g/l	pH
Pozo	29.04	6.372	4.144	3.45	7.45
Tanques	29.71	6.268	4.083	3.40	7.73
Membrana	29.53	0.099	0.063	0.04	8.90
Aljibe	28.85	1.509	0.982	0.75	7.60
Rechazo	30.22	10.85	7.060	6.11	7.43

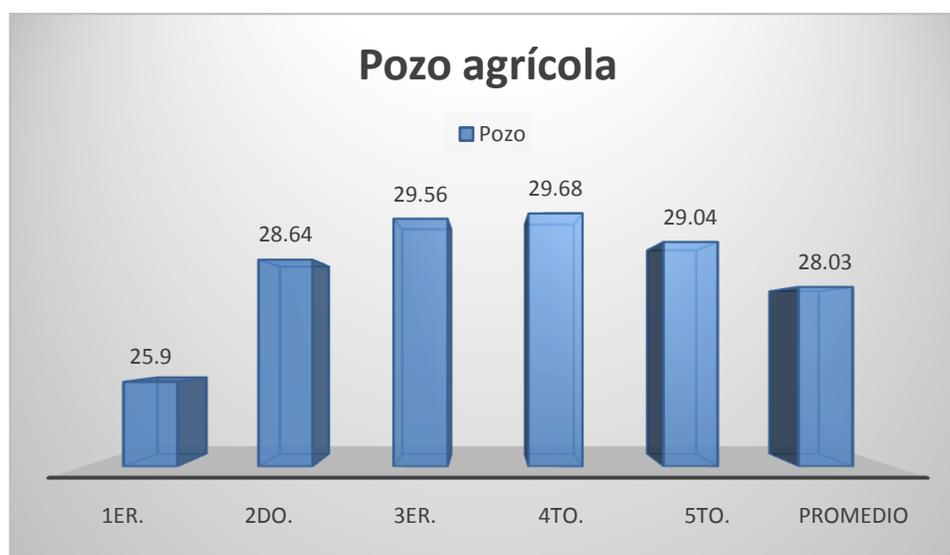
A continuación se mostrarán, en los cuadros los datos por separado de cada uno de los parámetros que se tomaron en cuenta para los análisis de la calidad y salinidad del agua.

En el caso del primer análisis no se realizó el muestreo al agua de rechazo motivo por el cual esta casilla en los cuadros quedará vacía.

Cuadro 17. Temperaturas del agua en °C de los cinco análisis.

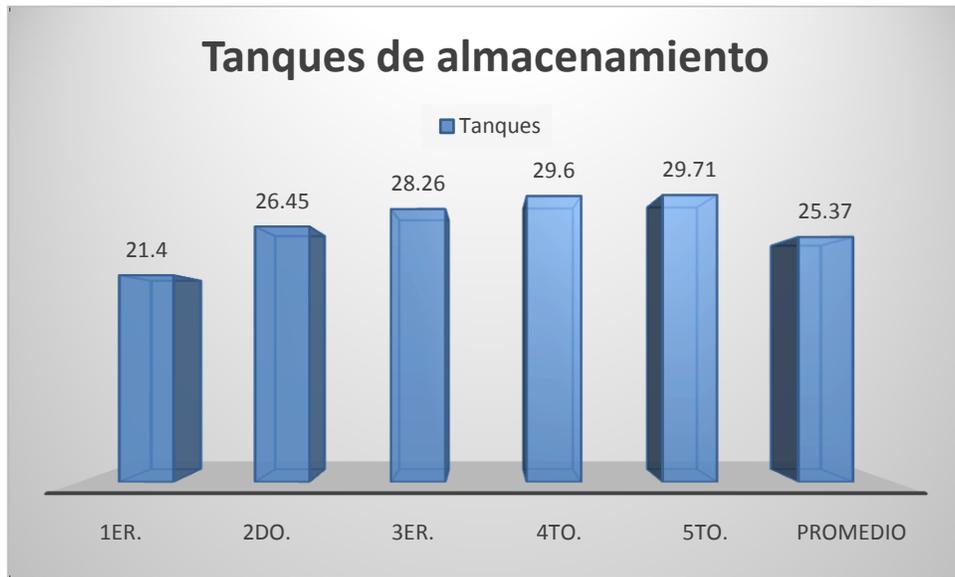
Lugar	1er.	2do.	3er.	4to.	5to.	Promedio
Pozo	25.9	28.64	29.56	29.68	29.04	28.03
Tanques	21.4	26.45	28.26	29.60	29.71	25.37
Membrana	19.8	24.67	27.28	30.45	29.53	23.91
Aljibe	23.7	26.55	28.19	29.49	28.85	26.14
Rechazo	23.7	27.42	29.16	31.04	30.22	28.29

Los datos que se obtuvieron de las temperaturas fueron cada vez en aumento y esto se justifica puesto que la temperatura ambiental cada vez va en aumento.

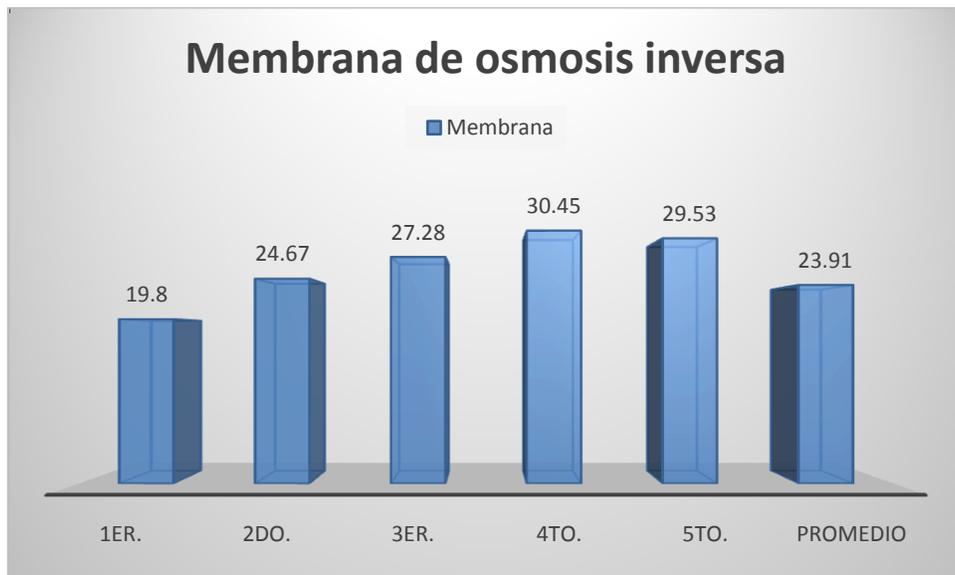


Gráfica 5. Temperaturas del agua del pozo agrícola.

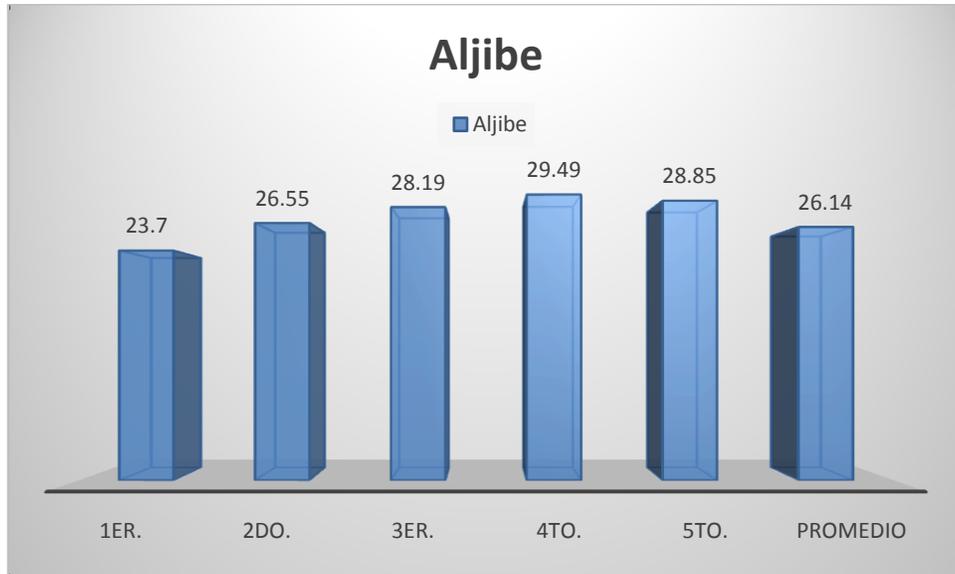
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 6. Temperatura del agua de los tanques de almacenamiento.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

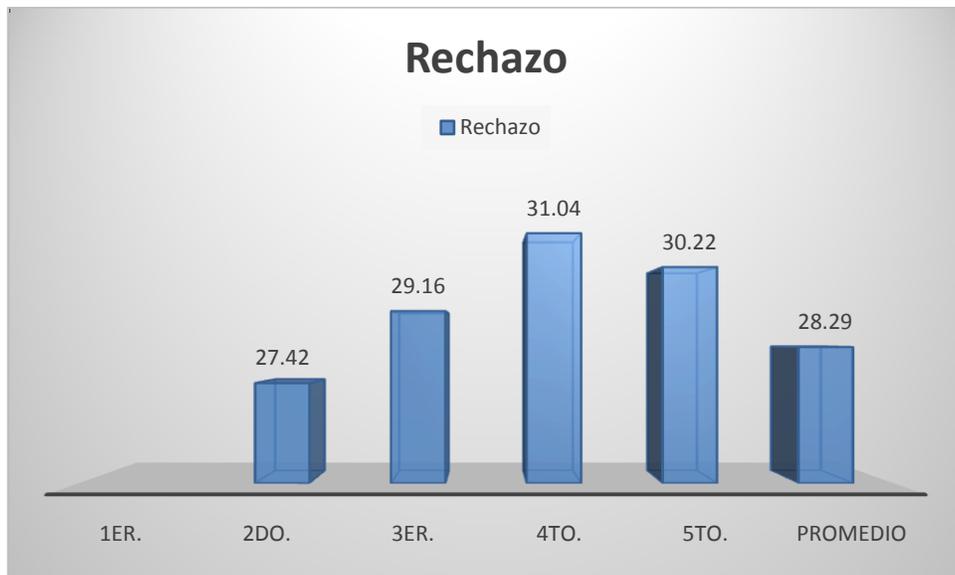


Gráfica 7. Temperatura del agua de la membrana de Ósmosis inversa.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 8. Temperatura del agua del aljibe.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 9. Temperatura del agua de rechazo.

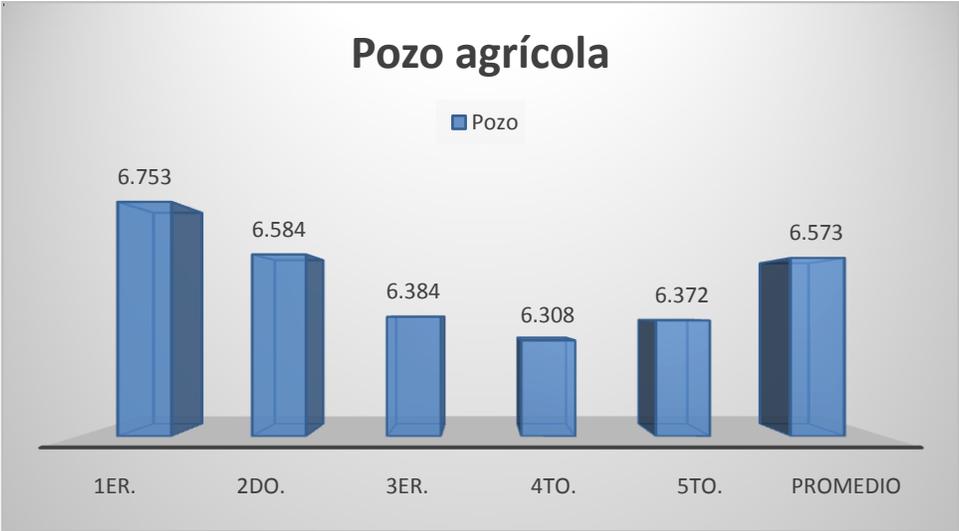
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

Cuadro 18. Conductividad Eléctrica en $\mu\text{s/cm}$ de los cuatro análisis.

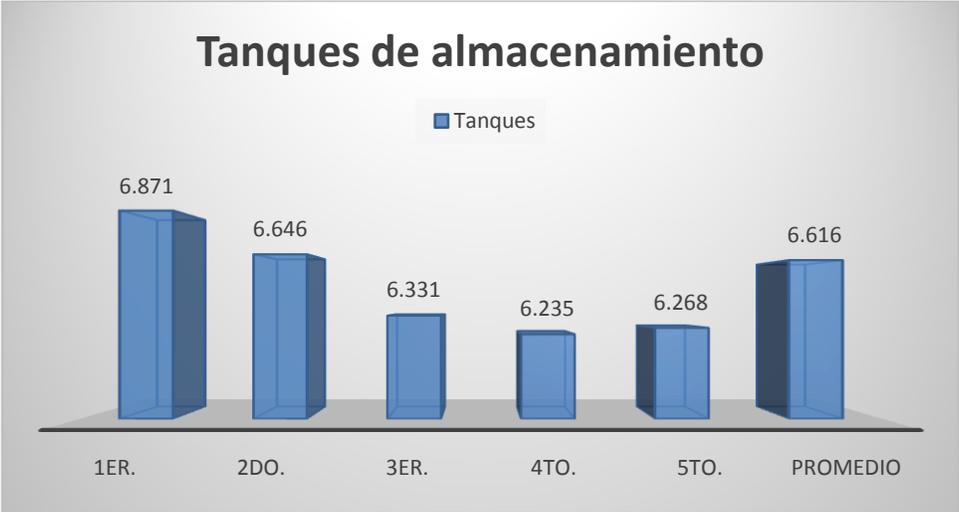
Lugar	1er.	2do.	3er.	4to.	5to.	Promedio
Pozo	6.753	6.584	6.384	6.308	6.372	6.573
Tanques	6.871	6.646	6.331	6.235	6.268	6.616
Membrana	0.062	0.064	0.067	0.070	0.099	0.193
Aljibe	1.311	0.814	1.279	1.441	1.509	1.134
Rechazo	-	11.84	11.38	11.16	10.85	11.61

De los datos obtenidos en la conductividad eléctrica, se puede observar que al contrario de la temperatura, la cual va en aumento, la conductividad va disminuyendo gradualmente y los lugares que más reflejan esta situación son: pozo agrícola, tanques de almacenamiento y el agua de rechazo, mientras que para la membrana el aumento es muy leve, en el aljibe se muestra que en el segundo análisis tuvo una lectura menor y después fue en aumento.

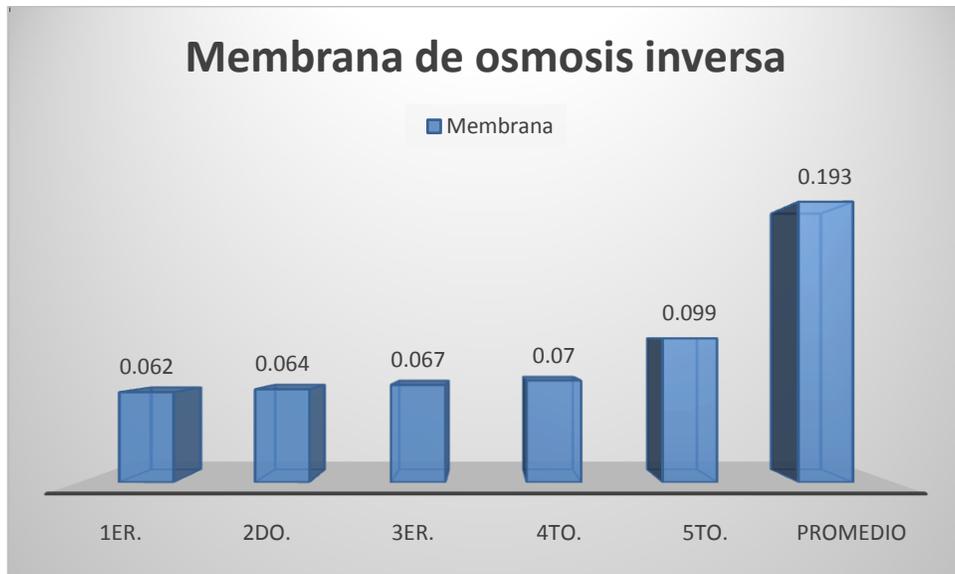
Muchos de los aparatos que miden la conductividad se normalizan automáticamente a 25°C, esto pudo haber ocasionado que las lecturas fueran cada vez menores en lugar de haber aumentado.



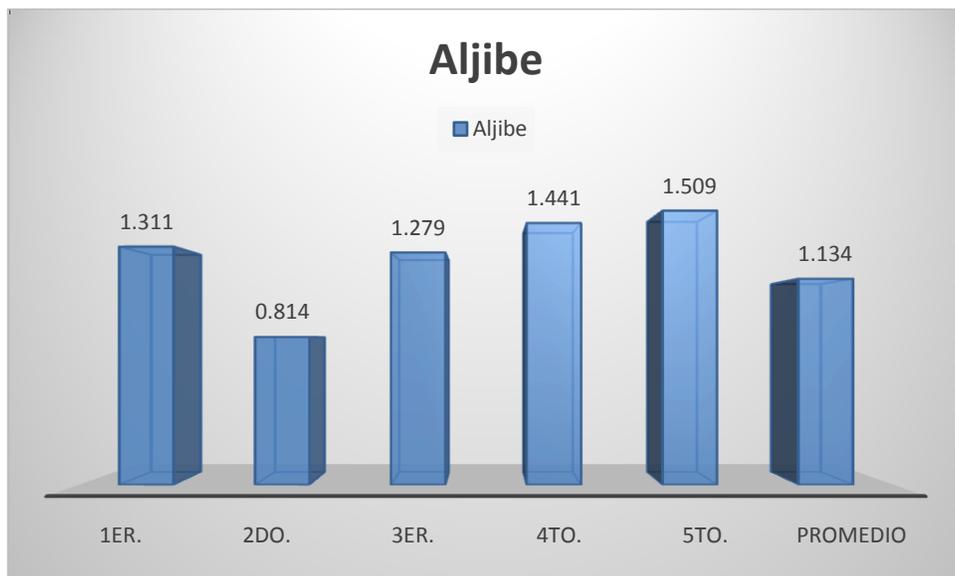
Gráfica 10. Conductividad Eléctrica del agua del pozo agrícola.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



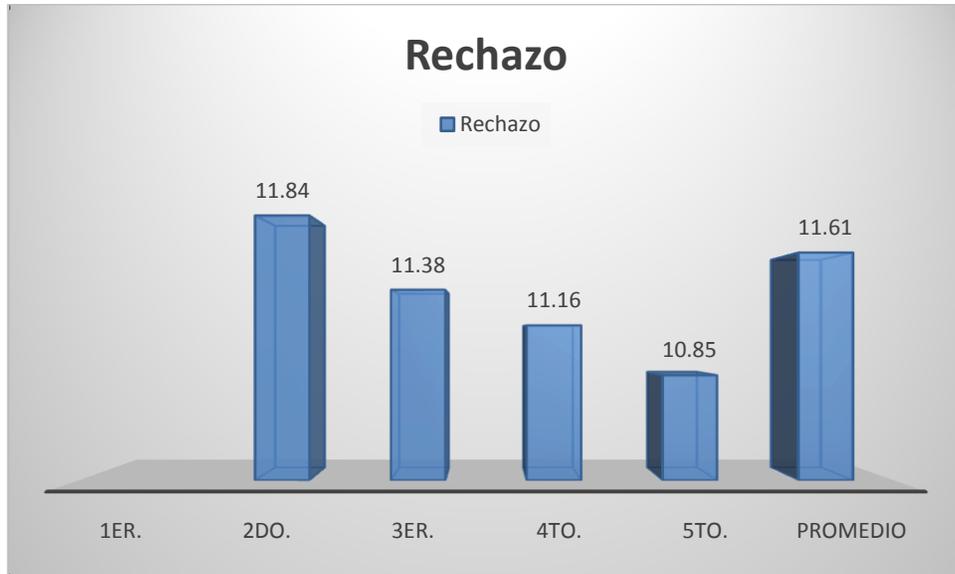
Gráfica 1. Conductividad Eléctrica del agua de los tanques de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 2. Conductividad Eléctrica del agua de la membrana de Ósmosis inversa.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 3. Conductividad Eléctrica del agua del aljibe.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

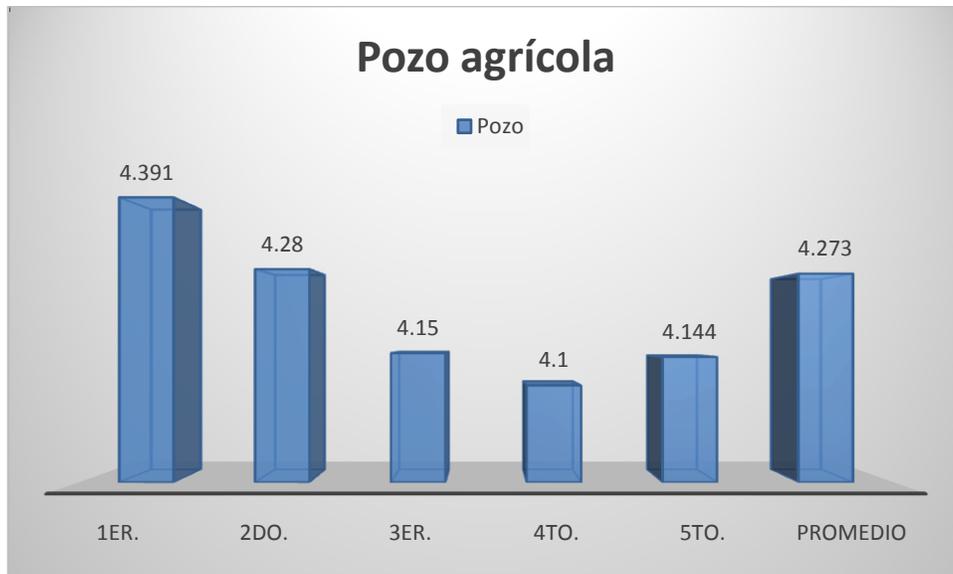


Gráfica 4. Conductividad Eléctrica del agua de rechazo.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

Cuadro 19. Sólidos disueltos totales en g/l de los cuatro análisis.

Lugar	1er.	2do.	3er.	4to.	5to.	Promedio
Pozo	4.391	4.28	4.150	4.100	4.144	4.273
Tanques	4.467	4.32	4.118	4.053	4.083	4.302
Membrana	0.040	0.042	0.044	0.045	0.063	0.042
Aljibe	0.852	0.528	0.831	0.938	0.982	0.737
Rechazo		7.692	7.39	7.268	7.060	7.541

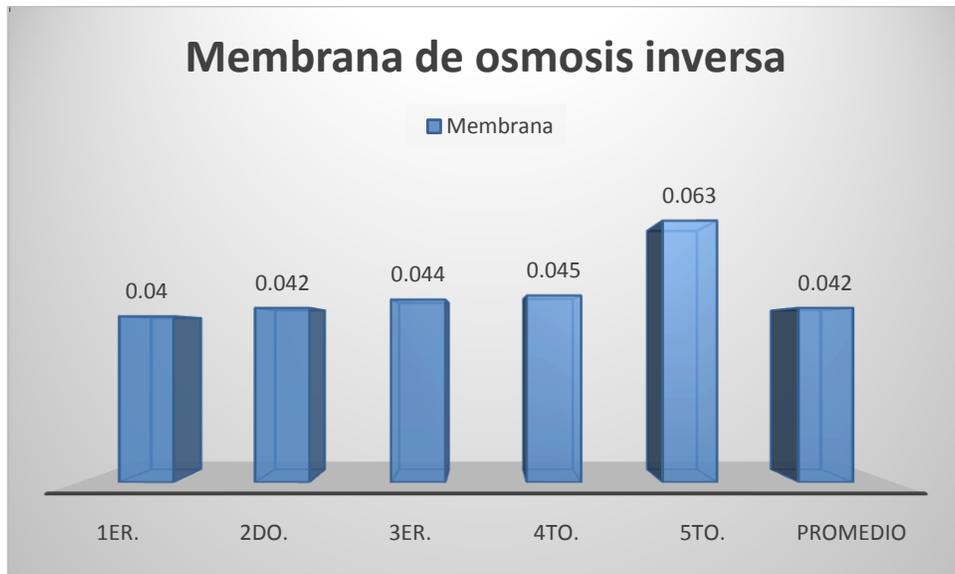
La cantidad de sólidos disueltos totales tuvo el mismo comportamiento que la conductividad eléctrica en todos los parámetros que se midieron.



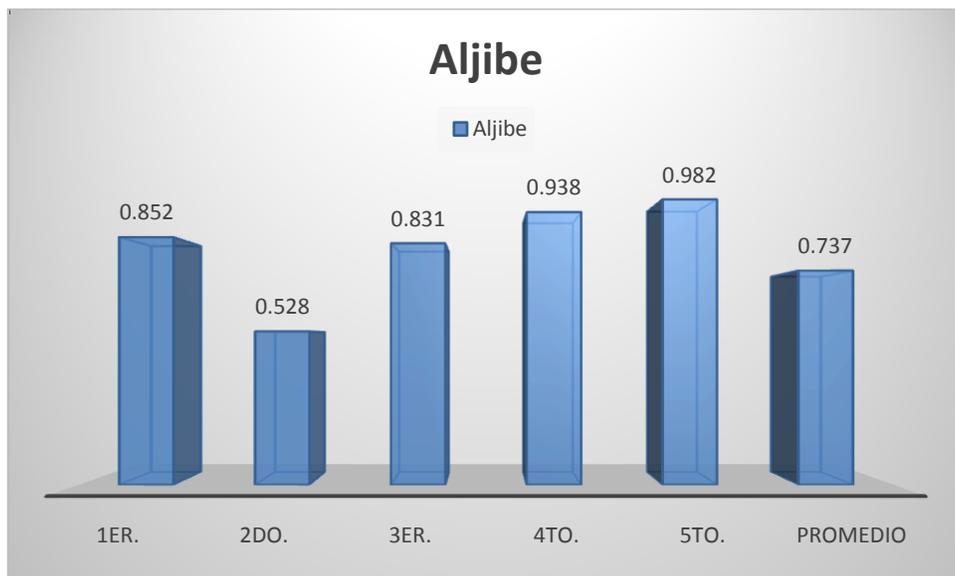
Gráfica 5. Sólidos disueltos totales en el agua del pozo agrícola.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



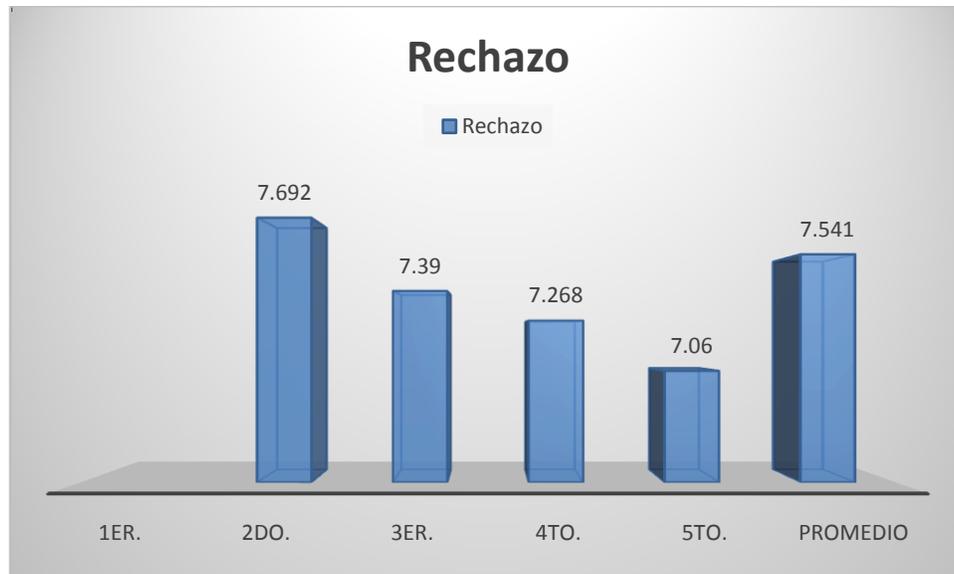
Gráfica 6. Sólidos disueltos totales en el agua de los tanques de almacenamiento.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 7. Sólidos disueltos totales en el agua de la membrana de Ósmosis inversa.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 8. Sólidos disueltos totales en el agua del aljibe.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

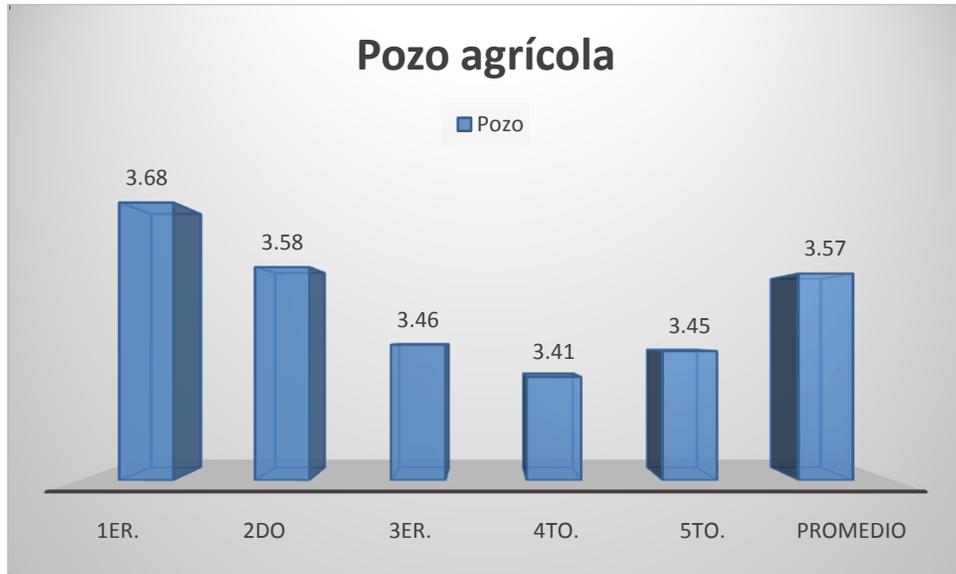


Gráfica 9. Sólidos disueltos totales en el agua de rechazo.
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

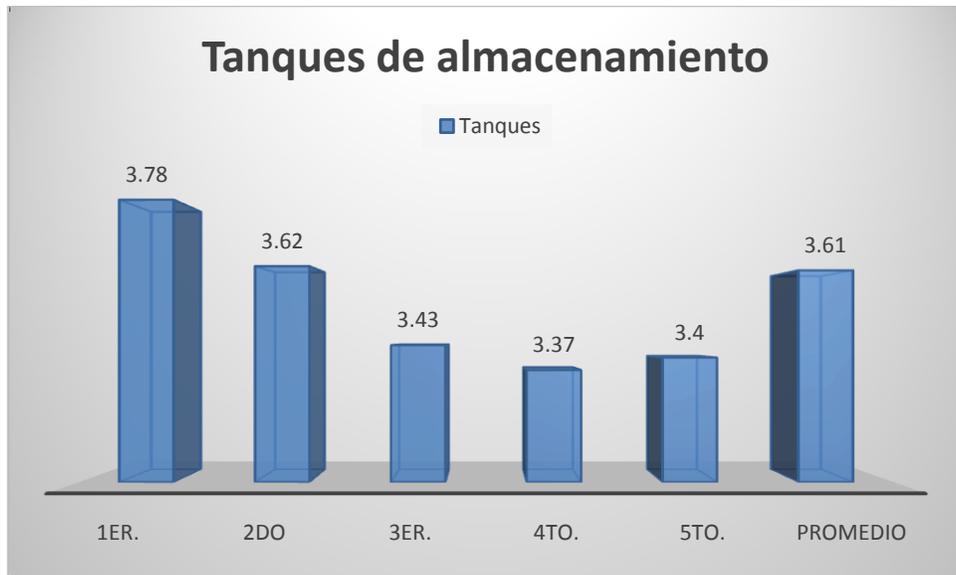
Cuadro 20. Salinidad presente en el agua del pozo agrícola.

Lugar	1er.	2do	3er.	4to.	5to.	Promedio
Pozo	3.68	3.58	3.46	3.41	3.45	3.57
Tanques	3.78	3.62	3.43	3.37	3.40	3.61
Membrana	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Aljibe	0.65	0.4	0.63	0.72	0.75	0.56
Rechazo		6.72	6.43	6.31	6.11	6.575

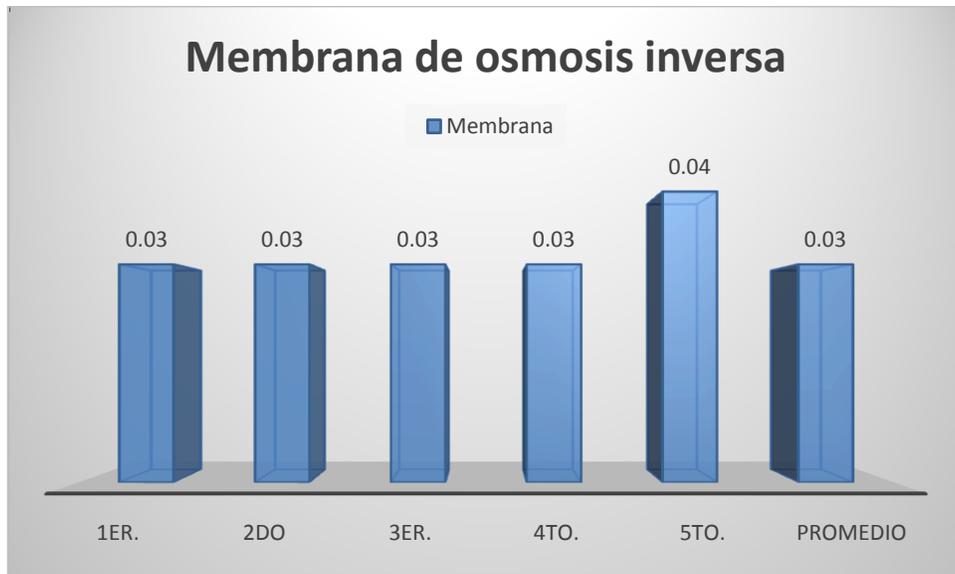
Los valores que se obtuvieron de los análisis fueron los esperados, y esto se ve reflejado a la entrada y a la salida del proceso de Osmosis inversa, ya que en el agua de rechazo los datos indican que la salinidad se aumentó al doble con respecto a cómo se encontraba en el pozo agrícola. Otro punto que indica el buen funcionamiento de la planta desaladora es que en la membrana los valores no cambiaron en ninguno de los cuatro análisis realizados.



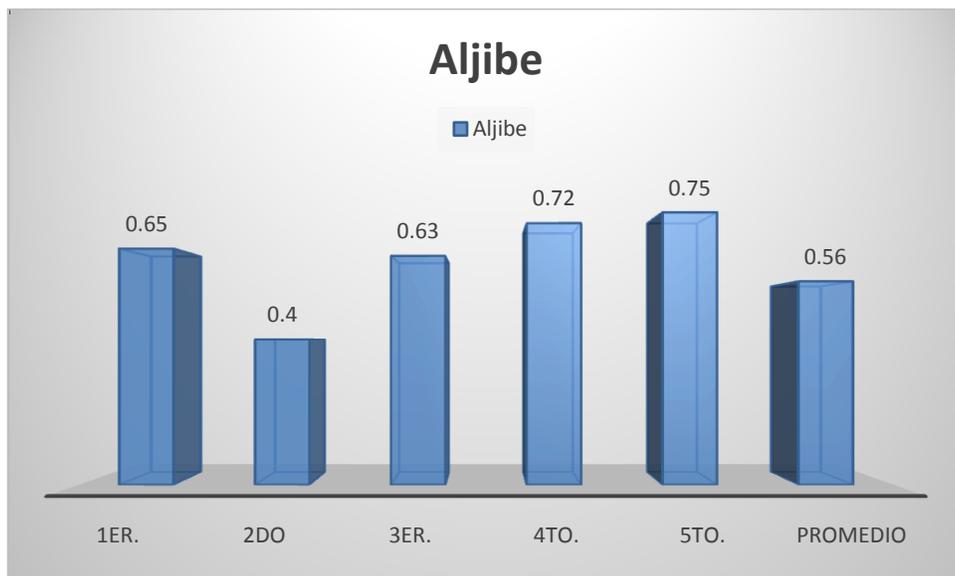
Gráfica 10. Salinidad presente en el agua del pozo agrícola.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



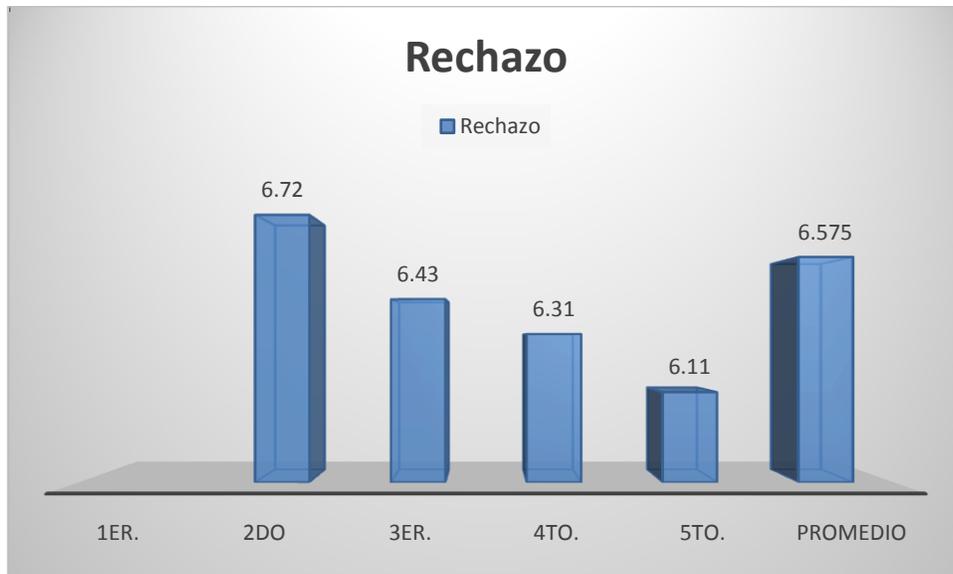
Gráfica 11. Salinidad presente en el agua de los tanques de almacenamiento.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 12. Salinidad presente en el agua de la membrana de Ósmosis inversa.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 13. Salinidad presente en el agua del aljibe.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

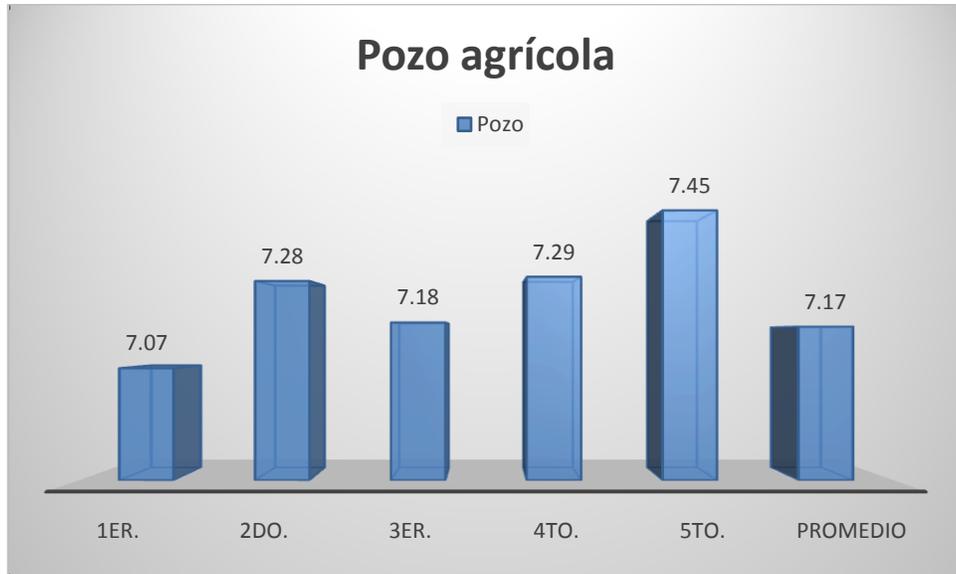


Gráfica 14. Salinidad presente en el agua de rechazo.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

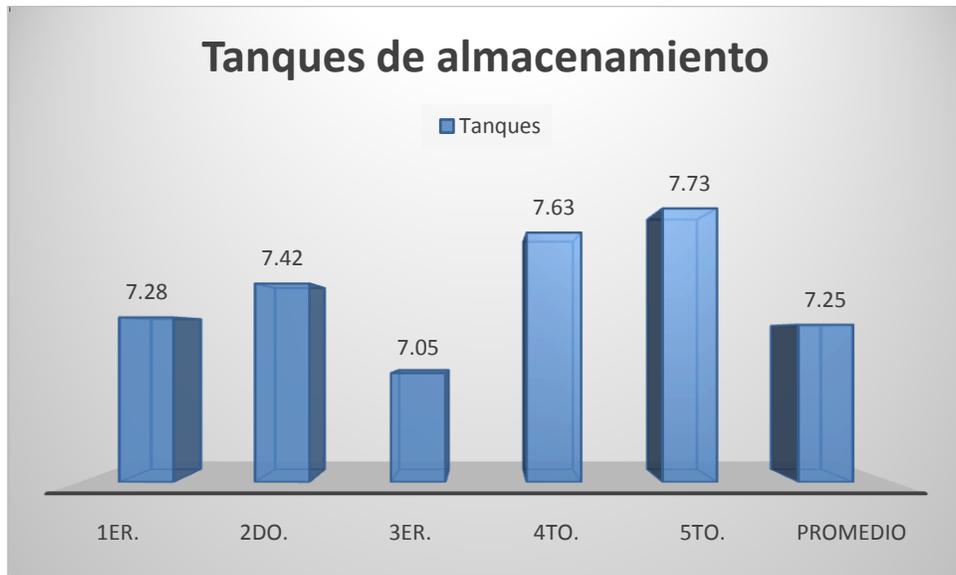
Cuadro 21. pH de los cuatro análisis.

Lugar	1er.	2do.	3er.	4to.	5to.	Promedio
Pozo	7.07	7.28	7.18	7.29	7.45	7.17
Tanques	7.28	7.42	7.05	7.63	7.73	7.25
Membrana	8.34	7.8	7.95	8.30	8.90	8.03
Aljibe	7.86	8.35	7.83	7.06	7.60	8.01
Rechazo		6.65	7.50	7.25	7.43	7.07

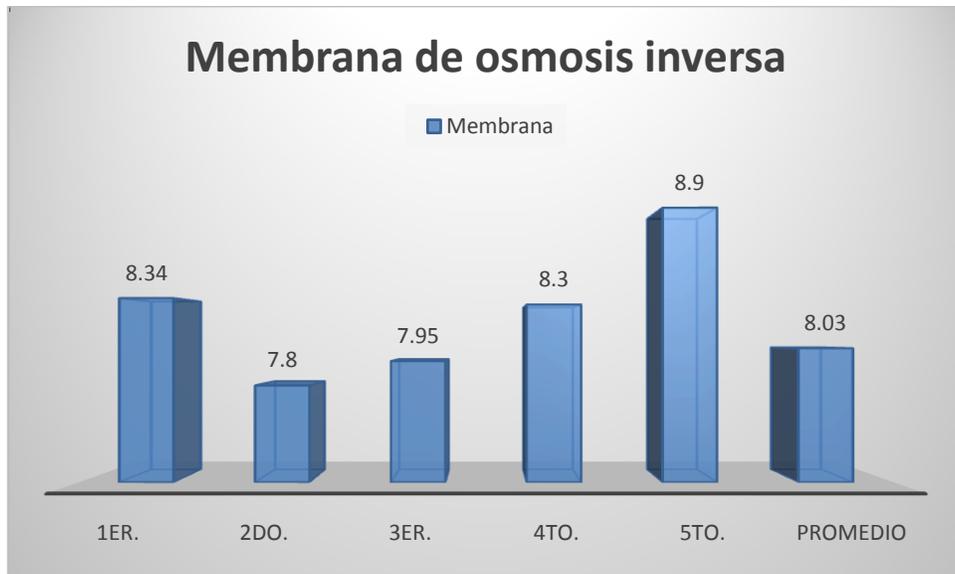
Los valores del pH, entre un análisis y otro, se mantuvieron con valores entre 7 y 8 (Cuadro 21).



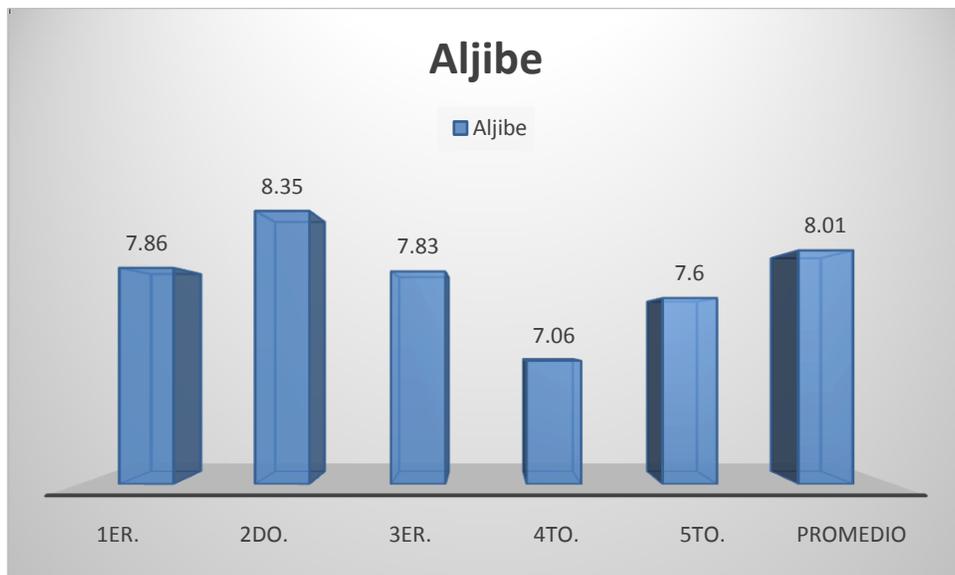
Gráfica 15. pH del agua del pozo agrícola.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



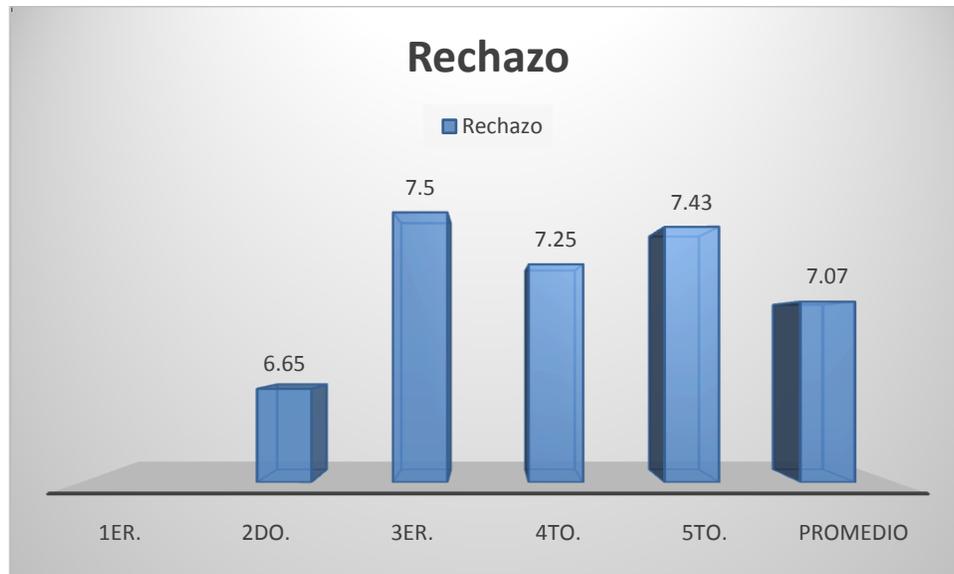
Gráfica 16. pH del agua de los tanques de almacenamiento.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 17. pH del agua de la membrana de Ósmosis inversa.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 18. pH del agua del aljibe.
 Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.



Gráfica 19. pH del agua de rechazo.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de los análisis.

La calidad del agua obtenida por los métodos de desalación es apta para cualquier tipo de consumo humano, abastecimiento y riego agrícola. Tan sólo algunos procesos industriales muy específicos necesitan tratamientos especiales cuando el agua se utiliza para el consumo humano.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Después de una detallada exposición de los diferentes procesos de desalación que actualmente existen, tan solo unos pocos procesos son tecnológicamente viables.

Si comparamos los procesos en base a los parámetros siguientes; consumo energético, capacidad de producción, posibilidad de ampliación, fiabilidad en la operación, cantidad de agua desalada, superficie requerida, calidad del agua y cantidad de residuos vertidos al mar.

Podemos afirmar que: Compresión de vapor mecánica (CV), Ósmosis inversa (OI) y Electrodiálisis (ED), son las únicas que utilizan energía eléctrica, mientras que la Evaporación súbita por efecto flash (MSF), Destilación múltiple efecto (MED) y Termo compresión de vapor (TCV), utilizan energía térmica.

Para el consumo energético (kJ/kg), la Ósmosis inversa (OI) utiliza 80 kJ/kg y Electrodiálisis (ED) consume 30 kJ/kg lo cual es considerado como un bajo consumo, en tanto la Evaporación súbita por efecto flash (MSF), Destilación múltiple efecto (MED), Termo compresión de vapor (TCV) y Compresión de vapor mecánica (CV) tienen un consumo que va de medio a alto con valores que van de 100 hasta 200 kJ/kg.

La Osmosis inversa (OI) presenta los mismos valores que la Evaporación súbita por efecto flash (MSF), en cuanto a la capacidad de producción ($\text{m}^3/\text{día}$), es decir mayor a 50,000 $\text{m}^3/\text{día}$. Seguidas por la Electrodiálisis con 30,000, Destilación múltiple efecto (MED) y Termo compresión de vapor (TCV) tienen una capacidad de producción media con 20,000 $\text{m}^3/\text{día}$ y al último la Compresión de vapor mecánica (CV) con apenas 5,000 $\text{m}^3/\text{día}$.

Debido a que la superficie que requieren para su instalación las únicas que tienen la posibilidad de ampliación son la Osmosis inversa (OI) y la Electrodiálisis (ED), mientras que la Evaporación súbita por efecto flash (MSF), Destilación múltiple efecto (MED), Termo compresión de vapor (TCV) y Compresión de vapor mecánica (CV) tienen una posibilidad de ampliación difícil.

La calidad del agua expresada en ppm, producida por los procesos de Evaporación súbita por efecto flash (MSF), Destilación múltiple efecto (MED),

Termo compresión de vapor (TCV) y Compresión de vapor mecánica (CV) es alta con valores <50 ppm, mientras que para la Osmosis inversa (OI) es media con valores de 300 - 500 ppm.

Como hemos observado en las comparaciones de los diferentes procesos de desalinización existentes la Osmosis Inversa (OI) al igual que la Electrodiálisis (ED) presentan características muy similares con excepción de que la Electrodiálisis (ED) no se utiliza para el agua de mar. Es por ello que el mejor proceso para la desalinización del agua de mar es la Osmosis inversa (OI).

VI. CONCLUSIONES.

Después de haber realizado los análisis de la calidad y salinidad del agua se puede observar a la osmosis inversa como la opción más viable para desalinizar el agua de mar por las ventajas que esta presenta ante los demás procesos existentes.

Hay que tener presente que al realizar el proceso de desalinización sea cual sea el que se aplique se debe considerar que hacer con el producto final conocido comúnmente como agua de rechazo. Una ventaja más que presenta la osmosis inversa es que los residuos generados por el proceso mismo, son menos contaminantes en comparación a los demás procesos.

VII. RECOMENDACIONES.

Como pudimos observar el proceso de osmosis inversa es el más apto para desalinizar el agua de mar por las grandes ventajas que este presenta ante los demás procesos existentes, lo que se recomienda es la implementación de la osmosis inversa dentro de los demás procesos a manera de mejorar tanto la calidad del agua obtenida y al mismo tiempo bajar los costos de producción y el consumo de energía

Se recomienda en un futuro poder trabajar con los valores de energía eléctrica consumida por cada vez que se opera la planta desaladora, y hacer un análisis completo para evaluar si es viable comprar paneles solares para que la bomba de alta presión pueda trabajar con la energía captada durante el día.

En esta región Noroeste del país, en la mayor parte del año se presentan temperaturas elevadas, por lo que se debe de utilizar la radiación solar como la fuente de energía más viable.

VIII. LITERATURA CITADA.

- Abdulrahman M. Al – Ibrahim.**2013. Seawater desalination: the strategic choice for Saudi Arabia. Desalination and Water Treatment. Pp. 1-4
- Al-Shammiri, M., Safar. M.** 1999. Multi- effect Distillation Plants: State of The Art. Desalation 126, pp. 45-99
- Ayala Cruz Manuel.** 2011. Determinación de Especies Aromáticas con Potencial para Producción Orgánica en Baja California Sur. (Ingeniero en Desarrollo Sustentable). Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. Universidad Autónoma Indígena de México. Pp. 5, 14,15
- Botero. E. 2000.** Valoración energética de los recursos naturales. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zacatecas.
- Buros, O. K.** (2000). The ABCs of desalting 2nd edition. Saline Water Conversion Corporation (SWCC) and International Desalination Association. Topsfield, Massachusetts, USA. 32 p.
- Conagua.** 2008. Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA), Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- Conagua.** 2009. Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA), Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- Conagua.** 2010. Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA), Comisión Nacional del Agua. México, D.F. p 55.
- Conagua.** 2011. Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA), Comisión Nacional del Agua. México, D.F. Pp 34, 65.
- Conagua.** 2012. Atlas del Agua en México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA), Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
- Conagua.** 2014. El agua que mueve a México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CNA) Comisión Nacional del Agua. Primera edición. México, D.F. Pp 136-137.
- Conagua.**2014. Proyectos estratégicos. Subdirección general de agua potable, drenaje y saneamiento. Gerencia de estudios y proyectos de agua potable y redes de alcantarillado. (CNA), Comisión Nacional del Agua, México, D.F.

- De Armas.J. C., Pérez, J. L. von Gottberg, A.J. M.** 1999. Desalinitación of Municipal Sewage Effluent with ElectrodialysisReserval in Tenerife. IDA Worl Congress on Desalinitation and Water Reuse. San Diego, USA.
- Delyannis, E.** 2003. Historic background of desalination and renewable energies. Solar Energy. Vol. 75. Num 5. Noviembre. Pp. 357-366
- Díaz F. Manuel.** 2007. La desalación del agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. Gaceta Número 6, Octubre.
- García,L. y Gómez, C.** 2000 Perspectives of Solar AssistedSeawaterDesalinationEuromedConference (EDS), Jerba, Túnez.
- Gleick, P. H.**1998. The Word's Water – The Biennial Report on Freshwater Resources, 1998/1999. Island Press. Washington DC.
- Goto, T. MacCormick. T. Congjie. G. Guoling, R, Chung Y-T.** 1999. Overview of Desalination in the Pacific Region. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
- Gutiérrez Carlos.** 2009. Necesidades de desalación de agua subterránea. Coloquio Agua y Energía. Centro de Capacitación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. Septiembre 2009. p 8
- H.** Congreso del Estado de Baja California Sur. Ley de Aguas del Estado de Baja California Sur. Decreto N° 1321
- Hanbury, W.T. Hodgkiess, T. Morris, R.** 1993. Desalination Technology 93. An intensive Course. Porthan Ltd. Easter Auchinloch. Lenzie, Glasgow. UK.
- (INEGI).** 1996. **Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.**
- (INEGI).** 2007. **Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática** Estadísticas a propósito del Día Internacional del Agua, México, Marzo 2007. P. 2
- (INEGI).** 2010.**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática** Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente. INEGI, México.
- Lamela Antonio.** 2000. Desalinización (o desalación) de agua de mar. Artículo científico. España. 13 p.

- Mólgora C, César.** 2008. Necesidad de desalar agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, Gaceta Numero 20, Diciembre.
- Nafey AS, Sharaf MA, García L.**2010. A new visual library for desing and simulation of solar desalination systems (SDS). Desalination. Pp 197-207
- Rahim N.** 2003. New method to store heat energy in horizontal solar Desalination still.Renew. Energy. Pp. 419-433.
- RECSA.** 2012. Infraestructura para desalación: el desafío pendiente. 4 p.
- Sampathkumar K.Arjunan TV, Pitchandi P, Senthilkumar P.** 2010. Active solar distillation-A detailed review. Renew. Sust. Energy Rev. pp. 1503-1526.
- Sánchez García Ángel.** 2010. Desalación del agua de mar apoyada con energía eólica en Guerrero Negro, BCS. (Ingeniero Mecánico). Ciudad Universitaria, México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ingeniería. Pp. 3-5, 8, 11.
- Shiklomanov, I.** 1999. World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for 21 –st Century. Hidrological Institute, San Petersburgo, Russian Federation. 26 p.
- Suher Carolina Yabroudi.** 2011. Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular. Universidad del Zulia Luz, Venezuela, Oct.Vol. 36 N°10. p. 731.
- Tiwari GN, Tiwari AK,** 2008. Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems. Anamaya. Nueva Delhi, India. p 270
- Torres M., Medina, J. A.** 1999. Desalination in Spain, a Race for Lowering Power Consumption. IDA World Crongress on Desalination and Water Reuse. San Diego, USA.
- Torres M.** 1999. La desalación del agua de mar. Tecnologías de vanguardia. Informe privado.
- UNAM. 2006.** El faro, la luz de la ciencia. Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica. Ciudad Universitaria. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. Año VI, Número 64. p 5.
- Valero Antonio.Uche Javier Y Serra Luis.**2001. La desalación como alternativa al PHN. Circe y Universidad de Zaragoza.

Vinothkuumar K, Kasturibai R. 2008. Performance study on solar still with enhances condensation. Desalination. pp 51-61.

Zarzo, Domingo. Campos Elena &Terrero Patricia. 2013. Spanish experience in desalination for agriculture, Desalination and Water Treatment. Vol. 31. España.

IX. ANEXO.

LEY DE AGUAS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

Artículo 1.- Las disposiciones de esta Ley son de orden público e interés social y tiene por objeto regular en el Estado de Baja California Sur, de conformidad con el Artículo 27 párrafo quinto, y 115 fracción III, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y los correlativos de la Constitución Política del Estado, lo relativo en la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente en el Estado y la Ley Orgánica Municipal, la participación de las autoridades estatales y municipales, en el ámbito de su competencia, en la realización de acciones relacionadas con la explotación, desalación, uso y aprovechamiento del recurso agua, así como los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Artículo 2.- La presente Ley tiene por objeto regular;

- X. La recuperación de los gastos y costos de inversión, operación, conservación, derechos de conexión y mantenimiento de los sistemas de agua potable, sistemas de desalación de agua, alcantarillado y saneamiento.

Artículo 3.- Se entenderá por:

VI. Asignación: Es el derecho a la explotación, uso o aprovechamiento de aguas e infraestructura de jurisdicción estatal, que autoriza el Ejecutivo del Estado a través de “la comisión”, a los Organismos Públicos Estatales y Municipales que presten en forma provisional o permanente los servicios públicos de agua.

XVII. Estructura tarifaria: La tabla que establece por cada tipo de usuarios y, en su caso, nivel de consumos, los precios por unidad de servicio que deberá pagar cada usuario por los servicios públicos a que se refiere la fracción XXV del presente Artículo.

XX. Proyecto Estratégico de Desarrollo: Estudio que, basado en un diagnóstico de las condiciones actuales de los sistemas de agua potable, sistemas de agua desalada, alcantarillado y saneamiento, y tomando en cuenta las proyecciones de incremento de la demanda y en estricto apego o los planes de desarrollo urbano, estatal y municipales que, contiene la

definición de las acciones que se requerirán para incrementar las eficiencias física y comercial, así como las coberturas de los servicios públicos en el corto, mediano y largo plazos, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades para las generaciones presentes y futuras en todos los asentamientos humanos, en cantidad y calidad, sin degradar el medio ambiente. Esta definición de acciones debe ser, además, económicamente viable, técnicamente factible y socialmente aceptable.

XXV. Sistema de Desalación de Agua: Conjunto de instalaciones para desalar agua, regulado por la Comisión Estatal del Agua y/o los Organismos Operadores.

Artículo 4.- Se declara de utilidad pública:

- I. La planeación, estudios, proyectos, conservación, ejecución, rehabilitación, mantenimiento y ampliación de las obras y servicios necesarios para la operación y administración de los sistemas de agua potable, sistemas de desalación de agua, alcantarillado y saneamiento dentro del Estado, así como el tratamiento y reuso de las aguas residuales;
- III. Los sistemas de regulación, captación, conducción, potabilización, desalación, fluorización, almacenamiento y distribución de agua; Así como la colección, desalojo, tratamiento de aguas residuales y el manejo de lodos, producto de dicho tratamiento;

Artículo 7.- La Comisión tendrá a su cargo:

- I. Otorgar consulta y asesoramiento en materia de agua potable, desalación de agua, alcantarillado y saneamiento al Gobierno del Estado y a los Ayuntamientos;
- XIII. Promover el establecimiento y difusión de normas en lo referente a la realización de obras y a la construcción, operación, administración, conservación y mantenimiento de los sistemas de captación, potabilización desalación de agua, conducción, almacenamiento y distribución de agua potable, alcantarillado y saneamiento;

Artículo 31.- La Junta de Gobierno, para el cumplimiento de los objetivos del organismo, tendrá las más amplias facultades de dominio, administración y representación que requieran de poder o cláusula especial conforme a la Ley, así como las siguientes atribuciones:

IV. Resolver sobre los asuntos que en materia de servicios de agua potable, desalación de agua, alcantarillado, saneamiento, calidad del agua y reusó de las aguas residuales tratadas, someta a su consideración el Director General;

Artículo 77.- Podrán operar sistemas de abastecimiento de agua potable, desalación de agua y desalojo de aguas residuales, en forma independiente, aquellos desarrollos industriales, turísticos, campestres y de otras actividades productivas, siempre y cuando cuenten con la autorización del prestador de los servicios y se sujeten en la operación a las normas establecidas en esta Ley y otras aplicables, excepto tratándose de concesionarios o contratistas que tienen a su cargo la prestación integral de los servicios públicos, en cuyo caso la autorización la deberá otorgar el Municipio, escuchando la opinión de aquellos.