

TECNOLOGÍAS ALTERNAS DE DESALINIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL BOLSÓN DEL HUECO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A CIUDAD JUÁREZ, CHIH., MÉXICO.

Ing. Ramiro Luján¹, Dr. Victoriano Garza Almanza¹ y Dr. Héctor Quevedo Urías¹

RESUMEN

Debido a las condiciones climatológicas imperantes en la zona de Ciudad Juárez, Chih., México, al continuo incremento en la demanda de agua potable y a las características físicas de la única fuente de suministro de agua de la ciudad, el acuífero subterráneo denominado Bolsón del Hueco, el volumen y calidad de los recursos de agua dulce disponibles constantemente se reducen. Esto se hace manifiesto en el abatimiento del acuífero y en la reducción de la calidad de sus aguas. Se analiza la necesidad de explorar varias alternativas que permitan su mejor aprovechamiento y conservación. Una solución potencial al problema de escasez que se avecina radica en la utilización de los importantes volúmenes de agua salobre del acuífero, lo cual puede hacerse mediante procesos de desalación. En el presente trabajo se describen las condiciones generales del Bolsón, sus características hidrogeológicas y de calidad del agua. Se presentan algunos procesos de desalación de mayor uso a nivel mundial.

INTRODUCCION

En la región fronteriza de Ciudad Juárez, Chihuahua – El Paso, Texas, con una población conjunta superior a los 2 millones de habitantes, el recurso agua es escaso. El constante

incremento de la población en ambas ciudades agrava aún más el problema de suministro del vital líquido en el área (Fig. 1).

Las ciudades de El Paso, Texas y Ciudad Juárez utilizan el acuífero del Bolsón del Hueco para satisfacer sus necesidades de agua potable. En el caso de la ciudad texana, el Bolsón representó en el año 2000 la fuente del 47 % del abasto del agua potable de la comunidad, el resto provino del Río Bravo y otras fuentes (EPWU 2002). En el caso de Ciudad Juárez, el acuífero del Bolsón del Hueco satisface el 100 % de la demanda de agua de la ciudad, (JMAS 2000).

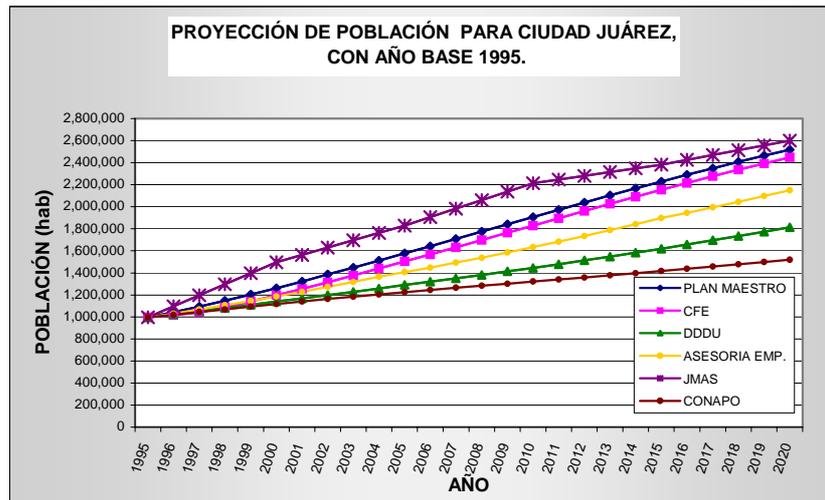
La única fuente continua de agua superficial existente en esta región la constituye el Río Bravo, el cual podría representar una alternativa de abastecimiento para Ciudad Juárez. Sin embargo, este recurso es muy limitado debido a que los Estados Unidos consideran al Río Bravo como un río estadounidense, lo cual se establece según los acuerdos establecidos de la Convención para la Equitativa Distribución de las Aguas del Río Grande, que limitan la cantidad de agua disponible para México (CILA, 1906).

Las reservas existentes en los acuíferos regionales del área de estudio, constituidas en gran parte por aguas salobres, representan una potencial fuente de agua siempre y cuando exista un tratamiento de desalinización. Según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, los valores para Sólidos Totales Disueltos (STD) superiores a los 1,000 mg/l no permiten

¹ Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

su uso para consumo humano sin recibir antes un tratamiento adecuado. En la región de estudio, predomina el tipo de agua sulfato-sódica, aunque también hay ocurrencia de agua cloruro-sódica, con altos contenidos de STD y

de sulfatos superiores a lo establecido por la norma, que la hacen no apta para el consumo humano; de tal forma, esta agua requerirá de un tratamiento previo de desalinización para poder suministrarla a la población.



Fuente: JMAS, Plan Maestro de Ciudad Juárez, 1999.

La posibilidad de desalar las aguas con altos niveles de sales existentes en la región presenta los siguientes beneficios:

- Reducción en la tasa de consumo de agua dulce proveniente del acuífero del Bolsón del Hueco, única fuente de suministro actual de la ciudad.
- Reducción en los niveles de abatimiento del acuífero.
- Posibilidad de recargar los acuíferos locales.
- Prolongación de la vida útil del acuífero del Bolsón del Hueco.
- Menor dependencia extraterritorial para el suministro de agua de la ciudad.
- Derrama económica debida a la construcción y operación de la planta.
- Incremento en el nivel de capacitación del personal operativo de la planta.

Área de Estudio

Ciudad Juárez, Chihuahua, ubicada en la árida región fronteriza del norte de México, ha registrado en las dos últimas décadas elevadas tasas de crecimiento poblacional y económico; consecuentemente, han aumentado significativamente las demandas de servicios y bienes en la localidad, particularmente de agua potable.

Esta ciudad es la más importante del Estado de Chihuahua desde el punto de vista económico, y, desde una perspectiva política, la segunda después de la ciudad de Chihuahua, capital del estado.

La ciudad se localiza en el extremo norte del estado de Chihuahua, en la margen derecha del Río Bravo, del área denominada Paso del Norte, en un punto en donde el río

representa el inicio de la línea fronteriza fluvial entre México y los Estados Unidos, en las inmediaciones del estrechamiento existente entre la Sierra de Muleros, del lado mexicano y las Montañas Franklin, en territorio estadounidense. A partir de ahí se forma el Valle de Juárez, el cual se extiende a lo largo de 150 kms en dirección sureste con anchos que varían de 0.5 a 10.0 km. (JMAS, Op. cit.)

Se localiza en una zona semi-desértica, clasificada por su humedad y temperatura como templada seca, con veranos muy cálidos e inviernos fríos (Clasificación Koppen, García). Se encuentra a una altura promedio de 1,140 m sobre el nivel del mar, en un área donde se registran precipitaciones anuales menores a los 256.6 mm. La temperatura media es de 17.7 ° C (JMAS, Op. cit.).

En 1995 la población residente de la ciudad era de 1'217,818 habitantes, estimándose para el 2020 un total ligeramente superior a 2.5 millones de personas (JMAS, Op. cit.).

Actualmente, la demanda de agua se satisface extrayéndola de dos acuíferos subterráneos existentes en la zona, los cuales forman parte de un acuífero regional mayor denominado Acuífero Tularosa-Hueco. Los dos acuíferos referidos se conocen como Bolsón del Río Bravo, que es un acuífero superficial o somero, y el Bolsón del Hueco, que es un acuífero profundo. Estos acuíferos están bajo el área urbana de las ciudades fronterizas de Cd. Juárez, Chih. y El Paso, Texas, y separados por capas semipermeables que constituyen una división de los mismos, (CILA 1998).

Una fuente potencial de agua para la ciudad es el Río Bravo, el cual se origina en el Estado de Colorado en la Unión Americana, y fluye a lo largo de 1,012 kms hacia el sur hasta

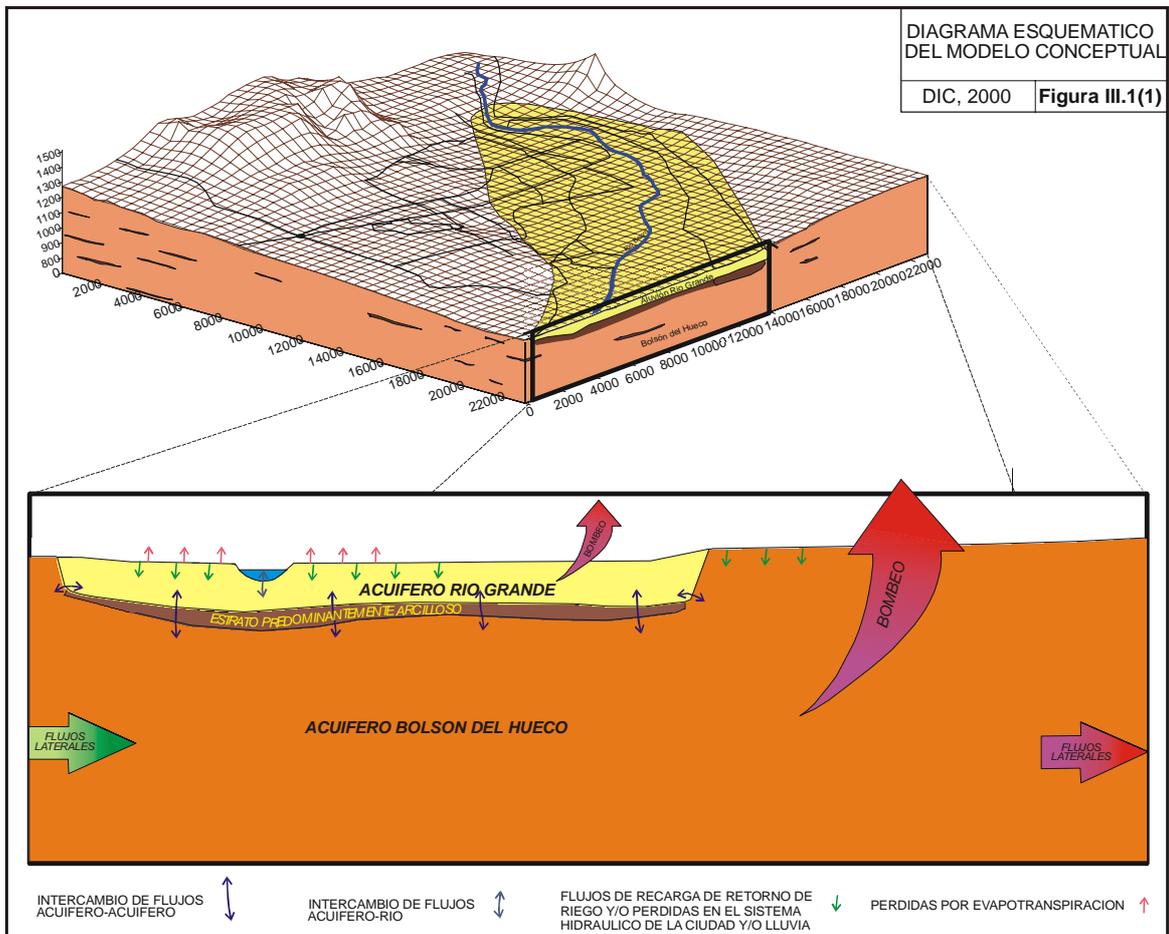
un punto situado entre las poblaciones de Ciudad Juárez, Chihuahua y El Paso, Texas, a partir de donde se convierte en la frontera entre México y los Estados Unidos, a lo largo de poco más de 1,600 km, hasta su desembocadura en el Golfo de México.

El tramo de río comprendido desde sus fuentes hasta la frontera con México, constituye el segmento superior del río cuyas aguas son de propiedad estadounidense, salvo un reducido volumen (74.1 millones de m³) destinado para riego de tierras mexicanas según la Convención para la Equitativa Distribución de las Aguas del Río Grande, tratado firmado por México y los Estados Unidos en 1906 (CILA, 1906. Op. cit.), razón por lo que las aguas captadas en el citado tramo, no representan un recurso inmediato de agua potable para la ciudad mexicana.

Acuíferos del Río Bravo y Bolsón del Hueco

El acuífero somero, o acuífero del Río Bravo, se aloja en una extensa planicie de inundación aluvial, conocida como Aluvión Río Grande, ubicada a lo largo del cauce del río, desde el sudeste del Valle de Mesilla, pasando por el puerto entre la Sierra de Juárez y las montañas Franklin, hasta cerca de Fort Quitman, 150 kms al sureste. En las proximidades del Valle de Juárez – El Paso, Texas., alcanza entre 9.7 y 13 km de ancho y una profundidad de poco más de 60 m. El espesor saturado promedio es de 45 y 57 m en las porciones estadounidense y mexicana, respectivamente (CILA, 1998. Op. cit.) (Fig. 2).

Fig. 2.- SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ACUIFERO DEL BOLSÓN DEL HUECO



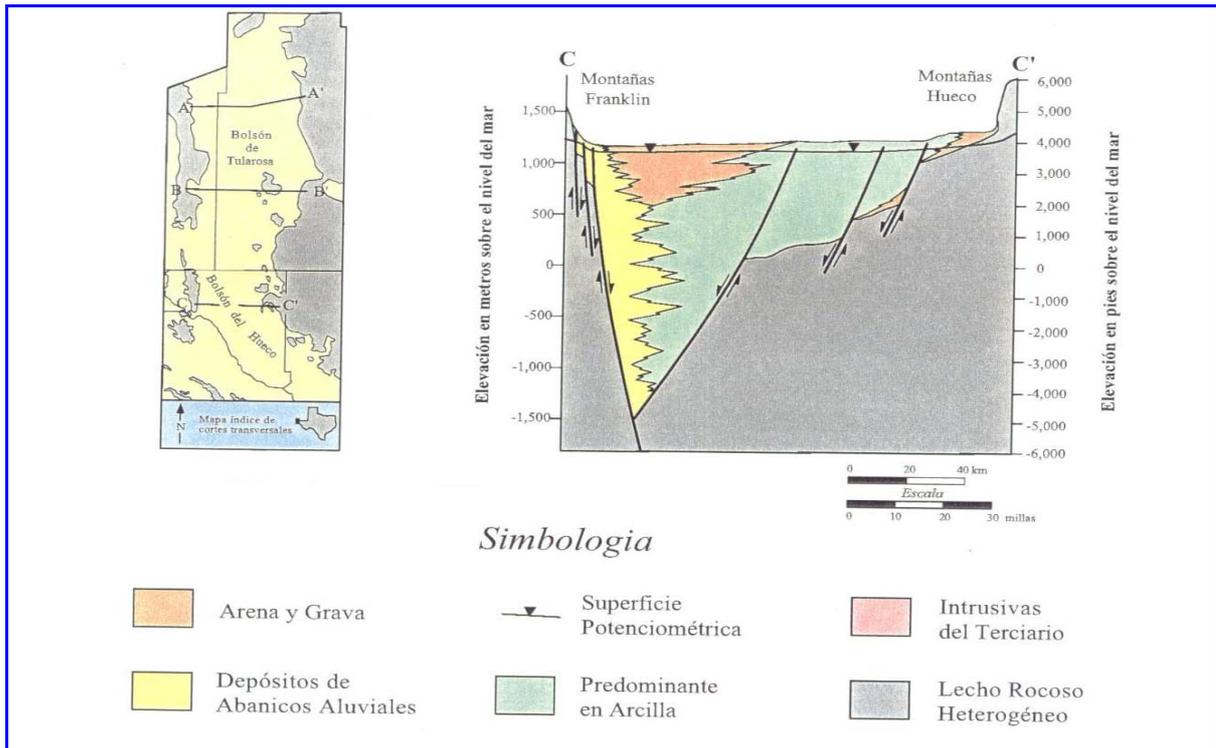
Fuente: Junta Municipal de Aguas y Saneamiento de Cd. Juárez

De acuerdo a estudios realizados en el acuífero somero del Río Bravo, se determinó que sus aguas presentan altos niveles de sulfatos y de sólidos disueltos totales, concluyéndose que no son aptas para el consumo humano a menos de que se les aplique un tratamiento previo.

El Bolsón del Hueco, acuífero profundo que forma la porción sudeste del

acuífero regional Hueco -Tularosa, se localiza a partir de 11 kms al norte de la línea fronteriza entre Nuevo México-Texas, en dirección oeste hasta la Sierra de Juárez, y a lo largo de 150 kms en dirección sureste, hasta la Sierra de San Ignacio y las montañas Quitman, en territorios mexicano y estadounidense, respectivamente. En su parte más profunda, cerca de la línea Nuevo México-Texas, alcanza un poco más de 1,000 m (CILA, 1998. Op. cit.) (Fig. 3).

Fig. 3.- CORTE TRANSVERSAL DEL BOLSÓN DEL HUECO



Fuente: CILA, Enero de 1998.

Este acuífero se empezó a explotar desde 1912. Ya desde 1975 empezó a mostrar los efectos de su explotación por medio de pozos, al formarse un amplio cono de abatimiento en la zona centro de Cd. Juárez, Chih. A partir de ese año, el abatimiento promedio del acuífero en dicha zona ha sido de 1.25 m por año, alcanzando en 1998 los 26 m. De 1925 a 1998 el volumen de extracción del acuífero se incrementó de 1,316 m³ a 145.5 millones por año, alcanzando en 1999 los 150 millones de m³ y con tendencia a incrementarse (JMAS, Op. cit.). El agotamiento del acuífero se manifiesta por las reducciones en las tasas de producción del principal campo de pozos (131) actualmente en operación de la

Junta Municipal de Agua y Saneamiento, organismo operador de agua local, que se redujo de 55.0 l/s en 1977, a 41.8 l/s en 1998, (Lemus 1999). Presenta además, incremento en los niveles de sólidos disueltos totales, con predominancia de sulfatos, cloruros y carbonatos que hacen necesario su tratamiento.

Las estimaciones de las reservas de agua dulce de buena calidad del acuífero, indican que para el año 2030 se agotarán la mayoría de las extracciones económicamente viables (Muller y Price 1979). Sin embargo, existen en el mismo grandes volúmenes de aguas salobres que pueden ser utilizadas por medio de procesos adecuados de tratamiento.

Las razones principales por las que se considera conveniente desalar el agua proveniente del Acuífero del Bolsón del Hueco son:

- Incremento paulatino de sus niveles de sólidos disueltos totales
- Uso más eficiente de los recursos de agua del acuífero.
- Incrementar la vida útil del acuífero del Bolsón del Hueco.

- Incrementar el suministro de agua potable de Ciudad Juárez.
- Mantener los niveles de la calidad del agua potable dentro de la normatividad.
- Evitar la dependencia de suministros de agua extraterritoriales.

Métodos de Desalación.

1. Aguas Saladas

La desalación es el proceso por medio del cual se eliminan las sales y minerales disueltos en el agua de mar o en aguas salobres, a fin de obtener agua dulce apta para el consumo de los seres vivos o para uso en procesos industriales.

El grado de salinidad del agua está determinado por la cantidad de Sólidos Disueltos Totales (SDT) que contiene, y se expresa en miligramos de sales por litro de agua o partes por millón.

El agua de mar contiene en promedio 35,000 ppm de sales. Las aguas salobres presentan un contenido de sales en el rango comprendido entre 1,000 a 35,000 ppm, considerándose como agua potable la que contiene menos de 1,000 ppm de sales, salobre entre 1000 y 10,000 ppm, y salina de 10,000 hasta 35,000 ppm. Todo lo que supera los 35,000 ppm se considera agua de mar.

Una caracterización de las aguas según sus diferentes contenidos de sales, de acuerdo al US Bureau of Reclamation, USDOJ (2003) es la siguiente:

Tipo de agua	Nivel Sólidos Suspendidos Totales
Dulce	<1000 mg/l
Ligeramente salada	1,000 a 5,000 mg/l
Moderadamente salada	5,000 a 15,000 mg/l
Fuertemente salada	15,000 a 35,000 mg/l
Agua de mar	35,000 mg/l <

2. Descripción de los principales métodos de desalación.

Existen diversos métodos de desalación de agua, los cuales son utilizados en un considerable número de países principalmente del Medio Oriente. Los métodos comerciales más importantes son los procesos térmicos de destilación y los que hacen uso de membranas, existiendo otros métodos de menor relevancia comercial, además de los híbridos.

(a) **Procesos Térmicos, Destilación (D).** Es el método más antiguo y común de desalación, el cual simula el ciclo natural del agua. En este

método, las sales contenidas en el agua se separan al convertir determinada cantidad de la misma en vapor, el cual se condensa obteniéndose posteriormente agua pura. La conversión en vapor se acelera y hace más eficiente al calentar el agua salada hasta su punto de ebullición y/o reduciendo la presión atmosférica del contenedor, (Semiat Raphael 2000).

Los principales procesos de destilación a escala comercial son:

- **Evaporación de Efectos y Etapas Múltiples (EEM).** Se calienta el

influyente por medio de la combustión de combustibles fósiles hasta convertir en vapor, a una menor presión, parte considerable del mismo. Este vapor se condensa en una segunda etapa al transferir su calor a otro volumen de agua salada a menor temperatura, que a

su vez se convierte parcialmente en vapor, condensándose al contacto de agua a una temperatura menor y así sucesivamente. A mayor número de etapas, mayor eficiencia del proceso y menor costo del producto (Fig. 4).

Fig. 4. PROCESO DE DESTILACIÓN POR EFECTOS Y ETAPAS MÚLTIPLES

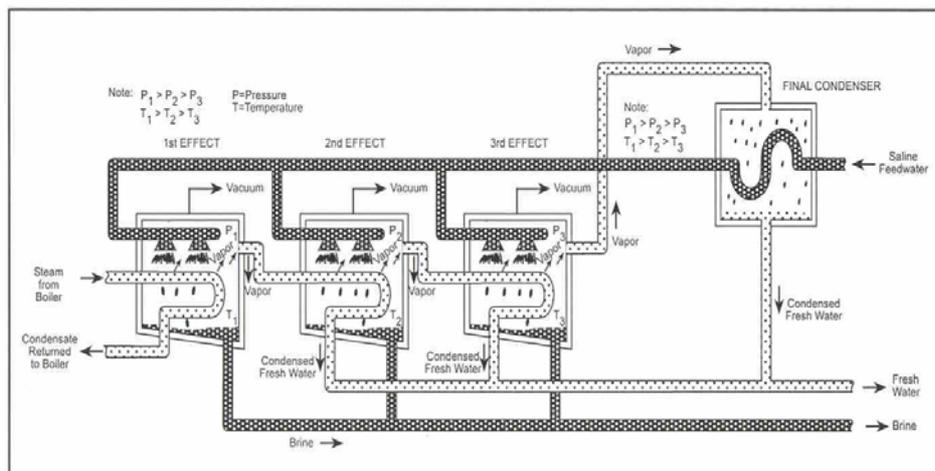


Diagram of a Multi-Effect plant with horizontal tubes.

USAID

Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos

- **Destilación relámpago de etapas múltiples (REM).** El agua salada se hace hervir sin agregar calor adicional, a su paso por cámaras adyacentes que operan cada una a presiones menores sucesivas. Es la técnica más utilizada en sus dos modalidades: tubos verticales u horizontales (Semiat, 2000) (Fig. 5).

Fig. 5. DESTILACIÓN RELÁMPAGO ETAPAS MÚLTIPLES

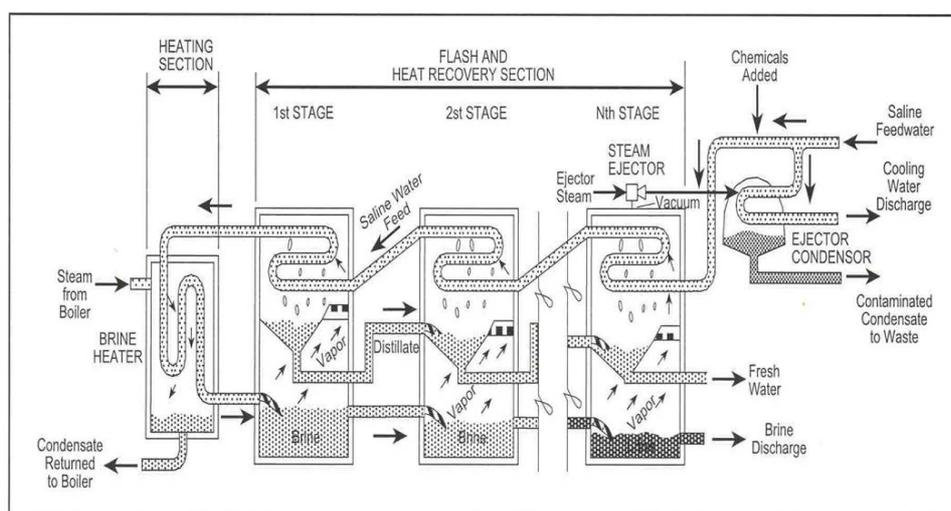


Diagram of a Multi-Stage Flash and Heat Recovery Section

USAID

Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos

- **Compresión de vapor (CV).**- Proceso por medio del cual se hierve el agua suministrada y el vapor obtenido se comprime para su condensación obteniéndose agua sin sales (Semiati, Op. cit.). La compresión del vapor puede ser a través de medios mecánicos o térmicos (Fig. 6).

Fig. 6. DESTILACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

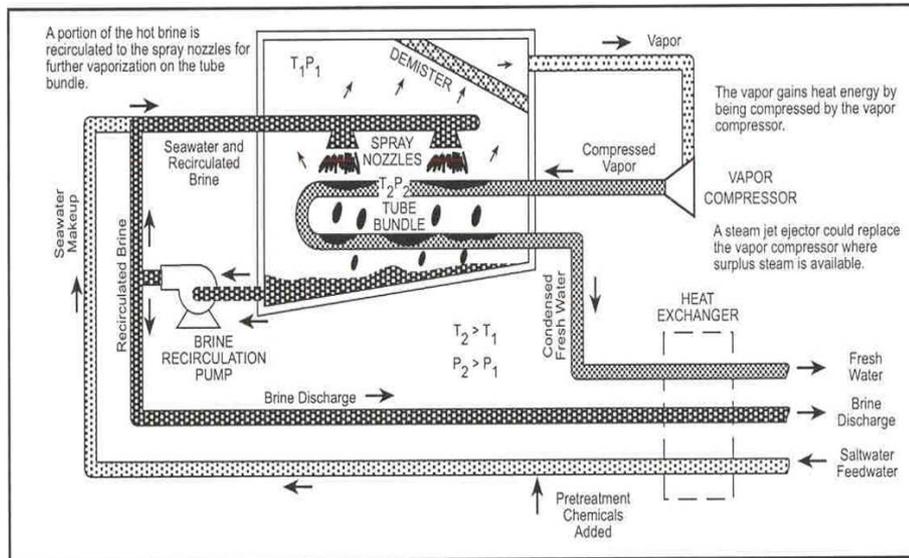


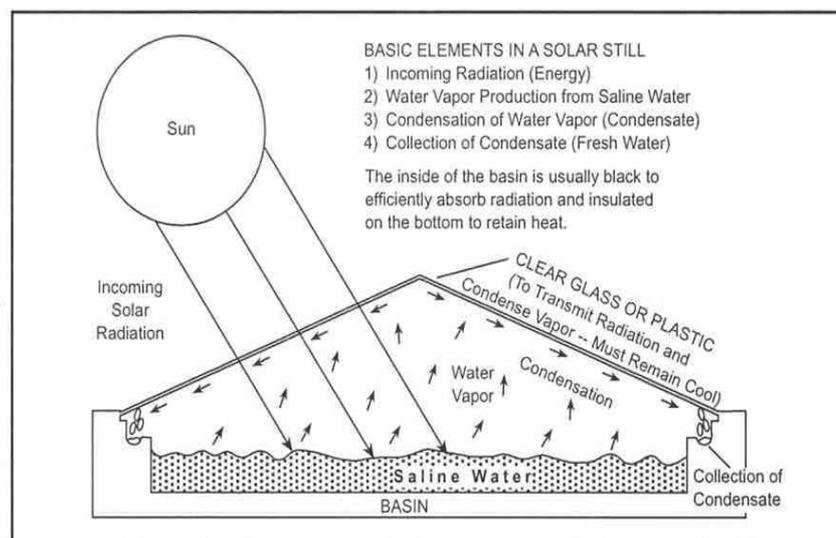
Diagram of a mechanical vapor compression unit

USAID

Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos

- **Destilación utilizando energía solar (S).** Este proceso se lleva a cabo en contenedores con cubiertas transparentes que dejan pasar la luz solar, la cual calienta al agua salada hasta producir vapor, mismo que se condensa en la superficie inferior de la cubierta y se recoge en conductos ubicados en los extremos inferiores de la misma (Semiati, Op. cit.) (Fig. 7).

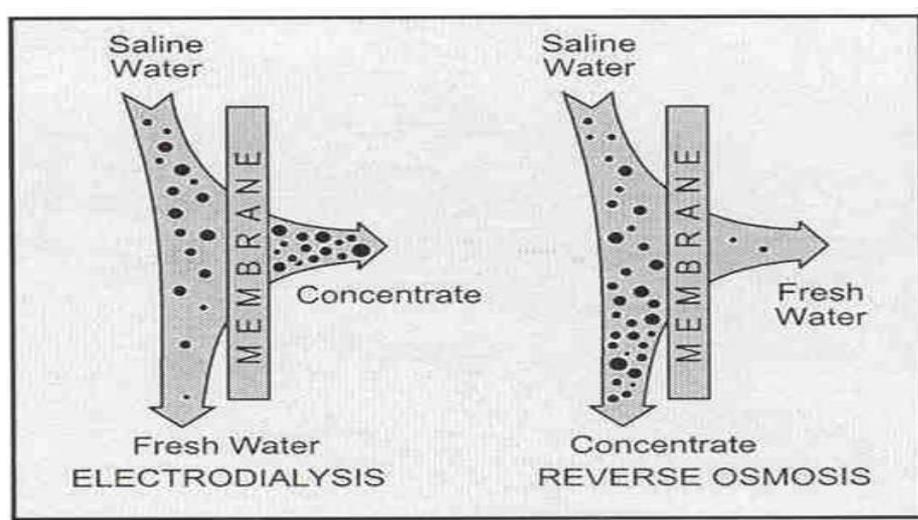
Fig. 7.- DESTILACIÓN POR ENERGÍA SOLAR



Procesos que utilizan membranas

- **Ósmosis Inversa (OI).** En este método se hace pasar, aplicando presión, la solución salina a través de membranas semi-permeables, reteniendo a un lado de las mismas las sales y haciendo fluir el agua con menor contenido de sales hacia el lado opuesto de la membrana. (Semiat, Op. cit.) (Fig. 8).

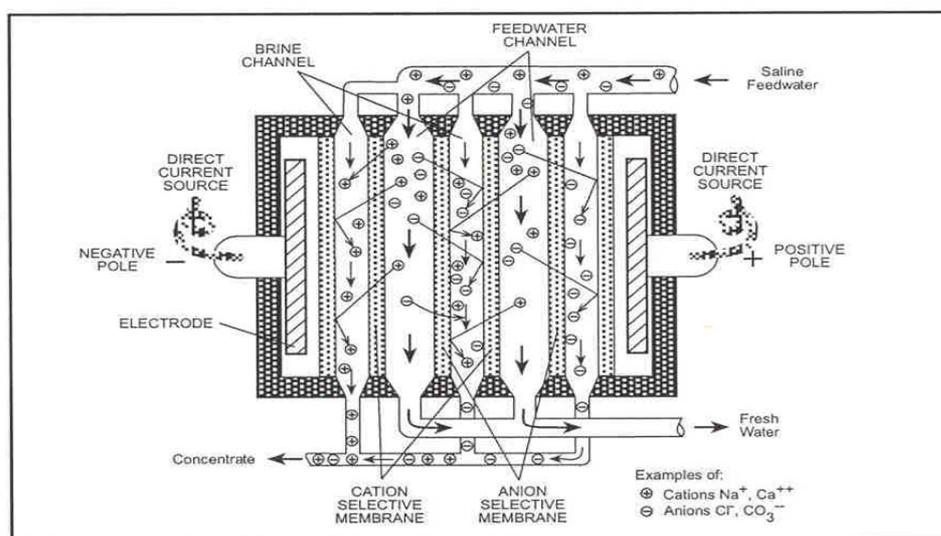
Fig. 8. ESQUEMA DE LOS EFECTOS DE FILTRACIÓN POR ÓSMOSIS INVERSA Y ELECTRODIÁLISIS



Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos

- **Electrodiálisis (E).**- En este proceso se bombea a baja presión el agua salada entre membranas permeables, las cuales se conectan a una fuente de corriente eléctrica directa, lo que permite separar del agua los iones de sales, mismos que se atrapan y concentran en las membranas conectadas a los ánodos y cátodos, dejando el agua con menor contenido de sales en los espacios existentes entre membranas (Semiat, Op. cit.) (Fig. 9).

Fig. 9.- PROCESO DE DESTILACIÓN POR ELECTRODIÁLISIS



Movement of ions in the electrodesalination process

USAID

Fuente: Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos

Otros tipos de procesos

- **Químicos o intercambio de iones (II).** En estos procesos se utilizan resinas granulares llamadas resinas de intercambio de iones, que permiten que los iones no deseables del agua salada se intercambien por iones deseables al pasar el agua a través de los granos. Otro proceso hace uso de agentes hidratantes que al ser aplicados a la salmuera generan la formación de cristales de agua, los que se recogen, lavan y funden para obtener agua pura (Semiat, Op. cit.).
- **Desalación por congelación (DC).**- Al congelar soluciones salinas, el agua pura se cristaliza, dejando las sales disueltas y otros minerales en “bolsas” de salmuera altamente salina. Los cristales de agua pura se recogen y se licuan en sitios libres de salmuera, (Semiat, Op. cit.).

Los porcentajes de utilización de los diferentes procesos y capacidad de las plantas en donde se emplean se muestran en la siguiente tabla:

Tabla I. Porcentajes del número de plantas y sus capacidades a nivel mundial					
Tipo de proceso		Número plantas	Porcentaje	Capacidad (mgd)	Porcentaje
Destilación	Relámpago etapas múltiples	532	15.1	1,955	64.5
	Efectos y E. Múltiples	329	9.3	145	4.8
	Compresión de vapor	275	7.8	66	2.1

Membranas	Osmosis inversa	1,742	49.4	709	23.4
	Electro-diálisis	564	16.0	139	4.6
Otros tipos		85	2.4	18	0.6
Total		3,527	100.0	3,032	100.0

Fuente: International Desalination, Associate's desalination inventory, 1987

Calidad del agua

1 Calidad de los recursos de agua subterránea de la región Paso del Norte

Acuífero Profundo del Bolsón del Hueco.

La calidad del agua del acuífero en el área urbana y zona agrícola del Valle de Juárez presenta niveles con un contenido de sólidos disueltos totales (SDT) entre 1,000 y 3,000 ppm. Asimismo, los niveles de los sulfatos y cloruros se han elevado, atribuyéndose la causa a la sobreexplotación del acuífero. Con el tiempo, los niveles de sulfatos y cloruros se han incrementado en pozos de Ciudad Juárez y El Paso, excediendo los 250 ppm en algunos de ellos (CILA, 1998. Op. cit.), por lo que predomina el tipo de agua sulfato-sódica con ocurrencia también del tipo cloruro-sódica.

La elevada extracción de aguas del acuífero, que es muy superior a su recarga, ha ocasionado abatimientos importantes, factor que ocasiona la reducción de su calidad y elevación de los niveles de cloruros y sulfatos. Además, los pozos que han tenido abatimientos significativos en el largo plazo presentan patrones de salinización de sus aguas.

La norma para sólidos suspendidos totales es de 1,000 ppm, la cual es fácilmente rebasada por el agua en su condición original. Los altos contenidos de SDT y de sulfatos hacen que esta agua no sea apta para consumo humano.

2 Normas de calidad de agua potable

Las aguas salobres son aguas susceptibles de consumo pero tienen sabor marcadamente salado. Las aguas salobres se definen como las que contienen concentraciones de Sólidos Disueltos Totales, comprendidas en un rango de 1,000 a 10,000 ppm. Las aguas con mayores niveles de sales, denominadas como aguas salinas, no son potables.

En nuestro país, la norma aplicable para calidad de agua potable es la NOM-127-SSA-1994 (1996, Op. cit.), la cual establece que los niveles de Sólidos Disueltos Totales contenidos en la misma no excedan los 1,000 ppm.

Conclusiones

La utilización de procesos de desalación de aguas salobres y de mar, constituye una opción viable para un mejor aprovechamiento de los escasos recursos hidráulicos mundiales.

Los continuos avances técnicos en los procesos de desalación y el desarrollo de mejores materiales, permiten que los costos de desalación se reduzcan progresivamente, ocasionando que se extienda el uso de tales procesos a regiones donde escasea el agua de buena calidad y se cuente con importantes volúmenes de agua con altos niveles de salinidad.

Ciudad Juárez cuenta con limitados recursos de agua de buena calidad, lo que podría

ser un obstáculo para su desarrollo económico y social futuros. Sin embargo, posee importantes volúmenes de agua salobre subterránea que pueden ser aprovechados utilizando técnicas adecuadas.

A fin de reducir al abatimiento del acuífero del Bolsón del Hueco, única fuente actual de suministro de agua potable, de aumentar su vida útil y mantener la calidad del agua de consumo, el uso de técnicas de desalación representa una alternativa recomendable.

Un análisis técnico, ambiental y económico de los procesos de desalación actuales más importantes, adaptados para su uso en el área de Ciudad Juárez, Chih, permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. Las características físicas de las aguas de acuífero del Bolsón del Hueco y la normatividad de calidad aplicable a las mismas, permite el uso de proceso de desalación para su consumo.
2. Considerando las características de las aguas del Bolsón, el proceso de desalación que presenta mayores ventajas técnicas es el empleo de Membranas por Ósmosis Inversa.
3. En relación al posible impacto ambiental que tendría una planta desaladora en la localidad, se considera que los métodos más adecuados de eliminación del concentrado residual sería por medio de pozos de inyección o de lagunas evaporativas, siendo el último el más

conveniente debido a las condiciones naturales existentes en la zona.

4. Se recomienda efectuar estudios de mayor detalle a fin de determinar los elementos que compondrían la planta, así como sus características de construcción y operación.

Referencias

- CILA. 1906 Convención para la Equitativa Distribución de las Aguas del Río Grande, Tratado de 1906. México: Comisión Internacional de Límites y Aguas.
- CILA. 1998. Base de Datos Binacional del Acuífero Transfronterizo. Informe Final.. México: Comisión Internacional de Límites y Aguas.
- EPWU. 2002. El Paso Water Utilities. <http://www.epwu.org>
- JMAS. 2000. Actualización del Plan Maestro de Servicios de Agua. México: Junta Municipal de Agua y Saneamiento Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Juárez, Chihuahua.
- Lemus Sánchez, R. 1999. Abastecimiento del sistema de agua potable de Ciudad Juárez, Chihuahua: 1926–1998. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Muller, D. A., and Price, R. D., 1979, Ground-Water Availability in Texas, Estimates and Projections Through 2030: Texas Department of Water Resources, Report 238
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994. México: Diario Oficial de la Federación; 1996.
- Semiat, Raphael. 2000. Desalination: Present and future. International Water Resources Association. Water International, Vol 25., No 1.
- Bureau of Reclamation, 2003. Desalting Handbook for Planners, US Dept. of the Interior, Report 72.