

TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO

Germán E. Dévora Isiordia¹, Rodrigo González Enríquez¹ y Nora E. Ponce Fernández²

¹Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente.
Instituto Tecnológico de Sonora,

²Estudiante de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales.

RESUMEN

Existen diversos tipos de desalinización y se diferencian por costos, impacto ambiental, calidad del producto y energía consumida. Mediante comparación entre procesos térmicos y de membranas, se encontraron las diferentes tecnologías existentes para desalar agua de mar, número de plantas instaladas, tecnología utilizada, fuentes de abastecimiento, y uso del agua desalinizada. La factibilidad técnica se determinó comparando costos de producción en USD/m³ y consumo energético en kWh/m³. La fuente de abastecimiento más utilizada es agua de mar con 60%, agua salobre 22%. Los sectores beneficiados con agua desalinizada son municipal con 66% e industrial con 23%. El tipo de tecnología que requiere menor consumo energético es OI, de 2 a 2.8 kWh/m³ y costo de 0.6 USD/m³, la tecnología MED y MSF consume de 3.4 a 4 kWh/m³ y de 5 a 8 kWh/m³ respectivamente, con un costo de producción

de 1.5 USD/m³ y 1.10 USD/m³. Es evidente, consumo energético y costo de producción de OI presenta ventajas significativas que el resto, debido a que no requiere cambios de estado, como en MED y MSF, que utilizan mayor consumo de hidrocarburos lo que incrementa la emisión de CO². La OI es el proceso más viable en producción, energía consumida y costo.

Palabras clave: Ósmosis inversa, electrodiálisis, destilación, desalinización, calidad del agua, cationes, aniones.

INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto de vital importancia para la vida, y para la realización de todas las actividades que se efectúan para nuestro sustento, como los procesos industriales, producción agrícola, ganadera, entre otros, así como también es un factor influyente para impulsar la economía de un país, sin embargo ya se están presentando problemas en la actualidad, por el déficit de este vital

elemento, ya que el tamaño de la población es muy grande, y esto origina grandes esfuerzos para abastecer de agua a todos, incluyendo a los sectores productivos, por ello la preocupación mundial por la escasez de agua es inobjetable y cada día se encuentran más problemas por falta de agua dulce y procesos que contaminan e impactan al medio ambiente (Valencia, 2000).

La División de Agua Superficial menciona que la población del mundo para el año 2010 es más de 6,000 millones y está creciendo a razón de unos 80 millones por año y se espera una proyección al año 2050 de 9,100 millones de habitantes. En México la escasez de agua también ha limitado al país de un desarrollo económico y social (Sánchez, 2008). Cada vez es menor la proporción de agua que puede poseer cada mexicano. La disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 9,880 m³/hab/año en 1970 a tan sólo 4,312 en el 2007, y una proyección a 3,822 m³/hab/año para el año 2025, bajo este contexto instancias gubernamentales se está viendo la manera de solucionar este problema de déficit de agua por varias estrategias, una de ellas por medio de la desalinización.

Bajo esta problemática, se han buscado soluciones para aportar agua en un corto y mediano plazo, si bien no la podemos obtener de forma directa; si por medio de tecnologías que el hombre ha diseñado, con la finalidad de darle solución al problema (Medina, 2000). La desalinización se vislumbra como una tecnología viable que aporta agua al ciclo hidrológico y que no compite con otros sistemas como los trasvases.

La desalinización consiste en un proceso de separación de sales disueltas de aguas salobres ó de mar para convertirlas en aguas

adecuadas para consumo humano, uso industrial ó riegos (Medina, 2000).

En la década de 1950 se inician las primeras investigaciones sobre desalinización, con el objeto de construir grandes instalaciones de producción de agua dulce, y se obtienen resultados importantes como el sistema de destilación súbita flash en múltiples etapas en 1957, lo que permite construir la primera planta comercial en 1960 (Custodio, 1976). Actualmente, el agua desalinizada se utiliza para consumo humano, en procesos industriales y en forma muy limitada para riego agrícola, pues los costos de desalinizar agua son relativamente altos para usar este líquido con los métodos tradicionales de riego; resulta más económico importar los productos agrícolas de aquellos países que cuentan con las condiciones climatológicas adecuadas para producirlas.

Existen diversas tecnologías desarrolladas actualmente para desalinizar el agua de mar y aunque tienen características distintas de acuerdo al tipo de energía, diseño y producción que requiere cada una, todas tienen el mismo objetivo, reducir la concentración de sales disueltas del agua de mar, esto permite distinguir entre los procesos que separan el agua de las sales y los que realmente efectúan la separación de las sales de la solución (Cuadro 1).

La disponibilidad de agua no implica que su calidad permita el uso, la contaminación natural y el hombre ha provocado que sea necesario tratarla antes de destinarla a consumo humano, agrícola e industrial. La calidad del agua varía acorde a la región y por el tipo de subsuelo de los contaminantes (Cuadro 2).

El agua obtenida de los procesos de desalinización es perfectamente utilizable en

Cuadro 1. Clasificación de los procesos de desalinización.

Clase de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Separación agua de sales	Vapor	Evaporación	Destilación solar
			Destilación súbita simple
			Destilación en tubos sumergidos
			Destilación súbita multietapa
	Frío	Cristalización	Destilación multiefecto de tubos horizontales
			Destilación multiefecto de tubos verticales
	Presión	Membrana	Compresión mecánica de vapor
			Termo compresión de vapor
			Formación de hidratos
	Carga eléctrica	Membrana selectiva	Congelación
Ósmosis Inversa			
Separación de sales del agua	Atracción química	Resina	Electrodialisis
			Intercambio iónico

Cuadro 2. Salinidad de diferentes tipos de agua.

Agua	SDT (mg/L)
Ultrapura	0.03
Pura	0.30
Desionizada	3.00
Potable	< 1,000.00
Salobre	1,000.00-10,000.00
Salina	10,000.00-30,000.00
Marina	30,000.00-50,000.00

Fuente: Valero (2001).

la agricultura, turismo y consumo humano, pero exigen una eliminación más selectiva de iones. Bajo este contexto, el objetivo del trabajo, es evaluar los procesos de desalinización, para determinar el más viable, mediante la comparación entre sistemas térmicos y de membranas, considerando el costo de producción, consumo energético, parámetros de operación y aplicación del agua producto.

El agua obtenida de los procesos de desalinización es perfectamente utilizable en la agricultura, turismo y consumo humano, pero exigen una eliminación más selectiva de iones. Bajo este contexto, el objetivo del trabajo, es evaluar los procesos de desalinización, para determinar el más viable,

mediante la comparación entre sistemas térmicos y de membranas, considerando el costo de producción, consumo energético, parámetros de operación y aplicación del agua producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Utilizando el compendio realizado por el IDA Yearbook 2007-2008, informes técnicos de proyectos de investigación con fondos sectoriales de CONACYT-CONAGUA en México, además de visitas a más de 60 desaladoras en México, en los Estados de Sonora, Baja California Sur, Baja California, Jalisco, Quintana Roo, Estado de México y visitas realizadas a más de 10 desaladoras en el extranjero en los países de España (Almería, Tenerife y Gran Canaria) en el año 2007 y a Emiratos Árabes Unidos (Dubai) en el año 2009, se determinó el número de plantas instaladas, fuente de abastecimiento y costos de producción.

La recopilación mostró las diferentes tecnologías existentes, posteriormente se compararon los números de plantas instaladas, fuentes de abastecimiento, y el uso del agua desalinizada en diversos sectores de producción y consumo. Además se hizo una comparación entre los países con más plantas desalinizadoras y el tipo de tecnología empleada en cada uno de ellos.

A continuación se explican las estrategias que estudian el proceso de desalinización.

Tecnología de la desalinización

El sistema de desalinización consiste en alimentar agua salobre o marina a una planta desaladora, que tiene como función acondicionar y eliminar sales al agua, para obtener un producto y un rechazo o salmuera. La desalinización de agua salobre y de mar se realiza en dos sistemas principalmente,

los que utilizan el uso de combustibles fósiles como los sistemas térmicos y por otro lado los que utilizan membranas y alta presión.

Sistemas Térmicos

Los procesos de destilación necesitan calor para provocar el cambio de estado del líquido a vapor, que prácticamente es independiente de la salinidad que tenga el agua y es el proceso en el cual el agua de mar se calienta hasta evaporarla, posteriormente el vapor se condensa formando agua dulce y el agua sobrante se desecha como salmuera concentrada (Porta, 2002; Hiriart, 2007).

Destilación por Compresión Mecánica de Vapor (MVC)

Los sistemas MVC funcionan comprimiendo vapor de agua lo que causa condensación sobre una superficie de transferencia de calor (un tubo) lo que permite al calor de la condensación ser transferido a la salmuera del otro lado de la superficie resultando en la vaporización de esta. El compresor es el requerimiento de energía principal, este aumenta la presión en el lado del vapor y baja la presión del lado del agua salada para bajar su temperatura de ebullición (Cipollina, 2007).

Un esquema del funcionamiento de un equipo que desaliniza agua marina por medio de compresión de vapor, donde se utiliza un elemento calefactor en una caldera, y se comprime el vapor para obtener agua con una disminución considerable de sales (Figura 1).

Destilación Flash Multietapa (MSF)

En este proceso el agua de mar es calentada en un tanque por medio de un serpentín o tubos en paralelo que contienen algún fluido caliente, posteriormente se pasa a otro tanque, llamado etapa, donde la presión reducida

permite que el agua hierva. Posteriormente, el agua vaporizada es enfriada y condensada para obtener el producto. El calor latente liberado en la condensación del vapor es utilizado para calentar la salmuera en otra etapa y el producto destilado se colecta en cascada, en cada uno de los tanques colocados en paralelo con la salmuera y se bombea a un tanque de almacenamiento (Khawaji, 2008). La tasa de producción depende de la temperatura del agua salada y del número de etapas que se lleven a cabo. El agua desalinizada en este proceso contiene generalmente de 2 a 10 ppm de sólidos disueltos, por lo tanto es remineralizada por potabilización (Figura 2).

Destilación multiefecto (MED)

Las plantas MED se configuran en base a tubos verticales u horizontales. El vapor se condensa en un lado de un tubo lo que ocasiona la evaporación de agua salada en el otro lado. El agua salina al evaporarse es distribuida sobre la superficie exterior de tubos calentados. Dentro de cada efecto MED, se rocía agua marina fresca sobre un grupo de tubos de intercambio térmico mientras el vapor que fluye a través de los tubos se condensa volviéndose agua pura.

Fuera de los tubos, la delgada película de agua marina hierve a medida que absorbe el calor del vapor. El vapor resultante pasa a través de eliminadores de rocío para atrapar gotas de salmuera remanentes antes de que el vapor se introduzca en los tubos para el próximo efecto. El proceso se repite a través de toda la planta. Configuraciones MED alternativas que emplean tubos verticales o superficies de transferencia de calor planas también están disponibles (WHO, 2007).

La presión se reduce secuencialmente en cada efecto a medida que la temperatura se reduce y se proporciona más calor en cada etapa para mejorar el desempeño del proceso y este tipo de instalaciones cubren grandes superficies (Figura 3).

Sistemas por Membranas

La desalinización de agua de mar por medio de membranas, es un proceso que separa el agua salina en dos vertientes, una corriente de agua potable con baja concentración de sales disueltas y, una corriente de salmuera concentrada. Los sistemas más utilizados son Osmosis Inversa y Electrodiálisis.

Osmosis Inversa

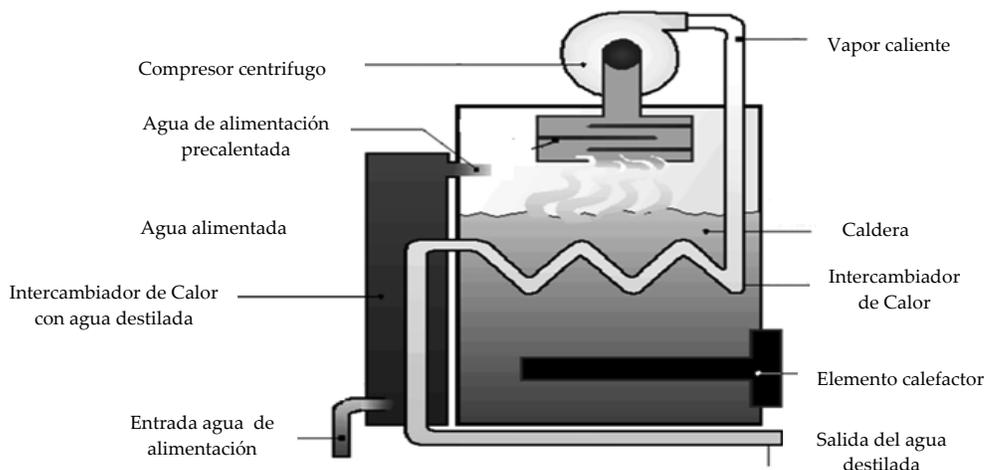


Figura 1. Esquema de desalinización por compresión mecánica de vapor (Norlandintl, 2004.)

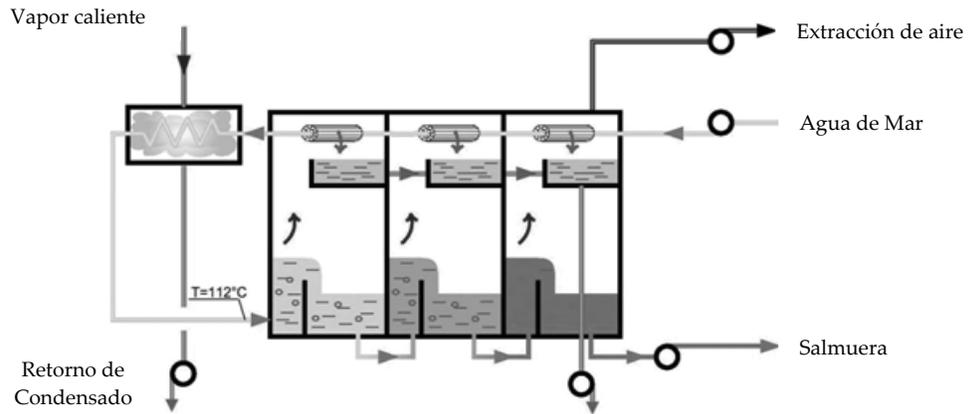


Figura 2. Procesos de desalinización mediante MSF (Veolia, 2009).

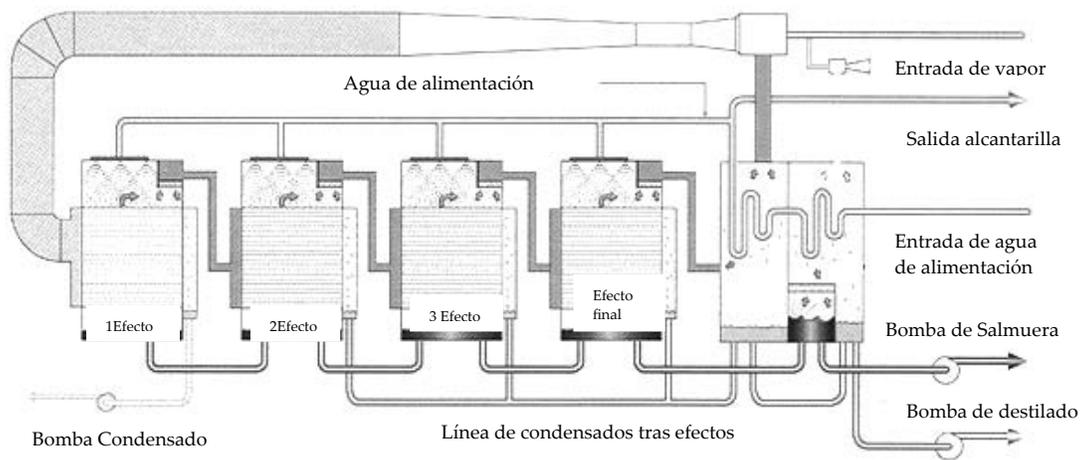


Figura 3. Procesos de Destilación Multifecto (MED)(Cetenma, 2008).

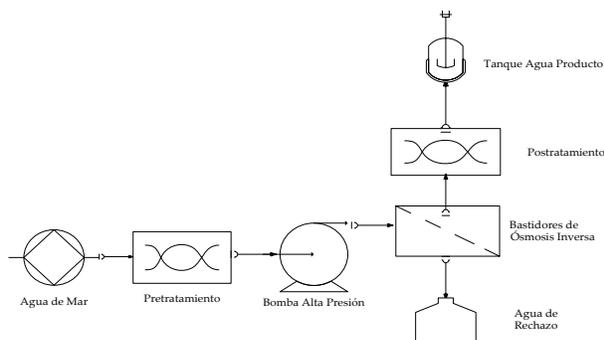


Figura 4. Esquema general de una planta de Ósmosis Inversa.

El sistema toma su nombre por realizarse el paso de las soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales. Es decir, las soluciones menos concentradas se desplazan, por diferencia de energía potencial, hacia las más concentradas a través de una membrana semipermeable sin necesidad de aplicar ninguna fuerza externa (Arreguín, 2000).

Por tanto cuanto mayor sea la salinidad del agua, mayor será su presión osmótica a superar. Consta de obra de toma para captación

de agua de mar, seguido de un sistema de pretratamiento consistente en filtros de carbón activado y filtros de arena, hasta el paso por los bastidores de membranas de osmosis inversa lugar donde se aplican químicos para regular pH del agua de alimentación, adición de anticrustantes para evitar depósitos de sal en las membranas. Desalinizada el agua, se conecta un tren de postratamiento para desinfectar el agua producto usando lámparas UV, cloración

y ozonación que permite asegurar la calidad del agua en líneas de distribución y almacenamiento. Debido al arreglo en serie o paralelo de las membranas, el espacio ocupado por la planta es pequeño, haciendo esto una ventaja respecto a los sistemas térmicos (Figura 4).

Electrodiálisis

La tecnología de electrodiálisis (ED) es un proceso de separación electroquímico,

Cuadro 3. Criterios de operación de diferentes tecnologías de desalinización.

ASPECTOS DEL PROCESO	TECNOLOGÍA DE DESALINIZACIÓN		
	ESME	ED	OI
			1 PASO 2 PASO
Estado comercial	Completamente desarrollado	Desarrollo más reciente	Desarrollado
Producción instalada	3,520 plantas	497 plantas	4,000 plantas
Capacidad máxima	45,000m ³ /d	18,000m ³ /d	9,000m ³ /d
Plazo de instalación	24 meses	18-24 meses	18 meses
Fabricantes	Amplia competencia	Pocos en el mercado	Amplia competencia
Consumo de energía	3-6 kWh/m ³	1,5-2,5 kWh/m ³	0.2 - 2 kWh/m ³
Temperatura máxima	90-120 °C	70-75 °C	40-45 °C 40-45 °C
Calidad del agua producto (STD)	< 40 mg/L	< 40 mg/L	< 40 mg/L
Necesidades de mantenimiento	Limpiezas 2-4 veces por año	Limpiezas 0,5-2 veces por año	Limpiezas 1-2 veces por año
Sensibilidad al agua mar	Media	Reducida	Alta. Mayor control de membranas
Pretratamiento	Moderado	Simple	Exigente
Influencia en la operación	Alta incidencia. Corrosión e incrustación	Baja-Media	Alta. Incidencia en la vida de las membranas
Tipo de energía	Térmica	Eléctrica	Eléctrica
Posibilidad de ampliación	Difícil	Fácil	Fácil
Superficie de instalación	Mucha	Poca	Poca
Costo USD/m ³ tratado	1.68	0.32	0.76 - 1.32
Desalación con agua de mar	SI	NO	SI

Fuente: Thomas (1997), Medina (2000).

Cuadro 4. Plantas desalinizadoras de agua instaladas en México, por Estado.

Entidad Federativa	Sitios con plantas desaladoras	Número unidades	% Nacional	Operan			Proceso				Capacidad m ³ /d
				Sí	No	OI	C V	MS F	S	D	
Baja California	23	38	8.74	24	14	26	7	2	3	0	51,938
BCS	71	73	16.78	53	20	63	6	0	4	0	36,971
Campeche	8	19	4.37	14	5	16	2	0	1	0	5,456
Coahuila	31	33	7.59	23	10	30	1	0	1	1	7,668
Colima	17	18	4.14	2	16	17	1	0	0	0	2,856
Edo. México	3	4	0.92	2	2	4	0	0	0	0	7,000
D.F.	14	17	3.91	12	5	15	0	0	1	1	95,471
Durango	26	26	5.98	13	13	26	0	0	0	0	868
Guerrero	6	6	1.38	3	3	6	0	0	0	0	2,355
Jalisco	3	4	0.92	3	1	3	0	0	1	0	2,865
Morelos	2	21	4.83	21	2	20	1	0	0	0	110
Nuevo León	5	5	1.15	5	1	5	0	0	0	0	2,847
Oaxaca	1	4	0.92	4	1	4	0	0	0	0	14,256
Q. Roo	79	124	28.51	73	51	121	2	0	1	0	53,339
SLP	1	1	0.23	1	0	1	0	0	0	0	60
Sonora	16	22	5.06	15	7	17	2	0	1	2	9,349
Tamaulipas	4	4	0.92	2	2	4	0	0	0	0	5,100
Veracruz	9	15	3.45	11	4	13	1	0	0	1	12,167
Yucatán	1	1	0.23	1	2	1	0	0	0	0	700
Total Nacional	320	435	100%	282	137	392	23	2	13	5	311,377

Nomenclatura. OI: Osmosis Inversa, MVC: Compresión Mecánica de Vapor, MSF: Flash multietapa, S: Solar y D: Destilación. Fuente: IDA (2007-2008).

donde los iones son transferidos a través de membranas de intercambio iónico (Figura 6), por medio de un campo de corriente continua (Belfort, 1984 y Mani, 1991).

En este proceso, las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas y de esta forma se eliminan a las partículas cargadas eléctricamente, no produce una eliminación total de sales, sino que en la práctica la reducción de salinidad es del orden del 40%.

Para efectuar una determinada reducción se dispone de una cascada de células de electrodiálisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La capacidad mundial de desalación ha crecido de 1980 con una capacidad de producción de 950,000 m³/d hasta 3,350,000 m³/d. Como fuente de abastecimiento al

proceso, se tiene que la más utilizada es la proveniente de agua de mar con un 66%, el agua salobre con un 22%. Por otra parte los sectores con mas uso del agua producto son el municipal con un 66% y el industrial con un 23%.

Es evidente que los requerimientos energéticos, uso de combustibles, uso de membranas, rango de salinidad, complejidad operacional, mantenimiento requerido, entre otros factores varía según la tecnología a utilizar. Por otro lado, el proceso a utilizar y tamaño de planta deberá sujetarse a las necesidades de la región, calidad y cantidad de agua disponible, así como el uso final del agua producto generado del proceso y la solvencia económica de gobiernos, industrias y agricultores (Cuadro 3).

Según reportes de IDA yearbook, (IDA, 2007; IDA 2005) e informes nacionales existen 435 plantas desalinizadoras ubicadas en 320 sitios y cuentan con una capacidad instalada de 311,377 m³/d. Los Estados con mayor crecimiento de plantas desalinizadoras son el de Baja California, Baja California Sur y Quintana Roo, representando éste último el estado con mayor cantidad de plantas desaladoras, con un 28.5%. La mayoría de las plantas desalinizadoras pertenecen al sector turismo (Cuadro 4).

Los países que cuentan con mayor cantidad de plantas instaladas, se tiene a los siguientes; En primer lugar se encuentra Estados Unidos con 2,174 plantas con un 34%, de las cuales el 72 % corresponde a OI, Arabia Saudita con un total de 2,086 plantas con un 32%, de las cuales un 65% corresponde a MSF, Japón con un total de 1,457 plantas con un 22%, de las cuales un 90% corresponde a Osmosis Inversa, y a España con 760 plantas aproximadamente con un 12%, de las cuales el 90% corresponde a OI. Entre los países

que tienen alrededor entre 100 a 300 plantas, están Libya, India, China, Australia, Algeria, Bahrain y Oman, (IDA, 2007).

En el año 2006, entró en operación la planta desalinizadora municipal más grande de México con una capacidad nominal de 200 L/s, en Los Cabos, Baja California Sur (Dévora, 2007). Actualmente se proyectan varias plantas desalinizadoras en el noroeste de México, principalmente en las ciudades de Tijuana y Ensenada en el estado de Baja California, predominando la tecnología de OI.

Actualmente la capacidad total instalada de desalinización en todo el mundo es de 25 millones de m³/d y ha crecido alrededor de tres veces la capacidad existente respecto al año 1980, de los cuales 14 Hm³/d corresponden a agua de mar y 12 Hm³/d a aguas salobres (Semiat, 2010).

Evidentemente hace 30 años se tenían cantidades considerables de combustibles fósiles, por esta razón la tecnología de MSF, era una de las principales tecnologías de desalinización utilizadas, sin embargo en épocas actuales esta tecnología se ha dejado de operar en una manera considerable debido al déficit de los hidrocarburos como materia prima a dicha tecnología y por los bajos porcentaje de obtención de agua producto. Por ello las tecnologías de membrana han tenido un incremento respecto a los sistemas térmicos debido a que no requieren para su funcionamiento combustible fósiles.

El estudio de la factibilidad de costos y consumo energético mostraron que el tipo de tecnología que requiere menor consumo energético es la OI, con un consumo de 2 a 2.8 kWh/m³ y un costo de \$0.6 USD/m³. Por otro lado, en los sistemas térmicos la tecnología MED consume de 3.4 a 4 kWh/

m³, con un costo de producción de \$1.5 USD/m³. El sistema MSF, consume de 5 a 8 kWh/m³, con un costo de \$1.10 USD/m³.

Es evidente, que el consumo energético y el costo de producción de la Ósmosis Inversa presentan ventajas significativas sobre el resto de los procesos, debido a que esta tecnología no requiere de cambios de estado, como los usados en MED y MSF, que utilizan mayor consumo energético e incrementan la emisión de CO₂, provocando el efecto invernadero, y los terribles daños en la atmósfera, ocasionando problemas medioambientales, que todos padecen, y que se han ido incrementando con el tiempo, por agotamiento de los recursos y sobrepoblación en la Tierra (Lechuga, 2007).

CONCLUSIONES

La destilación, tiene un elevado consumo energético, requiere una elevada inversión inicial, precisa de una extensión de terreno importante, su eficiencia es baja y no depende de la salinidad del agua, por otra parte necesita una fuente de vapor que según los casos puede o no ser independiente del proceso, produce agua de calidad casi pura y puede acoplarse a una central eléctrica productora de energía.

La ósmosis inversa, tiene el menor consumo energético y puede utilizar agua salobre como de mar, una ventaja ante los sistemas térmicos. El costo de inversión es ligado a las características del agua que se pretende desalar y en general es inferior respecto a los sistemas térmicos. En este proceso es indispensable el uso de tratamientos físico-químicos que suelen ser muy importantes y claves para elevar el tiempo de vida de las membranas. El terreno en extensión es de tipo medio. Necesita una fuente exterior

de energía para operar las bombas de alta presión. Por otro lado la presencia de iones específicos limita sus posibilidades de aplicación eficiente y su manejo se complica en función de las características físico-químicas del agua.

La electrodiálisis, tiene un consumo energético de tipo medio dado que solo utiliza agua de baja salinidad una desventaja respecto a sistemas de OI y térmicos, necesita menores tratamientos químicos que los otros sistemas. Respecto a las necesidades de espacio e inversión estas son intermedias comparándola entre los otros sistemas. Por otro lado el costo de instalación es superior a la ósmosis inversa y el agua producto es de inferior calidad a la de las otras tecnologías.

La destilación se emplea únicamente a nivel comercial para desalar agua de mar, la electrodiálisis para desalar agua salobre y la ósmosis inversa tanto para agua salobre como para agua de mar. Analizando los resultados obtenidos, la OI es el proceso más viable en cuanto a producción, energía consumida, costo y variabilidad en las fuentes de abastecimiento, sin olvidar que se tiene que seguir mejorando dicho sistema de producción para que sea sustentable.

LITERATURA CITADA

Arreguin F. (2000), Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XV, Núm. 1, 27-49.

Belfort G. (1984), Synthetic membrane processes, fundamentals and water applications. Ed. Academic, New York, pp 287-296.

Cetenma (2008), Vigilancia Tecnológica para la energía y el medio ambiente. Centro

Tecnológico de la Energía y el Medio Ambiente. Disponible para World Wide Web: <http://www.ctmedioambiente.es>. Enero 2011.

Cipollina A. (2007), Efficiency increase in thermal desalination plants by matching thermal and solar distillation theoretical analysis. *Journal for Desalination*. Desalination. 183 pp. 127–136.

CONAGUA. (2005), Estadísticas del Agua en México. Tercera Edición. Comisión Nacional del Agua y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), pp. 36-50.

Custodio E., Llamas M.R. (1976), Hidrología subterránea. 2 Vols. 2350. Ediciones Omega. Barcelona. Secciones 10 y 12.

Devora G.E. (2007), Desalinización de agua de mar, una estrategia para detonar el desarrollo del Noroeste de México. Artículo para los acuíferos costeros: Retos y Soluciones. Vol. 1, pp. 1025-1034.

Hiriart G. (2007), Desalinización de agua con energías renovables: Interrogantes jurídicas. Instituto de Investigaciones jurídicas de la UNAM Disponible para World Wide Web: <http://www.juridicas.unam.mx>.

IDA. (2005), Desalting Plants Inventory. International Desalination Association. Madrid, España, pp. 210.

IDA. (2007), Desalination Yearbook. International Desalination Association. Market profile. Pankratz T. IDA, United Kingdom, pp. 91-125.

Khawaji A. (2008), Advances in seawater desalination technologies. *Journal for Desalination*, 221, pp. 47-69.

Lechuga J. (2007), Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería. Revista Académica de la FI-UADY*, 11-3, pp. 5-14, ISSN: 1665-529X.

Medina J. (2000), Desalinización de aguas salobres y de mar en ósmosis inversa. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España, pp. 799 pp.

Norlandintl (2004), Sistemas comerciales de destilación, Norland Int'l Inc. Disponible para World Wide Web: <http://www.norlandintl.com/spanish>, Diciembre de 2009.

Porta M.A., et al. (2002), Sistema de desalación solar de agua de mar para riego eficiente en un módulo de cultivo. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. 17(2) pp. 55-64.
Sanchez C.I., et al. (2008), Variabilidad climática en México: Algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. *Ingeniería Hidráulica en México*, vol XXIII, núm. 4. 99 pp. 5–24.

Semiat R., Iwra. (2010), *Water International, Desalination: Present and Future*, Volume 25, Number 1. Recuperado 17 de Abril de 2010 Disponible para World Wide Web: <http://www.cepis.org.pe/acrobat/israel.pdf>.

Thomas K.E. (1997), Overview of village scale, renewable energy powered desalination, Colorado, national renewable Energy Laboratory.

Valencia J. (2000), Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial Mc Graw-Hill, Bogotá, Colombia, pp. 793

Valero A. (2001), La Desalinización como alternativa al plan hidrológico nacional.

68 | Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México
Universidad de Zaragoza y el Centro de Investigación de recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), España. Disponible para World Wide Web: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>

Veolia (2009), Veolia Water Solutions & Technologies Water Treatment Specialist. Disponible para World Wide Web: <http://www.veoliawaterst.com>. Marzo 2011.

WHO. (2007) Desalinización para el suministro de agua potable segura. Guía de los Aspectos Ambientales y de Salud Aplicables a las Desalinización. Ginebra.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Sectorial CONACYT-CONAGUA por haber aportado los recursos financieros para la realización de este proyecto: Funcionamiento, análisis de la problemática y contaminación generada en plantas desalinizadoras ubicadas en la republica mexicana, con el fin de determinar la normatividad aplicable a este rubro, que dan origen a la elaboración de este articulo científico.



Sistemas Productivos

Cosecha de Maiz en Guasave, Sinaloa.

