

---

## Afectación del nivel de concentración del agua de mar, por vertidos de plantas desaladoras en Sonora.

S. Astorga-Trejo<sup>1</sup>, G.E. Devora-Isiordia<sup>2\*</sup> y J. Saldivar-Cabrera<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Química, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, C. P. 85000. Ciudad Obregón, Sonora. Tel. 01 (644) 4-10-90-00.

---

*Affectation of concentration of seawater, by spills form desalinization plan in Sonora.*

### **Abstract**

This research took place in the coast of Puerto Peñasco, Sonora. In the process, 11 sites were sampled, at surface, 1 and 5 m depth when possible, gathering a total of 38 samples. The main purpose of the study is to determine if the spills of desalinization plants located on the place, mostly brine, have a straight effect in the concentration of TDS in the involved seawater. The samples were analyzed with an electronic meter which measures a wide variety of physicochemical parameters, such as TDS, electrical conductivity, DO, temperature (T °C) and pH. The results of the study show that the concentration of TDS on the seawater of the coast of Puerto Peñasco is not directly affected by desalinization spills, because of the ideal dispersion that the brine has on the water of the zone.

*Key words:* desalinization, spills, effect, brine.

### **Resumen**

La presente investigación se llevó en la costa de Puerto Peñasco, Sonora. En el proceso, fueron muestreados 11 puntos, a nivel superficie, a 1 y 5 m de profundidad, en los casos donde las condiciones geográficas no permitieron el acceso, teniendo un total de 38 muestras. El principal propósito del estudio es determinar si los vertidos de las plantas de desalinización localizadas en la zona, particularmente salmuera, tienen un efecto directo en la concentración de SDT en el agua de mar involucrada. Las muestras fueron analizadas con un medidor electrónico que registra una gran variedad de parámetros, como Sólidos Disueltos Totales (SDT), conductividad eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), temperatura (T °C) y pH. Los resultados del estudio indican que la concentración de SDT en el agua de mar de la costa de Puerto Peñasco no es directamente afectada por los vertidos del proceso de desalinización, debido a la buena dispersión que tiene la salmuera en el agua de la zona, derivado de la buena localización del vertido de salmuera y la presencia de alto oleaje y mareas.

*Palabras clave:* desalinización, vertidos, efecto, salmuera.

---

---

\*Autores de correspondencia  
Email: german.devora@itson.edu.mx

## Introducción

El agua, por su valor e importancia para la humanidad, es quizá el recurso más valioso con el que se cuenta. En lugares o zonas del mundo donde el recurso no se tiene, o su disponibilidad es mínima o nula, como la zona de Puerto Peñasco, Sonora; se ha requerido buscar alternativas de obtención y recuperación del vital líquido.

Una de las alternativas que han sido tomadas en cuenta y llevadas a la realidad en la región es la desalinización de agua de mar (Medina, 2000). La desalinización implica eliminar las sales disueltas del agua de mar o del agua salobre, de los acuíferos o lagos, y es un modo de aumentar las reservas de aguas dulces (Miller, 2007). En regiones de México, se presentan sobreexplotaciones de acuíferos, y en muchos Estados el agua potable es insuficiente, pero estas tecnologías son poco explotadas debido a recursos económicos y combustibles, y a dificultades para encontrar nuevas fuentes de abastecimiento (Dévora-Isiordia y González-Enríquez, 2007).

La desalinización, que inicialmente tuvo una aplicación fundamentalmente para usos urbanos o domésticos, ha derivado posteriormente hacia otros sectores como la industria y la agricultura. Esto se ha debido principalmente a la irrupción de nuevas tecnologías más baratas y sencillas de implantación y menor consumo energético. Debe resaltarse que este ha sido el principal motor de la investigación en el tema (Medina, 2000).

Los recursos hídricos susceptibles de desalación pueden tener básicamente dos orígenes: agua de mar o agua subterránea salinizada. La desalación es un proceso de separación, donde se introduce una corriente de alimentación salina y se da lugar a dos corrientes de salida, la de producto y la de rechazo o salmuera. Un esquema simplificado del proceso se muestra en la figura 1 (Einav *et al.*, 2002).

Algunos de los procesos fundamentales en desalación son, entre otros, los de destilación, que se basan en la separación de componentes no volátiles como cuando al hervir el agua y después condensarse esta queda baja en sales. Los de membrana son otro tipo de separación que se basa en las propiedades que tienen ciertos tipos de membrana permitiendo el paso a moléculas de un cierto tamaño a través de sus poros. Los de congelación, por último, se basan en las propiedades de las diluciones, tales como concentración, presión osmótica, difusividad, entre otras. (Mallevalle *et al.*, 1998).

Las aguas de rechazo resultantes de la desalinización tienen un mayor contenido en sales que las aguas marinas; además, presentan diferencias en temperatura, pH y alcalinidad, y contienen sustancias químicas utilizadas en el proceso de depuración y neutralización. La disposición de estas aguas de rechazo puede darse en diferentes maneras, ya sea utilizando la inyección en pozos de desecho, o disponiendo descargas directas que dirigen la salmuera directo al mar. Esta forma de disposición pudiera tener un

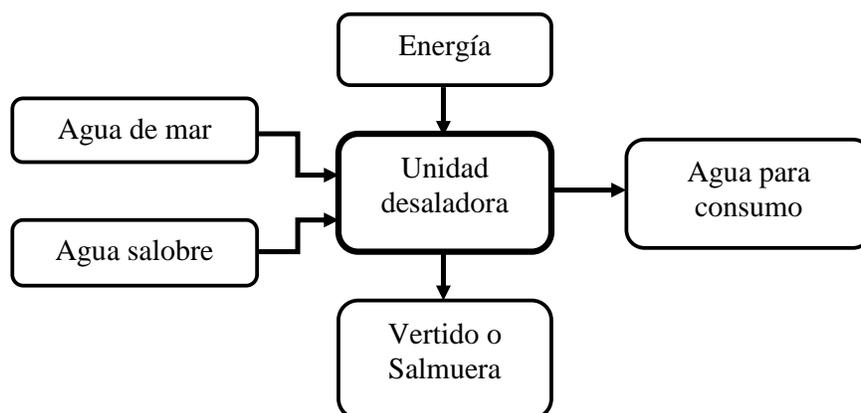


Figura 1. Esquema del proceso de desalinización.

daño medioambiental en los organismos marinos y a que su distribución está estrechamente relacionada con la temperatura y la salinidad (Gacía y Ballesteros, 2001).

Para tener un poco de contexto, se define que la salinidad de un agua es el contenido total de sales del mismo. Al hablar de la salinidad es necesario saber con qué tipo de agua se está tratando. No es lo mismo un agua de mar con un contenido en sales totales de 40,000 ppm, que un agua salobre de 4,000 ppm. Incluso un agua de una salinidad determinada como 2,000 ppm tiene un comportamiento o aplicación muy diferente según que esa salinidad la determinen los cloruros o sea causada por los carbonatos o sulfatos. Los diferentes tipos de agua clasificados por su contenido de sales totales se muestran en la tabla 1 (CNA, 2000).

**Tabla 1. Clasificación de agua por nivel de salinidad**

Tipo de agua	Rango SDT (mg l <sup>-1</sup> )
Agua dulce	>550
Agua salobre tolerable	550-1,000
Agua Salobre	1,000-5,000
Agua salina	<5,000
Agua de mar	Hasta 35,000

Fuente: CNA (2000).

Determinar si los vertidos de salmuera de las plantas de desalinización ubicadas en algunos complejos turísticos de la zona costera de la ciudad de Puerto Peñasco generan o no un aumento en las concentraciones normales de salinidad del agua de mar involucrada es el propósito principal de este trabajo, tratando de demostrar si el proceso de obtención de agua mediante la remoción de sales es negativo o perjudicial para el ambiente marino.

## Materiales y método

La presente investigación se llevó mediante un muestreo sistemático basado en un diseño de experimento (Dévora-Isiordia y González-Enríquez, 2007). Se realizó en la zona costera de la ciudad de Puerto Peñasco, y consistió en dos etapas, una por tierra, visitando las plantas de desalinización conocidas y otra por mar, realizando muestreos puntuales de agua.

En la etapa del muestreo en altamar, se muestrearon 11 puntos elegidos sistemáticamente de acuerdo a la ubicación de las desalinizadoras y en zonas donde las condiciones de mareas podrían no ser favorables para la dispersión de la salmuera (esteros, muelles). Se recorrieron aproximadamente 21.62 km en la

zona de muestreo. En cada punto elegido y marcado con sistema de posicionamiento global, se tomaron muestras verticalmente para conocer la batimetría y profundidad, una en la superficie, otra a 1 y la última a 5 m de profundidad. Por otra parte, de manera horizontal, para identificar la distancia respecto a la desaladora instalada en tierra, esta se mantuvo entre 1 y 2 km de alejamiento. En los casos donde las condiciones del punto no permitieran el muestreo a 5 m, se tomó la muestra en la profundidad máxima permisible, que oscilo entre 2 y 3 m. Los puntos estratégicos y el recorrido de muestreo se pueden observar en la figura 2.

Para la toma de las muestras se utilizó un muestreador de metal tipo "Bayler" con capacidad de 1 l. Como primer paso el equipo fue ambientado con agua del punto muestreado y después fue llenado, para que su contenido fuese colocado en los recipientes destinados a la preservación de las muestras, los cuales fueron previamente lavados y desinfectados para no causar ninguna alteración en las condiciones del agua muestreada. Cada una de las muestras se etiquetó para ser reconocida y fue preservada en hielo a una temperatura menor a 4 °C para asegurar la fiabilidad de los posteriores análisis (AWRRC, 1995).

Como parte del análisis de campo, en cada punto de muestreo, y con el apoyo de un equipo de monitoreo multiparametrico modelo YSI 556, se midió los parámetros de pH, temperatura en (°C), SDT en (mg l<sup>-1</sup>), CE en (µS cm<sup>-1</sup>) y OD en (mg l<sup>-1</sup>). Cada muestra se analizó en el sitio y los resultados se registraron en formatos de identificación preparados para cada una de las muestras tomadas.

Por otra parte, en la etapa de muestreo por tierra, se encontraron que existen 8 complejos turísticos que tenían algún tipo de equipo de desalinización. En las plantas se tomaron datos técnicos de instalación, fotografías, se entrevistó al personal que laboraba en la planta para evaluar si la capacitación del mismo era la adecuada para el manejo y mantenimiento de la instalación, y se tomaron muestras de agua de alimentación de la planta, agua producto ya desalinizada después del proceso, y agua de rechazo o salmuera. Cada una de las muestras también fue analizado con el equipo de monitoreo YSI 556. Se registraron los resultados y se preservaron las muestras mencionadas para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos por el Laboratorio de Análisis Especiales del Instituto Tecnológico de Sonora.



Figura 2: Recorrido y esquematización de puntos de muestreo.

## Resultados y discusión

El registro de los parámetros indica que en las muestras tomadas a la superficie, todas las variables muestran un comportamiento constante y se encuentran entre rangos de datos muy pequeños (Tabla 2). La cantidad de SDT que registran las 10 muestras tomadas se mantiene entre 32280 y 32810  $\text{mg l}^{-1}$ , lo cual se encuentra dentro de los parámetros que clasifican al tipo de agua muestreada como agua de mar, destacando que al dato más alto fue obtenido en la zona del estero Murua, ubicada en la última parte del recorrido de muestreo. Esta característica geográfica propicia el consecuente aumento en la conductividad eléctrica del agua de la zona, por ser territorio de baja profundidad, provocando una evaporación excesiva del agua.

En las muestras tomadas a 1 m de profundidad se observa un comportamiento muy similar en los parámetros registrados a los de las muestras de superficie (Tabla 3). Todos los registros de SDT se siguen manteniendo en un rango entre 32200 y 32800  $\text{mg l}^{-1}$  que permanecen en la salinidad normal del agua de mar. Se observa un aumento considerable en los datos de conductividad eléctrica en la primera muestra registrada, pero los otros

parámetros se mantienen constantes y dentro del grupo de todas las muestras restantes, y al igual que en la muestra de superficie, la zona del estero Murua también fue muestreada a 1 m de profundidad, mostrando un pequeño aumento en la cantidad de sólidos disueltos respecto de los otros resultados, esto debiéndose a que dicha zona marítima propicia una dispersión de sólidos diferente a la que propician las zonas de altamar.

El comportamiento de los resultados del parámetro de SDT se observa todavía más constante en los registros tomados a 5 m de profundidad (Tabla 4). Ningún dato excede los 32400  $\text{mg l}^{-1}$ , por lo que en esta profundidad se puede concluir que la dispersión salina es muy satisfactoria y eficiente, y esto propicia un comportamiento común en el ecosistema marino de la zona.

En cuanto a resultados de muestreo por tierra, se ejemplifican los complejos de desalación que se encontraron a lo largo de la zona de muestreo, así como también algunos datos de operación y ubicación geográfica (Tabla 5).

**Tabla 2. Resultados de parámetros de campo en muestras de superficie oceánica**

Numero de Muestra	Parámetros			
	pH	C.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	SDT ( $\text{mg l}^{-1}$ )	O.D. ( $\text{mg l}^{-1}$ )
1	7.66	42,568	32,330	7.37
2	7.71	42,590	32,350	7.50
3	7.79	42,750	32,280	7.85
4	7.74	42,908	32,290	7.75
5	7.64	43,272	32,290	6.78
6	7.71	43,790	32,330	6.19
7	7.73	43,150	32,320	7.59
8	7.75	43,079	32,320	7.64
9	7.72	43,185	32,930	7.42
10	7.76	43,780	32,810	8.33

C.E.: Conductividad Eléctrica. SDT: Sólidos Disueltos Totales O.D.: Oxígeno disuelto

**Tabla 3. Resultados de parámetros de campo en muestras a 1 m de profundidad**

Número de Muestra	Parámetros			
	pH	C.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	SDT ( $\text{mg l}^{-1}$ )	O.D. ( $\text{mg l}^{-1}$ )
1	7.70	48,440	32,840	6.11
2	7.68	42,555	32,330	7.32
3	7.70	42,570	32,340	7.03
4	7.70	42,600	32,280	7.70
5	7.73	42,940	32,340	7.51
6	7.65	42,745	32,330	7.50
7	7.69	43,643	32,330	6.18
8	7.67	42,790	32,350	7.50
9	7.66	42,670	32,300	7.66
10	7.61	43,070	32,370	7.49
11	7.68	43,833	32,860	7.80

C.E.: Conductividad Eléctrica. SDT: Sólidos Disueltos Totales O.D.: Oxígeno disuelto

**Tabla 4. Resultados de parámetros de campo en muestras a 5 m de profundidad**

Número de Muestra	Parámetros			
	pH	C.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	SDT ( $\text{mg l}^{-1}$ )	O.D. ( $\text{mg l}^{-1}$ )
1	7.71	42,522	32,320	7.61
2	7.71	42,552	32,350	6.40
3	7.75	42,588	32,330	7.63
4	7.72	42,725	32,340	7.48
5	7.65	42,569	32,330	7.40
6	7.61	43,360	32,360	6.48
7	7.65	42,500	32,390	7.62
8	7.67	42,483	32,400	7.69
9	7.60	42,938	32,290	7.44

C.E.: Conductividad Eléctrica. SDT: Sólidos Disueltos Totales O.D.: Oxígeno disuelto

**Tabla 5. Unidades de desalación localizadas en Puerto Peñasco**

Núm.	Nombre	Opera		Coordenadas (Lat. / Long.)	Agua Producto ( $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ )	Agua Rechazo ( $\text{m}^3 \text{ día}^{-1}$ )
		Opera	No Opera			
1	Puerta Privada	No		-	NA	NA
2	Los Portales	No		-	NA	NA
3	Laguna del Mar	No		-	NA	NA
4	Mar de Cortes	No		-	NA	NA
5	Las Conchas	No		31° 17' 27.4''N ; 113° 31' 29.1''W	NA	NA
6	Mayan Palace	Si		31° 15' 16.3''N ; 113° 17' 19.6''W	-	520
7	Peñasco del Sol	No		31° 18' 41.5''N ; 113° 32' 58.7''W	NA	NA
8	Laguna Chores	Si		31° 16' 54.3''N ; 113° 25' 55.6''W	-	507

NA= No Aplica

Los datos faltantes de la tabla no pudieron ser registrados en el estudio.

Debido a la poca variación en las concentraciones de SDT en el agua de mar de la zona costera en Puerto Peñasco, además de la similitud en el pH de todas las muestras tomadas así como la estricta relación que guardan los valores de conductividad con los de SDT se puede establecer que el agua de mar de la zona de estudio no se ve afectada directamente por la actividad de la desalinización en el puerto, ya que los parámetros se encuentran dentro o cerca de los datos reportados para las propiedades del agua de mar.

### Conclusiones

El aparente comportamiento constante de los valores de los parámetros de campo medidos en el proceso del estudio tiene un relación directa, con el hecho de que el agua de la zona costera de Puerto Peñasco, no sufre alteraciones ni modificaciones en sus propiedades fisicoquímicas a causa de un factor externo, en este caso el contacto con el agua rechazo de alguna planta de desalinización, a pesar de que las dos plantas en operación continua las 8 muestreadas vierten la cantidad de  $1027.2 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$ . Los datos observados en la figura 3, muestran el comportamiento que tienen los valores de SDT mediante un análisis de varianza, en el cual se

agruparon los datos de características compartidas, en este caso, los de muestras tomadas en la superficie, los de 1 m y los de 5 m. Con el uso de Microsoft Excel 2010 se observa en números la relación que guardan los datos entre sí. Los diagramas de caja clarifican el comportamiento lineal de los grupos de datos antes mencionados, y proporcionan un panorama grafico que permita hacer conclusiones pertinentes de lo que dicho diagrama muestra. Se puede observar que en su mayoría los datos son estadísticamente iguales, lo que significa que todos los valores se encuentran dentro de una media similar y pueden considerarse constantes dentro del rango permitido. Puede analizarse también que se encontraron puntos que arrojan datos fuera de la línea de tendencia, y esto se le atribuye a que algunas muestras fueron tomadas tanto en humedales presentes en las zonas de muestreo, como en algunas partes de la costa donde el nivel del mar suele descender como un fenómeno natural propio del área de estudio, lo que propicia un aumento en la concentración de salinidad del agua, al registrarse la presencia de menos volumen de líquido al momento de tomar la muestra. Aun con los valores fuera de la línea de tendencia, puede ser observado el hecho que el rango de datos que muestra la figura es muy

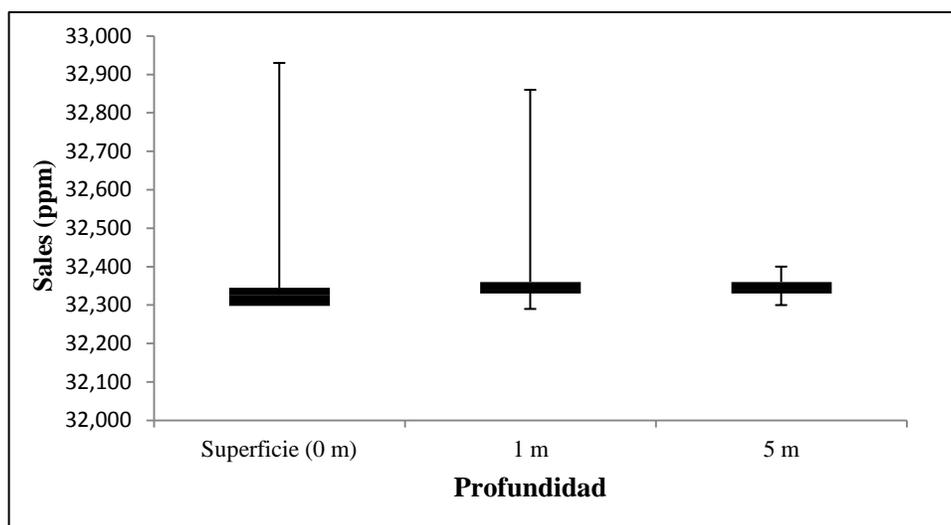


Figura 3: Gráfica de caja de parámetro sólidos disueltos totales.

pequeño, solo de  $800 \text{ mg l}^{-1}$ , lo que define la poca variación que tienen las diferentes muestras en su concentración de sólidos totales.

En las figuras 4 y 5, se observa el comportamiento del mismo análisis de varianza pero en los datos de conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Se puede concluir que el comportamiento de los datos

es también estadísticamente constante, manteniéndose la mayoría de los resultados en la línea de tendencia. Se observa también consistencia en los valores fuera de rango, que son producto de las muestras tomadas en los lugares específicos con las condiciones determinadas y expuestas anteriormente.

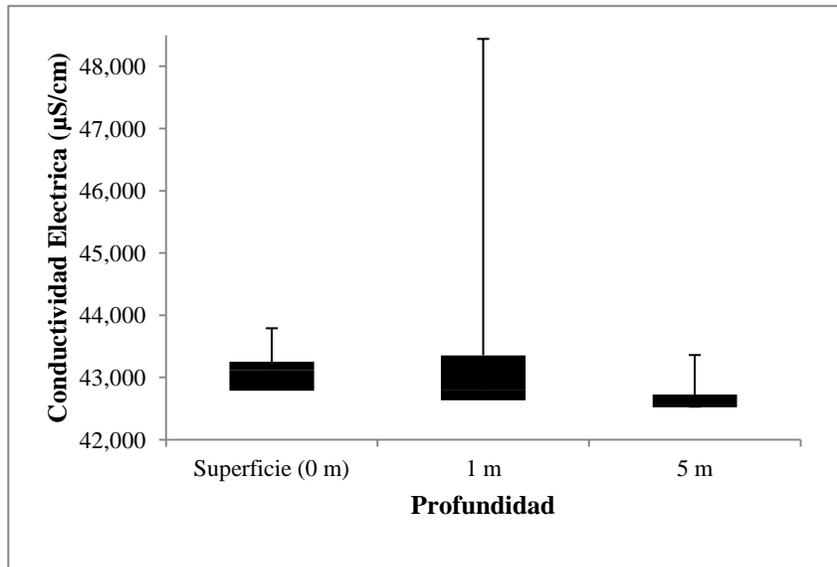


Figura 4: Gráfico de caja de parámetro conductividad eléctrica.

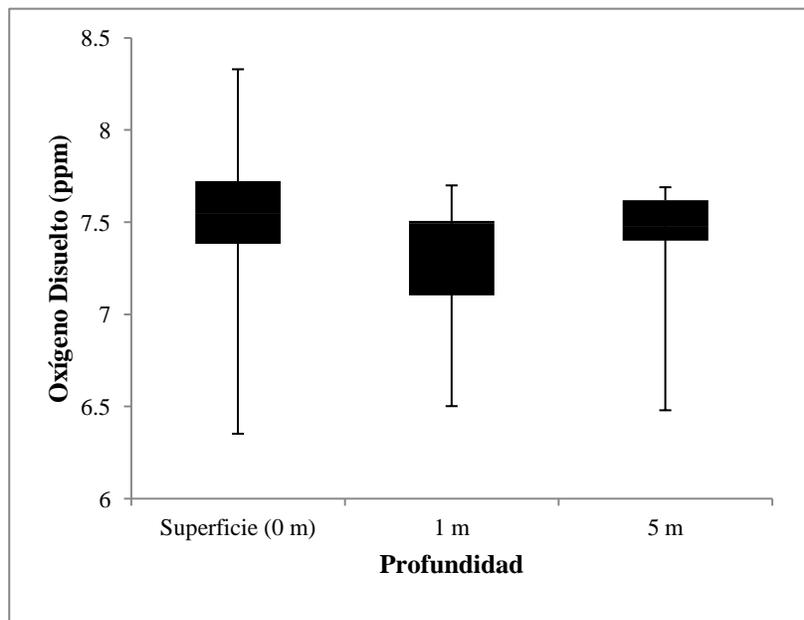


Figura 5: Gráfica de caja de parámetro oxígeno disuelto.

La cantidad de SDT en el total de muestras mantuvo un valor promedio aproximado de 32300 mg l<sup>-1</sup>, lo que indica que la totalidad del agua muestreada puede entrar en la clasificación de agua de mar y no recibe alteraciones por acumulación de sales y otros sólidos provenientes de la salmuera descargada en el océano. El mayor dato obtenido en este parámetro fue 38220 mg l<sup>-1</sup>, cuya muestra fue tomada en humedal cercano a la costa en la zona del hotel Mayan Palace, donde se encuentra una unidad de desalinización, y se puede destacar que la vegetación de la zona no se ve afectada por la concentración de salinidad en el cuerpo de agua antes mencionado.

Dados los resultados de la investigación de campo, el comportamiento constante de los valores registrados en las muestras y la condición estadística que observada, se puede realizar la conclusión final de que en la zona costera de Puerto Peñasco, donde la escasez de agua es un problema de gravedad social, y donde la desalinización se ha tomado como una fuente de obtención de agua pura para satisfacer las necesidades biológicas y sociales de los habitantes de la zona, no se encuentra, hasta el momento, un efecto negativo en las concentraciones del agua de mar como efecto del proceso de desalinización y el vertido de salmuera al agua oceánica.

Esto no significa que la actividad no deba ser estrictamente regulada, e invita a seguir realizando estudios periódicos de este tipo para determinar si existe o no un efecto negativo producto de este proceso, y de existir, encontrar las soluciones pertinentes para seguir abasteciendo de agua a las zonas donde el recurso prácticamente deja de existir.

## Bibliografía

- AWRRC, 1995. Field Manual for Water Quality Sampling. Arizona Water Resources Research Center. Tucson, Az. USA. Pp 6-37.
- CNA. 2000. Comisión Nacional del Agua. Ley Federal en Materia de Agua. México D.F. 141 p.
- Dévora-Isiordia, G.E., González-Enríquez, R. 2007. Desalinización de agua de mar, una estrategia para detonar el desarrollo del Noroeste de México. Artículo para Los acuíferos costeros: Retos y Soluciones. 1, 1025-1034.
- Einav R., Harussi K., Perry D. 2002. The footprint of the desalination processes on the environment, Desalination 152.
- Gacía E., Ballesteros E. 2001. El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas. 2-3 pp.
- Mallevalle J., Odendaal P.E., Wiesner M.R. 1998. Tratamiento del agua por procesos de membrana. Editorial Mc. Graw-Hill, Araveca, Madrid. Páginas 1.1-1.5
- Medina, J. A. 2000. Desalación de aguas salobres y de mar, ósmosis inversa. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España 799 pp.
- Miller, G. T. 2007. Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral.