

## EVALUACION DE LOS PROCESOS DE PURIFICACION DE UNA DESPACHADORA DE AGUA POTABLE EN CIUDAD JUAREZ

Ma. Teresa Escobedo P.<sup>1</sup>, Jorge A. Salas Plata M.<sup>1</sup>, Griego E. Muñoz M.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se evaluaron los procesos de purificación del agua de abastecimiento de un módulo de autoservicio (despachadora) de agua potable de Ciudad Juárez. Se llevó a cabo una revisión del documento Manual de Agua Pura, de la empresa Osmonics. Se obtuvo información de la calidad del agua en un punto de la zona norte de Ciudad Juárez, proveniente de la red pública de distribución y que sirve como muestra de fuente de agua para el proceso de potabilización de la despachadora. La información fue proporcionada por el Laboratorio Ambiental del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), correspondiente al periodo 2002-2004. Con base en este análisis y los procesos que se requieren para purificar el agua, se hizo una comparación con la tecnología utilizada por la despachadora y se obtuvo la evaluación. Los resultados muestran que existe una compatibilidad entre las tecnologías aplicadas de purificación y la calidad del agua de suministro. Sin embargo, en el análisis histórico de la calidad del agua de la red de distribución, se observa que algunos parámetros están fuera de la norma (Fenoles, Cloruros, Aluminio, Sodio y Mercurio). Además, el contenido de sólidos disueltos de esta fuente de suministro (900 ppm) está por encima de la requerida para un funcionamiento óptimo (650 ppm). Se concluye que el agua que distribuye esta empresa es de calidad. Se recomienda llevar a cabo un estudio de calidad del agua con base en muestreos de todas las despachadoras de la empresa.

### 1. INTRODUCCION

La eliminación o reducción de la contaminación se lleva a cabo mediante tecnologías de potabilización y purificación, cuyos procesos requieren ser evaluados como el de los módulos públicos de despacho de agua en Ciudad Juárez.

La inseguridad y/o ignorancia con relación a la calidad del agua potable de los servicios públicos, crea la necesidad en las personas de comprar agua “purificada”, es decir, desprovista de cualquier contaminante.

Los contaminantes del agua pueden ser gases de la atmósfera, minerales, materia orgánica y todo tipo de material usado para almacenarla y transportarla.

Algunos procesos importantes de purificación son los siguientes:

#### 1.1 Osmosis Inversa (OI)

Osmosis es el fenómeno que consiste en el paso recíproco de líquidos de distinta densidad a través de una membrana semipermeable que los separa. El osmosis inversa se inventó en 1959 y es uno de los más importantes métodos de purificación; forma parte del tipo de membranas de filtrado con flujo cruzado. Este es un proceso en que se remueven tanto los orgánicos disueltos como las sales, usando un mecanismo diferente del intercambio iónico o el carbón activado.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

El OI fue el primer proceso de membrana de flujo cruzado que se comercializó ampliamente. OI remueve la mayoría de los compuestos orgánicos y hasta el 99% de todos los iones. También elimina el 99.9% de virus, bacterias y pirógenos. Para entender el proceso de la ósmosis inversa, cabe recordar la ósmosis natural como un mecanismo de transferencia de nutrientes en las células de los seres vivos a través de las membranas que las recubren. En tal sentido, cuando se ponen en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones de un determinado soluto (por ejemplo

sales), se genera un flujo de solvente (por ejemplo agua) desde la solución más diluida a la más concentrada, hasta igualar las concentraciones de ambas (Ver Figura 1). Si se pone en contacto, a través de una membrana, agua salada y agua destilada se obtendrá un equilibrio entre ambas y quedarán moderadamente saladas. El agua que atraviesa la membrana es "empujada" por la presión osmótica de la solución más salada y el equilibrio del proceso se alcanza cuando la columna hidrostática iguala dicha presión osmótica.

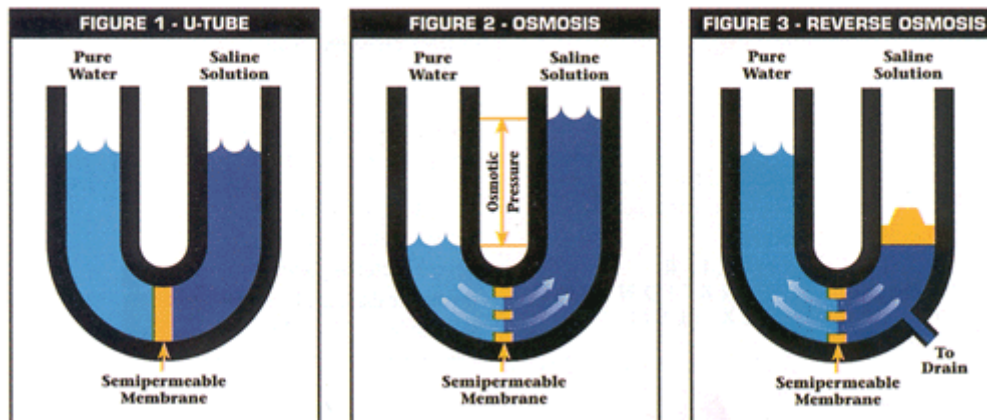


Figura 1. Procesos de ósmosis y ósmosis inversa

De aquí se deduce que si el interés en el tratamiento es obtener una corriente de agua lo más diluida posible, se deberá invertir el fenómeno. Para ello hay que vencer la presión osmótica natural mediante la aplicación en sentido contrario de una presión mayor. Cuando se logra invertir el fenómeno se está en presencia de la ósmosis inversa que genera simultáneamente dos corrientes:

- Una que es la que atraviesa la membrana y queda libre de sólidos disueltos (minerales, materia orgánica, etc.) y de microorganismos (virus, bacterias, etc.) llamada producto o permeado.
- La otra se va concentrando de sólidos disueltos y microorganismos, constituyendo el concentrado.

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirógenos, la materia coloidal < 1 micra, organismos, virus y bacterias del agua. La ósmosis inversa es capaz de quitar el 95%-99% de los sólidos disueltos totales (SDT) y el 99% de todas las bacterias, proporcionando un agua segura y pura. La membrana de ósmosis inversa tiene un área "microporosa" que rechaza las impurezas y que no impide el paso del agua. La membrana rechaza las bacterias, pirógenos, y el 85%-95% de sólidos inorgánicos. Los iones "polivalentes" son rechazados más fácilmente que los iones "monovalentes". Los sólidos orgánicos con un peso molecular superior a 300 son rechazados por la membrana, pero los gases si pasan a través de ella. La ósmosis inversa es una tecnología de rechazo en porcentaje. La pureza del agua producida depende de la pureza del agua de la fuente.

### 1.2 Nanofiltración (NF)

Los equipos de NF remueven los compuestos orgánicos en el rango de 250 a 1000 de peso molecular, rechazando algunas sales (normalmente divalentes) y permitiendo el paso a menores presiones que el OI.

### 1.3 Ultrafiltración (UF)

El UF es similar a OI y NF, pero se define como un proceso de flujo cruzado que no rechaza iones. Desecha solutos arriba de 1000 daltons (peso molecular). Debido a su tamaño de poro más grande en la membrana, UF requiere de menos diferencia de presiones: de 10 a 100 psig (0.7 a 6.9

bar); UF remueve orgánicos grandes, coloides, bacteria y pirógenos.

### 1.4 Microfiltración (MF)

La mayoría de las bacterias tienen diámetros físicos mayores a 0.2 micras. Así que un filtro de 0.2 micras o menores removerá mecánicamente y de manera continua las bacterias de un sistema de flujo. La ventaja más grande de la microfiltración es que no se necesitan ni calor ni químicos.

El microfiltrado impide fundamentalmente la entrada de bacterias y protozoos cuyo tamaño es de 0.3 a 25 micras y son muy útiles en la gran mayoría de situaciones. En países donde exista peligro de contraer virus, es necesario utilizar un purificador o combinar el filtro con un desinfectante.

Los purificadores combinan las ventajas del microfiltrado y las de desinfección, siendo efectivos contra todos los microorganismos presentes en el agua. Pueden utilizarse en aguas turbias, sucias, lugares que no nos ofrezcan buenas garantías de higiene y sobretodo en países con alto riesgo a contraer enfermedades (países en vías de desarrollo).

Las membranas de microfiltrado MF son filtros en el rango de 0.1 - 3 micras. Está disponible en polímeros, metales y discos de membrana de cerámica o cartuchos de filtro plegado. Las membranas de flujo cruzado se fabrican en varias configuraciones, tubular, de fibra perforada, y de hoja plana o espiral. Debido a su relativa eficiencia y economía, los elementos de membrana en espiral es el más popular de la purificación de agua con flujo cruzado (ver Figura 2).

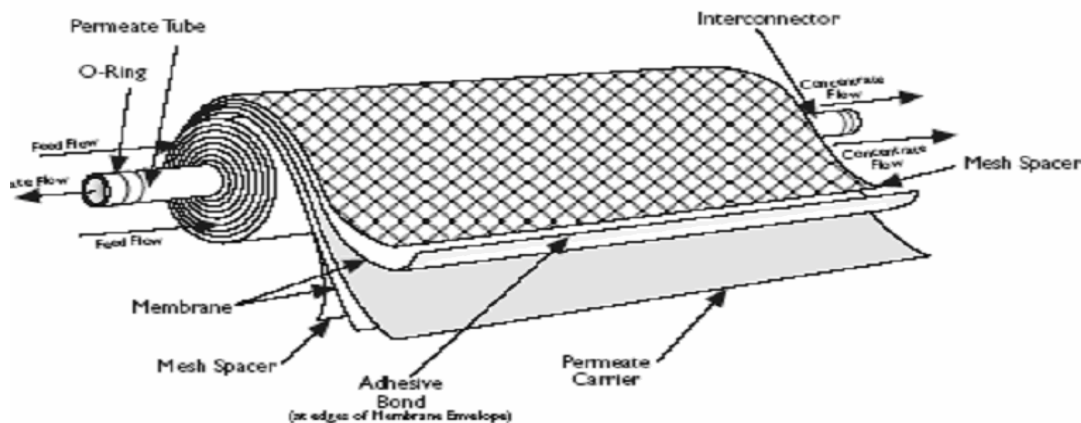


Figura 2. Membrana de espiral

La Figura 3 presenta un resumen de los métodos y niveles de purificación

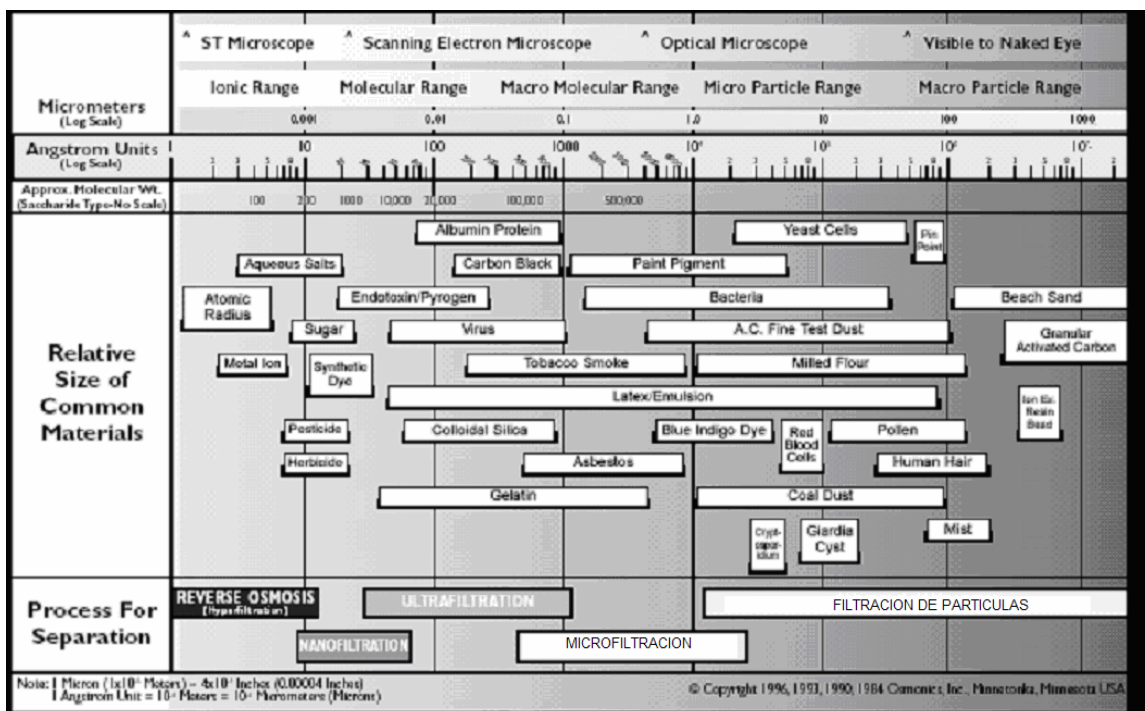


Figura 3. Métodos de purificación de agua. Fuente: Osmonics, 1997

El control de la población de microorganismos es esencial para mantener el funcionamiento de cualquier sistema hidráulico. Hay dos importantes consideraciones cuando se usa un biocida: la concentración y el tiempo de

contacto. A mayores concentraciones, menores los tiempos de contacto necesarios para una efectiva desinfección.

1.5 Cloro

Es el más utilizado por su bajo costo y efectividad. Es más efectivo para pH debajo de 7. Se mantiene continuamente dosificado para mantener residuos de 0.2 a 2 ppm. Los tratamientos periódicos se llevan a cabo mediante concentraciones de 100-200 ppm por 30 minutos. Para pequeños sistemas, el cloro se usa como hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) y líquidos dehidratados de hipoclorito de calcio  $[\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ .

### 1.6 Ozono

El ozono es dos veces mas poderoso que el cloro. El ozono ( $\text{O}_3$ ) se produce mediante una descarga de corriente eléctrica a través del aire. El oxígeno en el aire forma  $\text{O}_3$  el cual es altamente reactivo e inestable. El ozono no involucra contaminación iónica porque se degrada en  $\text{O}_2$ . El ozono debe dosificarse en el agua de manera regular debido a que tiene una vida media muy corta (aproximadamente 20 minutos a temperatura ambiente) en solución.

### 1.7 Calor

El calor es una forma clásica de control bacterial y es muy efectivo cuando los sistemas están diseñados e instalados adecuadamente. Se usa a temperaturas de 80 °C para controlar microorganismos en sistemas de carbón activado.

### 1.8 Luz Ultravioleta (UV)

La desinfección de agua por radiación UV, es un procedimiento físico que no altera ni la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. La seguridad de la desinfección por UV está probada científicamente y constituye una

alternativa segura, eficaz, económica y ecológica frente a otros métodos de desinfección del agua, como por ejemplo la cloración. La radiación UV constituye una de las franjas del espectro electromagnético y posee mayor energía que la luz visible. La irradiación de los gérmenes presentes en el agua con rayos UV provoca una serie de daños en su molécula de ADN, que impiden la división celular y causan su muerte.

La radiación más germicida es aquella con una longitud de onda de 254 nanómetros. El ADN expuesto a esta energía presenta un máximo de absorción, produciéndose una inactivación irreversible en el crecimiento de los gérmenes. Así se pueden eliminar microorganismos que se encuentren en el agua, tales como algas, parásitos, hongos, bacterias y virus.

No presenta efectos secundarios peligrosos, como la utilización de desinfectantes químicos o generación de inmuno-resistencia como los antibióticos. Los rayos ultra-violeta tampoco alteran el pH y sólo los organismos que pasan por el esterilizador son eliminados.

Los sólidos suspendidos o partículas causan un problema porque los microbios se esconden tras la coraza de los sólidos y así pueden pasar a través de los esterilizadores sin tener una penetración directa de la UV. Esta coraza puede reducirse por medio de filtración de al menos 5 micras de tamaño.

El único método positivo de asegurar que la UV este funcionando correctamente para lo que se diseñó, es obtener pruebas microbiológicas del agua de alimentación. Aún que la lámpara este encendida y parezca que esta funcionando, factores como la calidad del agua, el tiempo de vida de la

lámpara y la transmisión real de la misma pueden afectar la producción real de UV. Se recomienda pruebas de agua periódicamente para asegurar que se está recibiendo agua biológicamente segura. También es importante seguir los lineamientos del fabricante en procedimientos de calidad de agua y operación. La desventaja de la UV es la falta de residuos activados, y es efectivo sólo si la UV está en contacto con el microorganismo.

Muchos hogares tienen sistemas de purificación para aumentar el tratamiento de los sistemas municipales.

La mayoría de los sistemas utilizan ósmosis inversa para reducir los SDT en un 90% aproximadamente, carbón activado para absorber orgánicos de pequeño peso molecular y cloro, y filtración submicra para remover los finos de carbono, otras partículas y bacterias que puede crecer en los filtros de carbono.

El agua embotellada purificada se obtiene por destilación, intercambio de

iones, ósmosis inversa, u otros procesos de tratamiento. Se produce del agua que cumple con la normatividad con respecto a agua para beber. El agua purificada no contiene sustancias añadidas. Las preocupaciones principales son las bacterias y levaduras y el contenido de sólidos totales.

La industria del agua embotellada debe elaborar un producto de acuerdo a la normatividad en la que el control bacteriológico es fundamental. Generalmente se requiere desinfección por cloro u ozono. El contenido de ST se controla de forma más económica a través de OI. La etiqueta de la botella debe definir el método de producción.

El agua de suministro debe tener 650 ppm de SDT a 25 °C.

El pretratamiento debe incluir un sistema de suministro químico para adición de cloro, un filtro de sedimentos de doble capa y un sistema de suministro químico para el amortiguamiento del pH.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo planteado fue el de evaluar los procesos de purificación de una despachadora de agua de Ciudad Juárez, así como la calidad del producto. En esta investigación se presenta el proceso de purificación de agua de una empresa que vende su producto a un precio considerablemente bajo (casi un 50% de ahorro con respecto a la competencia), provocando así un poco de desconfianza sobre la calidad que pueda ofrecer al consumidor. Esta compañía ha expandido sus servicios por toda la ciudad colocando centros de abastecimiento de agua en diversas

colonias y fraccionamientos de la ciudad.

## 3. METODOLOGIA

Se llevó a cabo una revisión del documento del Manual de Agua Pura de la empresa Osmonics (Osmonics, 1997) para el resumen de los métodos de purificación de agua y otra información general relacionada con el tema. También se consultaron otras fuentes de la Internet. Se obtuvo información acerca de la calidad de agua en un punto de la zona norte de Ciudad Juárez proveniente de la red de distribución y que sirve como fuente para el proceso de

potabilización de la despachadora. Se obtuvo, así mismo, información de laboratorio acerca de la calidad del agua de la despachadora en esta zona. La información fue proporcionada por el Laboratorio Ambiental del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la UACJ. Con base en este análisis y los

procesos que se requieren para purificar el agua, que se resumen en la figura tecnologías de remoción de contaminantes (Ver figura 4), se hizo una comparación con la tecnología utilizada por la despachadora y se obtuvo la evaluación.

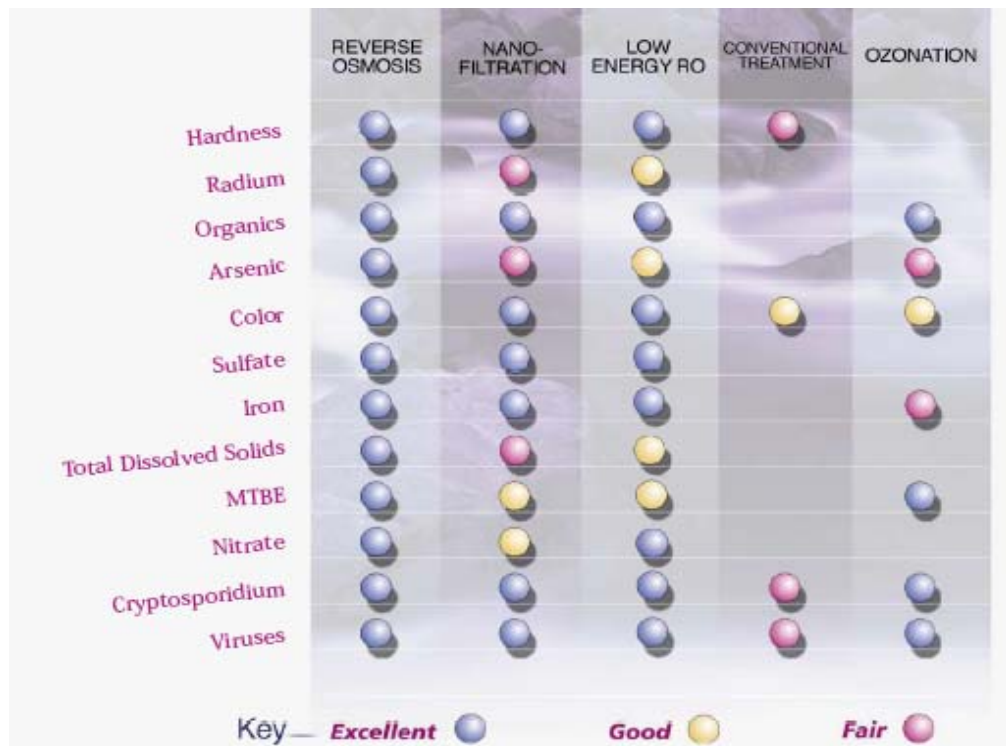


Figura 4. Tabla comparativa de la eficiencia de las tecnologías de purificación de agua.  
Fuente: Osmonics, 1997.

El proceso de purificación de agua de la despachadora es el siguiente:

- El agua de la red pública se deposita en un tanque.
- Un sistema hidroneumático inyecta a presión el agua para iniciar el proceso.
- El proceso de purificación incluye filtros pulidores, suavizadores, filtros de carbono activado que elimina arena, sales, olores, sabores, cloro y otras partículas.
- Un sistema de osmosis inversa finaliza el proceso de purificación.
- Una vez purificada, el agua es almacenada en un tanque herméticamente cerrado.
- Antes del llenado del garrafón el agua purificada pasa por una lámpara de luz ultravioleta esterilizadora.

- Para protección durante el proceso de llenado el agua no toca la boquilla despachadora.

#### 4. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra el resumen histórico de la calidad del agua en la red de distribución del organismo operador de Ciudad Juárez en un punto de la zona norte en el periodo mayo de 2002 al noviembre de 2004.

ANÁLISIS EN MUESTRA INSTANTÁNEA	MÉTODO ANALÍTICO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	Incertidumbre $U_x(95\%)$	RESUMEN HISTÓRICO (CON * FUERA DE LA NORMA)
Dureza total (como $\text{CaCO}_3$ ) (mg/l)	NMX-AA-72	500.000	0.804	160.812
Sólidos disueltos totales (mg/l)	NMX-11-20	1000.000	N.A.	900.160
Fenoles (mg/l)	NMX-AA-50	0.001	N.A.	<b>&lt;0.01*</b>
Substancias activas al azul metileno (mg/l)	NMX-AA-39	0.500	0.052	<0.5
Cianuros (mg/l)	NMX-AA-58	0.070	0.001	<0.07
Cloro libre	NMX-AA-100	0.2-1.50	N.A.	0.212
Cloruros (mg/l)	NMX-AA-73	250.000	0.735	<b>378.776*</b>
Fluoruros (mg/l)	NMX-AA-77	1.500	—	0.734
pH a 25°C	NMX-AA-08	6.5-8.5	0.055	7.626
Sulfatos (mg/l)	NMX-AA-74	400.000	—	114.274
Coliformes totales (NPM/100 ml)	NMX-AA-42	2.000	N.A.	<2
Coliformes fecales (NPM/100 ml)	NMX-AA-42	No Detectable	N.A.	NO DETECT
Aluminio (mg/l)	NMX-AA-51	0.200	0.106	<b>&lt;0.5*</b>
Arsénico (mg/l)	NMX-AA-46	0.050	—	0.135
Bario (mg/l)	NMX-AA-51	0.700	—	<0.7
Cadmio (mg/l)	NMX-AA-51	0.005	0.002	<0.005
Cobre (mg/l)	NMX-AA-51	2.000	0.006	<2
Cromo total (mg/l)	NMX-AA-51	0.050	0.014	<0.05
Fierro (mg/l)	Stand. Methods	0.300	—	<0.3
Manganeso (mg/l)	Stand. Methods	0.150	—	<0.15
Mercurio (mg/l)	NMX-AA-64	0.001	—	<b>&lt;0.002*</b>
Plomo (mg/l)	NMX-AA_51	0.025	—	<0.025
Sodio (mg/l)	Standard Methods	200.000	—	<b>249.500*</b>
Zinc (mg/l)	NMX-AA-51	5.000	0.005	<5
Color (Unidades Pt-Co)	Standard Methods	20.000	N.A.	11.558
Turbidez (NTU)	NMX-AA-38	5.000	N.A.	<5
Nitrógeno amoniacal (como N) (mg/l)	4500-NH3-E	0.500	0.031	0.168
Nitrógeno-nitratos (como N) (mg/l)	NMX-AA-99	10.000	—	<10
Nitrógeno-nitritos (como N) (mg/l)	NMX-AA-79	0.050	0.014	<.05
Alcalinidad (como $\text{CaCO}_3$ )	NMX-AA-36	300.000	1.160	124.274

Tabla 1. Resumen de la calidad del agua en un punto de la zona norte de Ciudad Juárez



De acuerdo con los datos, los fenoles y cloruros, así como el cadmio, mercurio y sodio están excedidos de la norma.

La tabla 2 es un resumen de la calidad del agua en una de las

despachadoras de agua de la zona norte de Ciudad Juárez para efectos de comparación con la calidad del agua de la fuente de abastecimiento.

ANÁLISIS EN MUESTRA INSTANTÁNEA	MÉTODO ANALÍTICO	LIMITE MAXIMO PERMISI-BLE	RESUMEN HISTORICO (SIN PARAMETROS FUERA DE LA NORMA)
Fenoles (mg/l)	NMX-AA-50	0.001	0.0031
Cloruros(mg/l)	NMX-AA-73	250.000	6.7
Aluminio(mg/l)	NMX-AA-51	0.200	0.0682
Mercurio (mg/l)	NMX-AA-64	0.001	No disponible
Sodio (mg/l)	Standard Methods	200.000	13.58
SDT (ppm)		650	44

Tabla 2. Calidad del agua de la despachadora en un punto de la zona de comparación con la calidad del agua de la fuente en junio de 2006

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la información recabada, la observación en el sitio de funcionamiento del equipo de purificación, así como de la tecnología utilizada en la despachadora, se considera que el agua que se vende por esta empresa es de muy buena calidad y a buen precio; cabe mencionar que a los equipos se les da mantenimiento diario, según información del personal de la empresa, y una limpieza general por lo menos una vez por semana. Los procesos de purificación de la despachadora corresponden a los sugeridos por Osmonics. Se recomienda llevar a cabo análisis de laboratorio del agua de manera periódica, para asegurar que se está ofreciendo agua

biológicamente segura ya que alguno de los parámetros de la fuente de suministro (red pública de agua potable) están fuera de la norma.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos agradecer a IIQ. Luz del Carmen Agüero Reyes y a la Ing. Isla Dinora Balderrama Arzaga, ambas profesionistas del Laboratorio Ambiental de la UACJ, por los estudios de calidad de agua realizados.

**CULCYT**