

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	El tratamiento electromagnético del agua, ¿una tecnología comprobada?
<i>Autor / Adscripción</i>	<p>Serge Tamari Víctor M. Arroyo Correa Nahún H. García Instituto Mexicano de Tecnología del Agua</p> <p>Mario Paredes Vallejo Distrito de Riego Mexicali, Baja California, México</p> <p>Carlos H. Castro González Módulo de Riego San Luis R.C., Sonora, México</p>
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 16(3): 47-55
<i>Fecha de publicación</i>	2001
<i>Resumen</i>	<p>Desde hace un siglo se han propuesto varios dispositivos (imanes, bobinas, electrodos, antenas) para el tratamiento electromagnético del agua. Comúnmente, los proveedores los recomiendan para aplicaciones tan diversas como regar los cultivos, abrevar el ganado y controlar el sarro en las tuberías... ¿Cómo pueden resolver problemas tan distintos? De acuerdo con una revisión de la literatura, existen muchas dudas en cuanto a la utilidad de los aparatos electromagnéticos que se venden para el tratamiento del agua. Hasta la fecha, no ha sido posible definir con claridad las condiciones de uso que logren los beneficios mencionados.</p>
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/761

El tratamiento *electromagnético* del agua, ¿una tecnología comprobada?

Serge Tamari
Víctor M. Arroyo Correa
Nahun H. García

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Mario Paredes Vallejo

Distrito de Riego 014, Mexicali, Baja California, México

Carlos H. Castro González

Módulo de Riego 1, San Luis R.C., Sonora, México

Desde hace un siglo se han propuesto varios dispositivos (imanes, bobinas, electrodos, antenas) para el tratamiento electromagnético del agua. En comparación con los métodos tradicionales de tratamiento del agua, se dice que son económicos, de fácil uso, y que prácticamente no requieren mantenimiento. Comúnmente, los proveedores los recomiendan para aplicaciones tan diversas como regar los cultivos, abrevar el ganado y controlar el sarro en las tuberías... ¿Cómo pueden resolver problemas tan distintos? De acuerdo con una revisión de la literatura, existen muchas dudas en cuanto a la utilidad de los aparatos electromagnéticos que se venden para el tratamiento del agua. Hasta la fecha, no ha sido posible definir con claridad las condiciones de uso que logren los beneficios mencionados.

Palabras clave: tratamiento del agua, aparatos magnéticos, aparatos electrónicos, riego, salinidad, sarro.

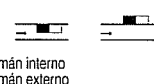


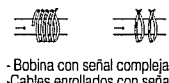

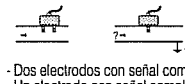
Introducción

Desde hace un siglo se han propuesto varios dispositivos para el tratamiento *electromagnético* del agua. Con base en la propuesta de Rosset (1992), se pueden clasificar en cuatro categorías (ver ilustración 1): los aparatos *magnéticos*, que producen un campo magnético constante por medio de un imán permanente o de una bobina; los aparatos *eléctricos*, que producen un campo eléctrico alterno a partir de electrodos; los aparatos *electrónicos extrusivos*, que producen una señal electromagnética compleja a través de una bobina o de cables eléctricos, y los aparatos *electrónicos intrusivos*, que producen una señal electromagnética compleja por medio de electrodos. En comparación con los métodos tradicionales de tratamiento del agua, la mayoría de los proveedores manifiestan que sus

aparatos electromagnéticos son de fácil uso y que prácticamente no requieren mantenimiento. Una característica sorprendente de los equipos es que su consumo eléctrico siempre es pequeño o nulo. ¿Estos aparatos tienen algo especial desde el punto de vista tecnológico? Parece que no. Las patentes revisadas (Binger, 1994; Hayakawa, 1995) hablan de materiales comunes y describen circuitos electrónicos bastante sencillos. La magnitud del campo magnético de dichos aparatos se puede lograr fácilmente con un imán del mercado (Powell, 1998), aunque algunos autores han reportado el uso de aleaciones particulares para fabricar imanes y electrodos (Noran *et al.*, 1996; Romo y Pitts, 1998).

Los campos de aplicación de los aparatos electromagnéticos para el tratamiento del agua son muy diversos (cuadro 1). Se ha comentado que el tratamiento

Ilustración 1. Diseño de los aparatos *electromagnéticos* para el tratamiento del agua.

		Versión "clásica"	Versión "Electrónica"
"Imán"	Magnético	 - Imán interno - Imán externo	
"Bobina"		 - Corriente directa	Electrónico extrusivo  - Bobina con señal compleja - Cables enrollados con señal compleja
"Electrodos"	Eléctrico	 - Corriente alterna - Descargas eléctricas pequeñas	Electrónico intrusivo  - Dos electrodos con señal compleja - Un electrodo con señal compleja - Descargas eléctricas grandes

electromagnético del agua puede ser una "revolución en la agricultura" (Priel, 1989) y una solución a los problemas de potabilización del agua en los países po-

bres (Alikhani *et al.*, 1992). La mayoría de los proveedores afirman que sus equipos siempre son útiles para controlar la formación de sarro en tuberías, regar los cultivos ("ahorran agua de riego y fertilizantes", "producen cultivos más resistentes a la salinidad y a las enfermedades") y abrevar el ganado ("mejoran la calidad del agua de consumo"). ¿Cómo pueden resolver problemas tan distintos? Al respecto, los proveedores mencionan que sus aparatos provocan cambios en el agua (físico-químicos, microbiológicos o fisiológicos) (ilustración 2). Es importante agregar que muchos de los proveedores consideran que los fenómenos son mal conocidos; argumentan que los cambios que ocurren en el agua no siempre se pueden detectar con las técnicas analíticas actuales. Entonces, se pueden definir los aparatos *electromagnéticos* para tratamiento del agua como equipos que producen una señal electromagnética de bajo consumo energético, la cual sería capaz de inducir cambios impactantes –pero difíciles de medir en forma directa– en las propiedades del agua...

Cuadro 1. Campos de aplicación de los aparatos para el tratamiento *electromagnético* del agua según las publicaciones en revistas* .

	Magnético	Eléctrico	Electrónico
Industria			
Corrosión y sarro	Baker y Judd (1996) B Powell (1998) B Gehr <i>et al.</i> (1995) I Ferreux <i>et al.</i> (1994) I González C. <i>et al.</i> (1991) E Quintero M. (1995) E Shepard <i>et al.</i> (1995) E	Rosset (1992) B,E,I Marcoen y Lédion (1994) B Leroy <i>et al.</i> (1993) E	Orban y Horsson (1993) E,I Delforge (1994) I Patrick (1997) A Darvill (1995) A Binger (1994) P
Gasolina, concreto y otros	Powell (1998) B Gehr <i>et al.</i> (1995) B		
Salud			
Odontología	Watt <i>et al.</i> (1993) E		
Microbios	Alikhani <i>et al.</i> (1992) B	Patermarakis (1990) I Przybylski (1988) P	Romo y Pitts (1998) E Binger (1994) P Hayakawa (1995) P
Desalinización	Alikhani <i>et al.</i> (1992) B		
Consumo del agua	Powell (1998) B Lin y Yotvat (1990) A Priel (1995) A		
Agricultura			
Riego y salinidad	Noran <i>et al.</i> (1996) E Harari y Lin (1989) E Priel (1995) A Lin y Yotvat (1990) A		Tamari <i>et al.</i> (1998) E
Riego y fertilización	Shepard <i>et al.</i> (1995) B López <i>et al.</i> (1995) E		

* **B** = revisión bibliográfica; **I** = investigación básica; **E** = evaluación técnica; **A** = anécdotas; **P** = patente.

Ilustración 2. Relación entre campos de aplicación y posibles efectos de los aparatos *electromagnéticos* para el tratamiento del agua.

Efectos específicos	Campo de aplicación		
	Sarro y corrosión (Industria)	Calidad del agua (salud y ganadería)	Riego y salinidad (agricultura)
Precipitación de los minerales (Físico-química)	✓	▨	✓
Crecimiento de bacterias y algas (Microbiología)	✓	✓	▨
Respuesta de las plantas y de los animales (Fisiología)	▨	✓	✓

El mercado de los aparatos electromagnéticos parece ser grande. Desde 1966 se han registrado arriba de cien patentes en más de 16 países (Rosset, 1992). Se considera que son de uso común en los países de la ex Unión Soviética (Shepard *et al.*, 1995); en las fincas de Israel (Lin y Yotvat, 1990), y en los Estados Unidos (Powell, 1998). El costo típico de un aparato electromagnético varía de 500 a más de 5,000 dólares (Priel, 1989; Powell, 1998). Para comprobar sus afirmaciones, la mayoría de los proveedores entregan cartas de usuarios satisfechos (Baker y Judd, 1996; Powell, 1998). Son pocos los que brindan documentos oficiales acreditando la eficiencia de sus aparatos, aunque hay que reconocer que esto no implica que no sirvan. En relación con lo anterior se realizó una revisión bibliográfica para intentar contestar a la siguiente pregunta: ¿El tratamiento *electromagnético* del agua es una tecnología comprobada?

Evaluación de aparatos *electromagnéticos*

Tratamiento magnético del agua

Típicamente, los aparatos magnéticos para tratamiento del agua son tubos en los que se somete el agua a un campo magnético (generalmente desde 2.5 hasta 2,500 Gauss); esto se logra por medio de un imán permanente o de una bobina (electroimán de corriente directa). Se han reportado tres diseños básicos: imán dentro de la tubería (González *et al.*, 1991); imán al exterior (Quintero, 1995; López *et al.*, 1995), y bobina (Lin y Yotvat, 1990). Los principales criterios de diseño se relacionan con la forma de producir el campo magnético y la manera en que el agua lo atraviesa (Baker y Judd, 1996; Shepard *et al.*, 1995). Otro criterio es la composición de los imanes (Rosset, 1992; Noran *et al.*, 1996).

En cuanto a las cualidades de los aparatos magnéticos para la industria, existen desacuerdos entre los investigadores. En los trabajos bibliográficos más importantes que se han revisado (Baker y Judd, 1996; Powell, 1998), se cita un 60% de estudios donde no se ha detectado ningún beneficio del tratamiento magnético del agua. Por ejemplo, dos estudios del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (González *et al.*, 1991; Quintero, 1995) no reportan ningún efecto impactante de unidades magnéticas sobre la corrosión, mientras que investigadores de los Estados Unidos (Shepard *et al.*, 1995) y de Francia (Ferreux *et al.*, 1994) notifican experimentos de laboratorio cuyas conclusiones son que el tratamiento magnético reduce de una manera importante la formación de sarro. En relación con problemas de sarro, se publicó un estudio clínico, en el cual odontólogos (Watt *et al.*, 1993) concluyen que el tratamiento del agua reduce la formación de depósitos en los dientes; sin embargo, a pesar de esto, no se han encontrado otras publicaciones en esta área.

En relación con las cualidades de los aparatos magnéticos para la agricultura, se han informado de algunos resultados positivos, aunque existen también ciertos desacuerdos. Shepard *et al.* (1995) citan varios artículos que indican un efecto del agua magnetizada sobre la velocidad de crecimiento de los cultivos (cebada, arroz, tomate); sin embargo, estos mismos autores probaron una unidad magnética, la cual no produjo ningún cambio sobre el comportamiento del agua en el suelo (ascensión capilar y tensión superficial). En Israel, Noran *et al.* (1996) estudiaron la distribución de los fertilizantes en el suelo, a tres distancias de un sistema de riego por goteo; concluyeron que el tratamiento magnético del agua tiene un efecto significativo sobre la infiltración de los solutos. El trabajo de Harari y Lin (1989) se relaciona con la producción de melón. Estos autores solamente indican haber usado "un aparato magnético mejorado"; sin embargo, Lin y Yotvat (1990) sugieren que se trata de un electroimán. Se estudiaron 12 lotes regados por goteo con agua salina (CE = 3.5 dS/m). Una mitad de los lotes se regó con agua tratada por un aparato magnético y la otra mitad, con agua no tratada. Los resultados fueron los siguientes: no hubo ningún cambio en la composición química del agua de riego; se observaron algunas diferencias en la composición del agua del suelo; se obtuvo una producción de melón más alta (aumento del 20%) y de mejor calidad (hojas de las plantas más verdes, 36% más de frutas de buena calidad) en los lotes regados con agua tratada. En México, López *et al.* (1995) estudiaron el crecimiento del rábano en un invernadero. Se consideraron dos factores: fertilización ("sí" o "no") y tratamiento magnético del agua ("sí" o "no").

Bajo un diseño completamente al azar, se asignaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones (16 mace-tas). Pesaron las plantas enteras, sus hojas y sus raíces. Encontraron una sola diferencia significativa ($p = 0.95$): el peso de las raíces de los rábanos regados con agua magnetizada sin fertilizar fue mayor al de los rábanos regados con agua de control con fertilizante (aumen-to de 22%). No dicen por qué no hubo una diferencia significativa entre el tratamiento agua magnetizada con fertilizante y el tratamiento de agua de control sin fertilizar.

Respecto a las cualidades de los aparatos magné-ticos para la salud, no se han encontrado publicacio-nes técnicas recientes sobre el tema. Esto es sorpren-dente, debido a que muchos proveedores de aparatos magnéticos pretenden que sus equipos tienen un efecto sobre el crecimiento de microbios (Alikhani *et al.*, 1992) y que se ha reportado el consumo extensivo del agua magnetizada por el ganado en Israel (Lin y Yotvat, 1990; Gehr *et al.*, 1995). Alikhani *et al.* (1992) citan un estudio en favor de un control del crecimiento de microbios y otros tres en apoyo de un efecto sobre la desalinización del agua.

Tratamiento eléctrico del agua

Los aparatos eléctricos para el tratamiento del agua se caracterizan por dos electrodos en contacto con el agua; al contrario del método tradicional de electrólisis, se aplica una diferencia de potencial eléctrico variable (corriente alterna o descargas de bajo voltaje) entre ellos. Es el caso, por ejemplo, de dos aparatos descritos por Rosset (1992): el Eautonic, donde se aplica una tensión continua con una pequeña compo-nente alterna (40 mV, 100 Hz), y el DES Alpha 2, donde se genera un campo eléctrico parecido a las descar-gas de un condensador.

Desde hace diez años, investigadores de Francia y Bélgica evalúan aparatos eléctricos comerciales para el tratamiento de aguas con problemas de sarro. Ha-blan de *microelectrólisis* al respecto. Rosset (1992) re-porta resultados obtenidos en el laboratorio con los aparatos Eautonic y DES Alpha 2, los cuales sugieren que el agua tratada tiende a formar menos depósitos de sarro. Los comentarios de Rosset (1992) sobre la eficiencia del tratamiento eléctrico son los siguientes: parece depender del tipo de agua (en un cierto rango, sería mejor para aguas que presentan un mayor riesgo de formar sarro); el tratamiento es eficiente desde el momento en que el agua ha sido sometida una sola vez al tratamiento; el comportamiento del agua tratada se mantiene durante más de una semana, y con cier-tos límites, el tratamiento depende poco de la veloci-

dad del agua que atraviesa el sistema. Leroy *et al.* (1993) reportan un estudio de campo con los aparatos Eautonic y Barbotte. Los autores concluyen que el tra-tamiento eléctrico del agua ha sido eficiente después de un año. Sin embargo, sus resultados indican que esta eficiencia varió mucho de un mes al otro y depen-dió en gran medida de la temperatura del agua trata-da; en ocasiones, la eficiencia del tratamiento fue nula.

Tratamiento electrónico extrusivo del agua

Los aparatos electrónicos extrusivos para tratamiento del agua se parecen a los aparatos magnéticos con una bobina. Sin embargo, son más complejos y menos conocidos. Según Rosset (1992), producen una señal electromagnética con una frecuencia de algunos kHz. En este caso, ¿la señal producida por estos aparatos pudiera tener algún efecto remoto sobre el agua? To-dos los documentos revisados en favor de un trata-miento electrónico extrusivo sugieren que el efecto de los equipos es localizado (Orban y Horsson, 1993; Darvill, 1993; Patrick, 1997). Se han reportado dos di-seños básicos: bobina enrollada en un tramo de tube-ría (Rosset, 1992) y dos cables enrollados en una tu-bería de agua (Delforge, 1994).

Tal vez el ancestro del tratamiento electrónico extru-sivo del agua por medio de bobinas es el Hydromag descrito por Darvill (1993): es un electroimán produ-ciendo un campo magnético constante alrededor de una tubería de agua. Sin embargo, Darvill insiste en el hecho de que cuando se genera un campo magnético constante pueden formarse depósitos de sarro en la unidad. Por esta razón explica que un circuito elec-trónico del Hydromag cambia la polaridad de la bobina de vez en cuando (cada minuto). ¿Cuál es la señal producida por los aparatos modernos de esta cate-goría? Rosset (1992) indica que su frecuencia es de algu-nos kHz, lo que corresponde a ondas de radio largas y muy largas. ¿Qué efecto pueden tener estos equipos sobre el agua? Hace algunos años, Rosset no conocía ningún estudio experimental publicado al respecto. Patrick (1997) presenta el Scalewatcher, un sistema constituido de una bobina conectada a un "sistema complejo de modulación de frecuencia". Reporta en forma anecdótica una aplicación satisfactoria sobre el control del sarro en tuberías.

En cuanto al tratamiento electrónico extrusivo del agua por medio de dos cables enrollados en una tube-ría de agua, Delforge (1994) midió la señal entre los cables de este tipo de equipo: es típicamente cuadra-da, su frecuencia está entre 2 y 12 kHz y la diferencia máxima de voltaje se ubica entre 6 y 14 V. En una pa-tente revisada (Przybylski, 1988), el circuito electrónico

coincide con este tipo de señal. Delforge (1994) explica que los cables eléctricos de los aparatos se comportan como las placas de un condensador, el dieléctrico en este caso, siendo la tubería de agua; por esta razón habla de tratamiento *capacitivo* del agua. Presenta mediciones que indican que estos aparatos pueden inducir una diferencia de potencial de 2.5 V entre el centro de una tubería de agua y la pared. Concluye que los aparatos eficientes de este tipo actúan sobre el agua como los aparatos eléctricos: inducen una pequeña corriente eléctrica en el agua. Orban y Horsson (1993) publican el resultado de una prueba de laboratorio realizada con un aparato constituido de cables enrollados, el Water Generator. El resultado de la prueba fue que en el agua tratada por el aparato había pequeños cristales de carbonato de calcio con una forma distinta a los presentes en el agua no tratada.

Tratamiento electrónico intrusivo del agua

Los aparatos electrónicos intrusivos para tratamiento del agua se parecen a los eléctricos, aunque son menos conocidos. Las patentes revisadas (Binger, 1994; Hayakawa, 1995) describen circuitos electrónicos (osciladores) que generan una señal compleja entre sus polos de salida: aquella señal se caracteriza por descargas de alto voltaje (hasta 10 kV) y una serie de frecuencias (que van desde 10 Hz hasta algunos MHz). La idea básica de los inventores es que cada frecuencia y nivel de voltaje tienen un efecto específico sobre las sustancias del agua (iones, partículas, bacterias). Los circuitos se conectan al agua por medio de electrodos. Al respecto, Binger (1994) propone dos opciones: dice que se pueden sumergir dos electrodos, uno conectado al polo negativo de su invención y el otro conectado a una tierra eléctrica; afirma que se puede usar únicamente el electrodo "negativo", cuando la tubería que transporta el agua está aterrizada. Aunque la señal producida por los aparatos electrónicos intrusivos incluye radiofrecuencias, los pocos documentos encontrados sobre estos equipos sugieren –sin justificarlo– que el efecto de estos aparatos sobre el agua es localizado. Por ejemplo, Binger (1994) afirma en su patente que: "el agua se está purificando a medida que fluye a lo largo del electrodo negativo de su invención"; sin embargo, se requiere tener un especial cuidado con tal afirmación; en efecto, una patente no garantiza que un producto hace lo que dice su inventor.

Recientemente se ha publicado una evaluación de uno de estos aparatos, el Zeta Rod (Romo y Pitts, 1998). Los autores hablan de *electrotecnología* al respecto. Se dice que se sumerge un electrodo y que un circuito electrónico genera un campo electrostático de

alto voltaje (30 kV) entre éste y una parte aterrizada de la tubería de agua. ¿Cómo evitar los problemas de corrosión del electrodo? Los autores únicamente indican que se usa un electrodo de cerámica, patentado. ¿Existe alguna distancia óptima entre el electrodo y la tubería aterrizada? No se comenta nada al respecto en el artículo. ¿Cuál es el consumo eléctrico del aparato? No se sabe, aunque no debe de ser fuera de lo normal, ya que no se reporta la necesidad de tener una instalación eléctrica especial. Sin embargo, los autores informan los resultados de una evaluación técnica realizada en los Estados Unidos. El objetivo fue determinar el efecto del Zeta Rod sobre el crecimiento biológico que ocurre en las membranas de ósmosis inversa. En el laboratorio se realizaron dos circuitos donde se recirculaba el agua, uno sin el aparato (testigo) y el otro con el aparato. Se usó agua de la llave con nutrientes para favorecer el crecimiento biológico. En cada circuito se colocaron pedazos de membrana de ósmosis inversa, los cuales se quitaron después de uno, dos y siete días. Se contaron las bacterias presentes en las membranas (tres repeticiones). Después de un día, hubo una diferencia significativa ($p = 0.95$) entre el testigo y el tratamiento; sin embargo no hubo ninguna diferencia significativa después de dos y siete días; los autores agregan que se obtuvieron poblaciones bacterianas típicas de una agua negra. Entonces, ¿cómo usar el aparato si no es eficiente después de dos días en el laboratorio?

En México, Tamari *et al.* (1998) evaluaron el impacto del aparato denominado "ESP (precipitador electrostático)" sobre la producción agrícola, cuando el agua que se usa para regar tiene un alto contenido de sales. Estos autores no lograron conseguir información técnica precisa sobre el ESP por parte de su proveedor; aun así, es probable que sea un equipo parecido al descrito por Binger (1994), con la opción de un sólo electrodo sumergido en una tubería de agua. Se dividió una parcela en varios lotes, donde se sembraron distintos cultivos (cebolla, zanahoria, maíz). Los cultivos se regaron con el agua salina de un pozo ($CE > 3.0$ dS/m). Sobre todo, se hicieron las siguientes observaciones a lo largo del estudio: los lotes de cebolla se caracterizaron por un síntoma típico de un problema de salinidad (punta de las hojas amarillas), lo cual no se observó en la cebolla no regada que estaba creciendo entre los lotes; en todos los lotes de zanahoria, el porcentaje de germinación fue muy bajo y las plantas pequeñas; todos los lotes de maíz fueron afectados por plagas y por una helada, sin que se viera un mejor aspecto de las plantas cuando se compararon con el maíz no regado que estaba creciendo entre los lotes. En forma general, los resultados obtenidos fueron

acordes a lo esperado sin el uso del ESP bajo las condiciones de salinidad del agua usada para regar.

Investigación sobre el tratamiento electromagnético del agua

Posible efecto de un campo electromagnético sobre la precipitación de minerales

Se ha intentado explicar sobre todo cómo un campo magnético constante o descargas eléctricas pequeñas pueden modificar la precipitación de los minerales. Baker y Judd (1996) analizaron más de cincuenta trabajos de investigación relacionados con el posible efecto de un campo magnético sobre aguas duras. Citan estudios realizados en favor de un efecto, como el de Gehr *et al.* (1995), que se hizo en condiciones de laboratorio muy controladas. Reportan también contradicciones e insisten en el hecho de que los resultados de los estudios pueden ser ambiguos por falta de un estricto control de las condiciones experimentales. Powell (1998) cita dos estudios, en donde se concluye que un imán puede interactuar químicamente (disolución) o hidráulicamente con el agua.

Baker y Judd (1996) concluyen que, hasta la fecha, no se ha establecido una teoría consistente con los múltiples resultados de la literatura. Por ejemplo, el tratamiento parece adelantar o suprimir las primeras etapas de la precipitación del sarro, dependiendo de la composición del agua. Sin embargo, parece que actualmente hay una convergencia de las teorías en pro del control electromagnético del sarro: se piensa que el tratamiento favorece el desarrollo de *gérmenes* cristalinos grandes, los cuales tienen menor capacidad para adherirse sobre la pared de las tuberías (estos *gérmenes* son los pequeños cristales en suspensión, los cuales son el origen de la formación de depósitos), por lo que se quedarían en suspensión y se podrían eliminar con facilidad (Marcoen y Lédion, 1994). Entonces, las teorías suponen que se está controlando el proceso de formación de los gérmenes cristalinos (*nucleación*). Si fuera el caso, hay que recordar que la nucleación es un fenómeno complejo e inestable (Stumm y Morgan, 1981). Se puede preguntar qué especificidad tendría un campo electromagnético sobre este proceso. Al respecto, los estudios (Baker y Judd, 1996; Ferreux *et al.*, 1994; Leroy *et al.*, 1993; Gehr *et al.*, 1995) indican que la eficiencia del tratamiento electromagnético del agua depende en gran medida de parámetros tales como la composición del agua, la temperatura, la velocidad del agua y el tiempo.

Posibles efectos fisiológicos del agua electromagnetizada

En relación con el control de los microbios presentes en el agua, Patermarakis y Fountoukidis (1990) citan trabajos que han probado diversas señales eléctricas de corriente alterna o directa. En su trabajo, los autores sometieron muestras de agua muy contaminadas por coliformes y streptococos a un campo eléctrico de corriente directa (50 a 100 V), cuya polaridad estaba alternando cada treinta segundos. Se usaron electrodos de titanio. Durante los experimentos, se observaron reacciones químicas típicas de una electrólisis. Fue posible reducir de forma significativa el número de bacterias. Los autores proponen diversos mecanismos que pudieran explicar sus resultados; sobre todo, aclaran que las reacciones que ocurren durante un electrólisis pueden producir compuestos tóxicos para las bacterias. Sin embargo, se observó que la eficiencia del tratamiento estaba aumentando con su duración (de cinco hasta treinta minutos) y con la densidad de la corriente eléctrica (de 2 hasta 5 mA/cm²). Por lo tanto, Patermarakis y Fountoukidis (1990) concluyen que su trabajo no permite necesariamente desarrollar una aplicación industrial de bajo consumo energético.

A pesar de que muchos proveedores de aparatos electromagnéticos pretenden que sus equipos son útiles para tener cultivos más resistentes y un ganado más sano, no hemos encontrado ninguna investigación sobre la respuesta de una planta o de un animal a la absorción de agua *electromagnetizada*.

Discusión

Todavía no se tiene una teoría consistente que explique el posible efecto del tratamiento electromagnético del agua. La literatura sugiere que este problema es complejo, pues tiene que ver con diversos temas al mismo tiempo: fisicoquímica, microbiología, fisiología. Sin embargo, existen varios proveedores en el mercado que pretenden que sus equipos son eficientes para tratar el agua de forma *electromagnética*. Si fuera cierto, podría ser una solución a importantes problemas agrícolas, de salud e industriales. Por esta razón, es una responsabilidad de los institutos técnicos tratar de comprobar lo que dicen los vendedores. Desafortunadamente, si bien se han evaluado varios aparatos comerciales, los resultados obtenidos no han permitido alcanzar un acuerdo en cuanto a la utilidad del tratamiento electromagnético del agua. Tres factores han complicado este esfuerzo:

- A pesar de su diversidad, casi nunca se publican datos básicos sobre el diseño de los aparatos probados porque son secretos de fabricación (Baker y Judd, 1996). A veces, ni siquiera se menciona el origen del producto. Por ejemplo, Shepard *et al.* (1995) únicamente dicen haber evaluado una "unidad magnética más pequeña, pero similar a la que se está usando en el terreno de golf de Baton Rouge".
- Existen desacuerdos sobre los protocolos de evaluación. Varios estudios oficiales han sido criticados por el hecho de que los aparatos se han probado en condiciones artificiales de laboratorio (Baker y Judd, 1996); sobre todo, se ha comentado el hecho de que las pruebas han sido de corta duración (algunos días), mientras que el efecto de los aparatos sobre el agua no es inmediato; también se ha dicho que los aparatos son más eficientes para tratar las aguas de uso común, en lugar de las soluciones preparadas en el laboratorio.
- A veces, proveedores y técnicos "juegan al gato y al ratón" (Tamari *et al.*, 1998; Powell, 1998): el proveedor manda publicidad que habla de un solo aparato, de fácil uso y versátil; para convencer, se refiere a teorías complicadas y usa su propia jerga. No entrega documentos oficiales, sino reportes poco detallados. Al inicio de una evaluación, el proveedor no proporciona toda la información necesaria. Después, entrega datos más técnicos, los cuales sugieren que su equipo no ha sido bien evaluado. Tiene argumentos para defender lo que era ambiguo en la documentación vieja. Agrega que no vende un solo aparato, sino varios modelos, cada uno con sus particularidades. Así, sugiere que se hizo una evaluación limitada de su tecnología. Finalmente, el proveedor solicita más evaluaciones, de preferencia en varios lugares.

Si se pretende conocer mejor la eficiencia de los aparatos electromagnéticos comerciales, es necesario buscar una solución a estos problemas de evaluación técnica; debido a la falta de información sobre los mismos, existe el riesgo de tener que evaluar un gran número de ellos y si no se acepta la posibilidad de hacer evaluaciones en el laboratorio, hay el riesgo de tener que hacer estudios de larga duración y en condiciones difíciles de controlar. Desde el punto de vista práctico, nos parece que el principal problema no es tanto enterarse de lo que hay *dentro* de los aparatos, sino saber si es realmente indispensable evaluar los equipos en el campo. En agronomía no es la primera vez que surge una duda sobre la representatividad de los estudios de laboratorio respecto a la complejidad del campo. No

se puede contestar al respecto si no se tiene –en algún momento– una teoría precisa sobre los fenómenos que se están estudiando (Yaalon, 1994). Por lo anterior, hay que ser pragmático: hasta la fecha no hay ninguna justificación seria para impedir la evaluación de los aparatos electromagnéticos en un laboratorio. Los proveedores que no aceptan esta idea deben financiar estudios independientes para comprobar sus afirmaciones. Los proveedores que aceptan una evaluación de sus productos por los institutos técnicos tienen que colaborar con ellos para elaborar protocolos experimentales sencillos y racionales:

- Al inicio es necesario alcanzar un acuerdo sobre la forma de preparar agua tratada y agua no tratada (testigo). Se recomienda usar agua de la llave en lugar de una solución preparada con agua destilada; típicamente se dice que el agua "tratada" se conserva más de un día (Baker y Judd, 1996; Shepard *et al.*, 1995; Romo y Pitts, 1998).
- También es necesario ponerse de acuerdo sobre la duración de las pruebas. La literatura indica que son suficientes los siguientes intervalos de tiempo: uno o dos meses para verificar el efecto de los aparatos sobre las plantas (López *et al.*, 1995) y el suelo (Shepard *et al.*, 1995); algunas semanas para verificar el efecto sobre los microbios (Romo y Pitts, 1998), y algunos meses para verificar su impacto sobre el sarro (Shepard *et al.*, 1995) y la corrosión (González *et al.*, 1991).

Conclusión

A juicio de los autores, el tratamiento *electromagnético* del agua (por medio de imanes, bobinas, electrodos, antenas) aún no es una tecnología comprobada.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional del Agua su apoyo y autorización para difundir los resultados del proyecto HC -9717, que se realizó bajo su patrocinio.

Recibido: 13/03/2000
Aprobado: 15/08/2000

Referencias

- Alikhani, Z., T. Kudra, G.S.V. Raghavan, *Investigation of Saline Water Conversion for Community Water Supply Using Electromagnetic Treatment*, informe técnico sometido al Brace Research Institute, Department of Chemical Engineer, McGill University, Canadá, 1992, 21 pp.

- Baker, J.S. y S.J. Judd, "Magnetic Amelioration of Scale Formation", *Water Resources*, vol. 30, 1996, pp. 247-260.
- Binger, L., "Treatment of Water with Static and Radio Frequency Electromagnetic Fields", *US Patent*, núm. 5326446, 1994.
- Darvill, M., "Magnetic Water Treatment", *Water Waste Treatment*, núm. 40, julio de 1993.
- Delforge, G., "Mode d'action d'un appareil anti-incrustation à action physique", *Tribune de l'Eau*, núm. 567, 1994, pp. 9-10.
- Ferreux, M., A. Vidonne y F. Remy, "Action d'aimants permanents sur des eaux entartrantes", *Tribune de l'Eau*, núm. 567, 1994, pp. 31-36.
- Gehr, R., Z.A. Zhai, J.A. Finch y S.R. Rao, "Reduction of soluble mineral concentrations in CaSO₄ saturated water using a magnetic field", *Water Resources*, vol. 29, 1995, pp. 933-940.
- González, A.A. y J. Izurieta, *Informe final sobre la evaluación de la unidad hidromagnética UHM-01*, Informe final del proyecto UC-9104, anexo 3, IMTA, Jiutepec, México, 1991, 12 pp. más anexos.
- Harari, M. e I. Lin, "Growing Muskmelons with Magnetically Treated Water", *Water and Irrigation Review*, vol. 9, 1989, pp. 4-7.
- Hayakawa, H., "Process and Apparatus for Improving Quality of Water", *US Patent*, núm. 5435894, 1995.
- Leroy, P., J. Lédion, M. Ferreux y J. Linassier, "Détermination des effets et essais sur sites de procédés antitarte", *Memorias del Workshop Traitement Antitarte des Eaux par des Procédés Physiques et Electrochimiques*, ENSEE de Grenoble, St Martin d'Herès, Francia, 1993, pp. 37-47.
- Lin, I.J. y J. Yotvat, "Exposure of Irrigation and Drinking Water to a Magnetic Field with Controlled Power and Direction", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 83, 1990, pp. 525-526.
- López, J.M., R. Quintero, J. Pérez y J.J. Almaraz, "Agua magnetizada con Hidro-Jet y rendimiento del rábano 'Bolita'", *Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, Tovar, S., V. Ordaz y L. Quintero (editores), Ciudad Victoria, México, 1995, pág. 125.
- Marcoen, J.M. y J. Lédion, "Les traitements physiques des eaux douces", *Tribune de l'Eau*, vol. 567, 1994, pp. 3-4.
- Noran, R., U. Shanu, I. Lin, "The Effect of Irrigation with Magnetically Treated Water on the Translocation of Minerals in the Soil", *Magnetic and Electrical Separation*, vol. 7, 1996, pp. 109-122.
- Orban, F. y W. Horsson, "Traitement capacitif des eaux", *Memorias del Workshop Traitement Antitarte des Eaux par des Procédés Physiques et Electrochimiques*, ENSEE de Grenoble, St Martin d'Herès, Francia, 1993, pp. 67-71.
- Patermarakis, G. y E. Fountoukidis, "Disinfection of Water by Electrochemical Treatment", *Water Resources*, vol. 24, 1990, pp. 1491-1496.
- Patrick, D.K., "Electronic Water Treatment Reduces Scale in Induction Furnace Cooling Systems", *Industrial Heating*, septiembre de 1997, pp. 109-110.
- Powell, M.R., "Magnetic Water and Fuel Treatment: Myth, Magic, or Mainstream Science?", *Skeptikal Inquirer*, enero-febrero de 1998, pp. 27-31 y 63.
- Priel, A., "Treating Water with Magnets Increases Yield", *World Water*, septiembre de 1989, pp. 39-41.
- Przybylski, A., "Automatic Water Purifier", *US Patent*, núm. 4719018, 1988.
- Quintero, O., *Evaluación en el laboratorio de un acondicionador magnético como una aplicación específica en el tratamiento de agua*, tesis de ingeniero químico, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México, 1995, 107 pp.
- Romo, R. y M. Pitts, "Application of Electrotechnology For Removal And Prevention Of Reverse Osmosis Biofouling", ponencia 84d, *Memorias del AIChE 1998 Spring Meeting*, Nueva Orleans, 1998.
- Rosset, R., "Les procédés physiques antitarte: mythe ou réalité?", *L'Actualité Chimique*, enero-febrero de 1992, pp. 125-148.
- Shepard, D.P., B. Edling y R. Reimers, "Magnetic Water Treatment", *Golf Course Management*, vol. 63, 1995, pp. 55-58.
- Stum, W. y J.J. Morgan, *Aquatic Chemistry*, J. Wiley & Sons, Nueva York, 1981.
- Tamari, S., V. Arroyo y N.H. García, *Evaluación técnica de un aparato denominado "precipitador electrostático ESP"*, informe del proyecto HC-9717, IMTA/CNA, Jiutepec, México, 1998, 154 pp.
- Watt, D.L., C. Rosenfelder y C.D. Sutton, "The Effect of Oral Irrigation with a Magnetic Water Treatment Device on Plaque and Calculus", *J. Clinical Periodontol.*, vol. 20, 1993, pp. 314-317.
- Yaalon, D.H., "On models, Modeling, and Process Understanding", *Soil Science Society of America Journal*, núm. 58, 1994, pág. 1276.

Abstract

Tamari, S., V.M. Arroyo Correa, N.H. García, M. Paredes Vallejo & C.H. Castro González, "Electromagnetic Water Treatment: is it a Validated Technology?", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, vol. XVI, num. 3, pages 47-55, July-September, 2001.

Since the start of the century, several kinds of devices (magnets, coils, electrodes, antennas) have been developed to treat water electromagnetically. Compared to traditional methods of water treatment, such devices are said to be low-cost, easy to use, and maintenance free. Suppliers commonly recommend their use for many applications, such as crop irrigation, water supply for livestock and scale control in pipes. How can these devices be able to solve so different problems? According to a review of the available literature, the efficiency of the electromagnetic devices that are sold to treat water is questionable. Until now, the electromagnetic water treatment cannot be said to be a verified technology.

Key words: water treatment, magnetic devices, electronic devices, irrigation, salinity, scale.

Dirección institucional de los autores:

Serge Tamari
Víctor M. Arroyo Correa
Nahun H. García

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Morelos, México
Correo electrónico: tamari@tlaloc.imta.mx

Mario Paredes Vallejo

Distrito de Riego 014
Av. Reforma y Calle L
21100 Mexicali, Baja California, México

Carlos H. Castro González

Módulo de Riego 1
Félix Contreras 708
83449 San Luis R.C., Sonora, México