

# Problemas del agua potable: El perclorato

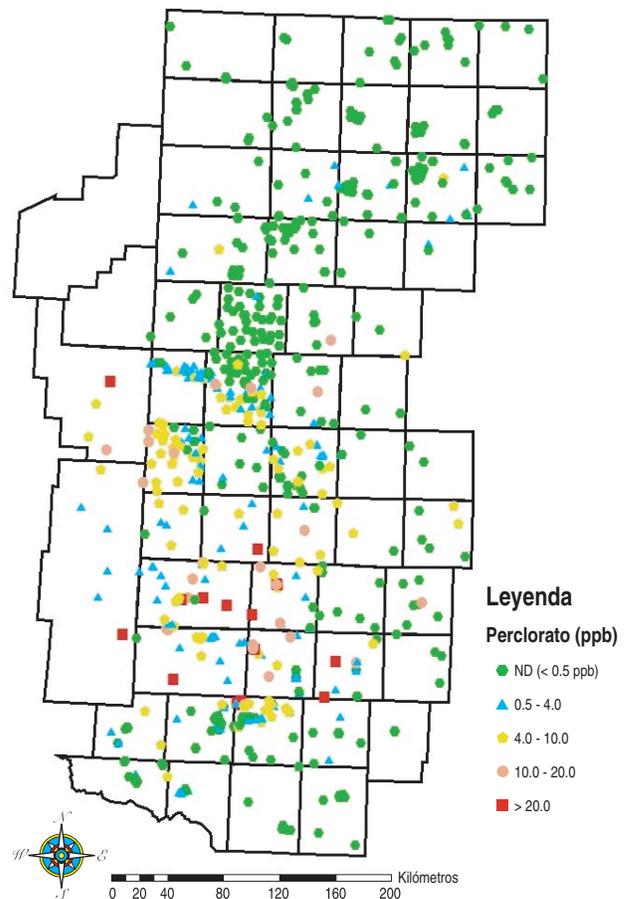
Monty C. Dozier, Profesor Asistente y Especialista de Extensión,  
Rebecca H Melton, Asistente de Extensión, Extensión Cooperativa de Texas,  
El Sistema Universitario Texas A&M

Michael F. Hare, Especialista Principal en Recursos Naturales, División de Programas de Pesticidas,  
Departamento de Agricultura de Texas

Dana O. Porter, Profesora Asociada e Ingeniera Agrícola de Extensión,  
Bruce J. Lesikar, Profesor e Ingeniero Agrícola de Extensión, Extensión Cooperativa de Texas,  
El Sistema Universitario Texas A&M

El perclorato es un compuesto químico que se compone de un átomo de cloro y cuatro átomos de oxígeno. El perclorato que se encuentra en sistemas de agua puede ocurrir naturalmente o ser el producto de la actividad humana. El perclorato se mueve fácilmente a través de los sistemas de agua y puede durar por muchas décadas bajo condiciones típicas en aguas subterráneas y superficiales. Las fuentes de contaminación de perclorato resultantes de la actividad humana incluyen fertilizantes químicos y varias otras actividades químicas e industriales, tales como la manufactura de perclorato de amonio, un componente óxido y el ingrediente principal en el propulsor sólido para cohetes, misiles y juegos pirotécnicos. Las sales de perclorato se usan a gran escala como un componente de los infladores de bolsas de aire para automóviles.

El perclorato fue descubierto en varios sitios de producción y en fuentes de agua de pozo y de agua potable en abril, 1997 gracias al desarrollo de un método de detección de bajo nivel (cuatro ppb). Las liberaciones de perclorato han sido comprobadas en por lo menos 25 estados a través de los Estados Unidos. La agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) y otras agencias federales, estados, proveedores de agua e industrias ya están tratando la contaminación de perclorato activamente a través del monitoreo de su presencia en agua potable y en agua proveniente de otras fuentes. La extensión total de la contaminación por perclorato no se conoce en la actualidad. La Figura 1 ilustra los resultados de un muestrero de agua proveniente



**Figura 1. Distribución de las detecciones de perclorato en pozos de agua (Jackson, et. al. 2004.)**

de pozos de las llanuras altas de Texas que condujo la Universidad de Texas Tech para identificar las concentraciones de perclorato en aguas subterráneas (Figura 1.)

Aunque se ha estimado que el potencial de contaminación por perclorato afecta el suministro de agua potable de por lo menos 12 millones de personas en los Estados Unidos, el efecto de una exposición crónica y de baja dosis todavía no se comprende por completo. Actualmente, no hay un reglamento nacional para el agua potable (NPDWR por sus siglas en inglés) para el perclorato. El perclorato se colocó en la lista de candidatos de contaminantes del agua en la Oficina del Agua en marzo de 1998, con una nota que indica que se requiere de investigación e información adicional antes de que puedan hacerse determinaciones reglamentarias.

## ¿Cuáles son los efectos potenciales de salud del perclorato?

Muchas personas están expuestas al perclorato por medio de sus dietas, porque el perclorato se encuentra en muchos productos agrícolas. Por ejemplo, la administración de alimentos y drogas (FDA por sus siglas en inglés) descubrió que la lechuga iceberg cultivada en Belle Glade, Florida, contenía 71.6 ppb de perclorato. También descubrió que algunas de las lechugas de hojas rojas cultivadas en California contenían 52 ppb de perclorato.

Debido a que existe alguna controversia relacionada con los efectos ambientales del perclorato, se le pidió al consejo nacional de investigación (NRC) que evaluara los posibles efectos adversos a la salud causados por la ingestión del perclorato. En un informe del 2004, el NRC confirmó que el perclorato bloquea la asimilación de yoduro por el tiroides. El yoduro es un componente esencial en dos hormonas producidas por el tiroides. Estas hormonas tienen influencia en el crecimiento y desarrollo de los fetos, bebés y niños pequeños. Esto hace que los fetos y recién nacidos sean especialmente sensitivos a la ingestión de percloratos. Las personas con problemas del tiroides reducen la producción de hormonas de esa glándula y las personas con deficiencias de yoduro se consideran potencialmente sensitivas a la ingestión del perclorato. El cambio a largo plazo en hormonas producidas por el tiroides puede resultar en hipertrofia tiroidal e hiperplasia y posiblemente en hipotiroidismo en individuos que no pueden compensar el incremento en la ingestión de yoduro en el tiroides. El NRC (2005) indica que afortunadamente el cuerpo tiene un mecanismo de control eficiente para com-

pensar la deficiencia de yoduro, por lo que probablemente se requeriría una reducción en la ingestión de yoduro de por lo menos el 75% durante varios meses o un período más largo antes de que sucedieran efectos de salud adversos. El NRC concluyó "... la evidencia epidemiológica disponible no es consistente con una asociación causal entre el perclorato y el hipotiroidismo congénito, los cambios en la función del tiroides en recién nacidos de peso normal y de término completo, o el hipotiroidismo u otros trastornos del tiroides en adultos."

Los estudios de la salud del tiroides de tanto los recién nacidos como los adultos han concluido que el estar expuesto a los niveles actuales de perclorato ambiental no parece producir efectos dañinos. Las agencias reguladoras y otros grupos ahora están tratando de determinar un nivel seguro de perclorato en el agua. Siguiendo las recomendaciones del NRC (informe del 2005), la agencia para la protección ambiental (EPA) ha establecido una dosis como referencia (RfD) de 0.007 mg/kg por día. Una RfD es un estimado de la exposición oral diaria máxima que posiblemente no representa efectos adversos para la salud de un individuo durante su vida. La RfD del perclorato se derivó de un estudio en el que la dosis máxima de perclorato de 0.007 mg/kg por día dada a voluntarios humanos no inhibió la asimilación de yoduro. Un factor de incertidumbre de 10 se aplica a la dosis para compensar por varios efectos en la población sensitiva, resultando en una RfD final de 0.007 mg/kg por día. Esta RfD puede usarse para calcular los niveles de acción. Por ejemplo, una persona que pesa 154 lbs (70Kg) y que bebe 2 litros de agua al día puede consumir agua conteniendo hasta 24.5 microgramos/L (ppb) de perclorato sin efectos adversos. El nivel de advertencia de perclorato en Texas se actualizó en el 2005 determinándose como 17 ppb, aunque el nivel de advertencia anterior de 4 ppb todavía se usa en sistemas públicos de agua. Para mayor información sobre este tema, visite: <http://www.epa.gov/safewater/ccl>

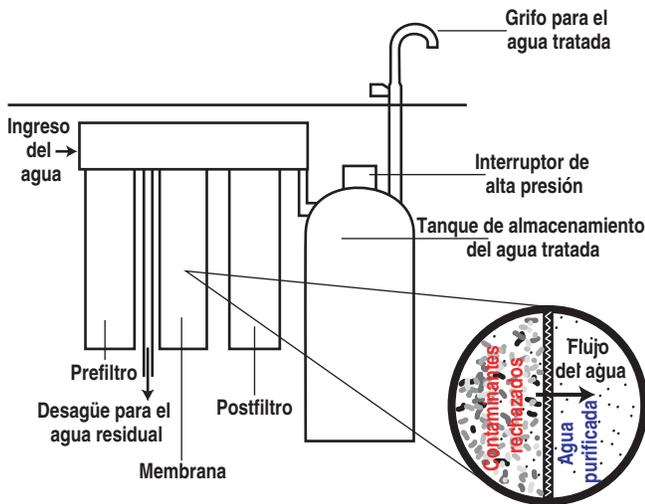
## ¿Cómo puede remover el perclorato del agua de pozo?

Los propietarios de pozos pueden tratar su agua para remover el perclorato usando osmosis inversa o procesos de intercambios de iones.

### Osmosis inversa (RO)

Un equipo de osmosis inversa (RO) opera pasando agua bajo presión por una membrana semipermeable. La membrana permite que el agua pase a través de la misma pero previene que el perclorato pase. La mayoría de unidades RO van a tener:

- Un prefiltro para remover sólidos y prolongar la vida de la membrana.
- Un filtro de carbón activado para remover olores, sabores y cloro.
- Una membrana semipermeable por la cual pasa el agua bajo presión.
- Un tanque para almacenar el agua tratada.
- Una conexión de desagüe para desechar el agua residual.



**Figura 2. Unidad de tratamiento de osmosis inversa (Adaptado de Kneen et al., USEPA, 2003.)**

Sin embargo, las unidades de RO resultan en una baja recuperación de agua. La mayoría de las unidades están diseñadas para recuperar de 20 a 30 por ciento del agua procesada. Por ejemplo, si se tratan 100 galones de agua, solamente de 20 a 30 galones van a ser útiles; el resto del agua se enviará a un sistema de tratamiento de agua residual. Los propietarios de casa que usan un tratamiento de agua residual en sus casas deben considerar el impacto que esta carga adicional va a tener en sus sistemas. Debido a su ineficiencia, las unidades de RO típicamente se usan para tratar agua para beber y cocinar. El tamaño del sistema debe de basarse en el número de galones usados por día para estos propósitos. La producción típica de una unidad de RO varía de 5 a 15 galones por día.

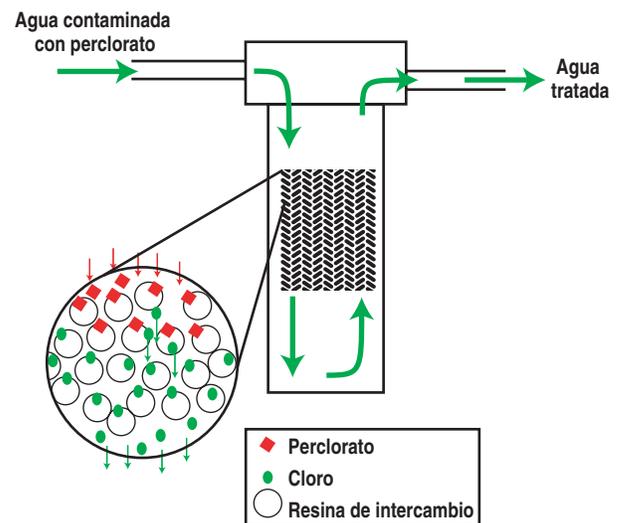
Las unidades de RO típicamente cuestan entre \$300 y \$1000. La instalación de la unidad toma de 30 a 60 minutos asumiendo que no son necesarias grandes modificaciones de plomería. La membrana semipermeable de la unidad de RO debe de colocarse de acuerdo al calendario recomendado por el fabricante. Las nuevas membranas cuestan aproximadamente \$150 y el prefiltro de carbón cuesta típicamente entre \$15 y \$50. Dependiendo del sis-

tema, y basándose en una vida útil de 10 años, el costo de la producción de agua varía entre \$0.05 y \$0.10 por galón, sin contar los costos del agua gastada o los costos de tratar el agua rechazada, si acaso existen.

### Intercambio de iones

El intercambio de iones (átomos cargados) remueve el perclorato de un suministro de agua pasando la misma bajo presión por una o más columnas empacadas con una resina de intercambio. A medida que el perclorato se mueve por la resina, un ión es liberado de la resina y el perclorato toma su lugar porque el ión de perclorato es atraído más fuertemente al sitio de intercambio de resina que el ión que ha sido reemplazado. Una vez que todos los iones originales han sido reemplazados, se considera que la columna está saturada y ésta debe de ser reemplazada. La resina usada debe de desecharse como un desecho peligroso. No es práctico tratar de regenerar la resina porque es muy difícil removerle el perclorato.

Las resinas diseñadas para remover el perclorato son especialmente efectivas en las unidades de intercambio de iones. Las resinas selectivas de nitrato también remueven el perclorato efectivamente. Las resinas selectivas pueden prevenir el vaciamiento rápido o "dumping" del perclorato a medida que la cama de iones alcanza la saturación. Este vaciamiento se refiere cuando existen concentraciones más altas de perclorato en el agua efluente en comparación al agua de la fuente de suministro y ocurre especialmente cuando el agua de la fuente de suministro contiene sulfatos. Las resinas desarrolladas para un intercambio preferencial de



**Figura 3. Proceso de Intercambio de Iones ( Adaptado de Robillard et. al., 2001.)**

nitrito previenen que los sulfatos desplacen o vacíen el perclorato a medida que la cama de resina alcanza la saturación.

El intercambio de iones quizá no sea una buena opción para tratar el perclorato en fuentes de agua que contienen grandes cantidades de sulfatos o de sólidos disueltos totales (TDS). La presencia de estos constituyentes requiere de un reemplazo frecuente de la resina, incrementando drásticamente los costos de operación del sistema. Si el agua de la fuente requiere tratamientos para los nitratos y para el perclorato, se debe usar un sistema de varias columnas. La primera columna de intercambio de iones va a remover el perclorato y la resina usada va a tener que ser reemplazada. Las columnas subsiguientes a la primera en la serie van a remover el nitrito y estas columnas de resina pueden ser regeneradas.

Una unidad de intercambio de iones cuesta entre \$400 y \$1500. Se estima que los costos de operación y mantenimiento son de \$0.02 por galón de agua tratada.

## ¿Cómo debe un propietario de pozo seleccionar una unidad de tratamiento?

Una sola tecnología no va a tratar todas las sustancias contaminantes del agua. Antes de seleccionar una opción de tratamiento, los propietarios de pozos deben de hacerle pruebas a la fuente de agua usando un laboratorio calificado para determinar la calidad del agua. Una lista de laboratorios certificados por la Comisión Tejana para la Calidad Ambiental (TCEQ por sus siglas en inglés) para realizar pruebas al agua potable puede encontrarse en: <http://www.tnrc.state.tx.us/permitting/waterperm/pdw/chemlabs.pdf>

Una vez que haya determinado las sustancias presentes en sus suministros de agua, haga una investigación de los diferentes productos existentes para seleccionar uno que sea apto para tratar estas sustancias. Si necesita varios productos de tratamiento de agua para remover los contaminantes de su agua, por favor recuerde que debe investigar cómo estos diferentes tratamientos trabajan en conjunto. Por ejemplo, mientras que el proceso de intercambio de iones puede usarse para tratar el perclorato y el nitrito, un sistema debe de acondicionarse especialmente para tratar ambos. Compare los costos iniciales, los costos y requerimientos de operación y mantenimiento, la eficacia de remoción de contaminantes, las garantías, la vida útil del sistema y la reputación de la empresa. Antes de tomar la decisión final, también considere la cantidad de agua residual o los desechos sólidos generados por el sistema.

Los sistemas de tratamiento de agua para el hogar no están regulados por leyes estatales o federales, pero

algunas organizaciones nacionales ofrecen certificaciones de los productos. La asociación para la calidad del agua (WQA por sus siglas en inglés) ofrece un programa de validación y lineamientos para la publicidad. Los productos que reciben el sello dorado de validación de la WQA están certificados por su rendimiento mecánico pero no por su habilidad para remover contaminantes dañinos. La fundación nacional de sanidad (NSF por sus siglas en inglés) certifica la habilidad de los productos para remover contaminantes que afectan a la salud. Una lista de unidades de tratamiento de agua potable con la certificación de la NSF puede encontrarse en Internet en: <http://www.nsf.org/Certified/DWTU/>. Para consultas acerca de la certificación de un producto en particular, comuníquese con la línea de emergencia del consumidor de la NSF al 877-8-NSF-HELP, envíe un correo electrónico a [info@nsf.org](mailto:info@nsf.org) o escriba a NSF Internacional, P.O. Box 130140, 789 N. Dixboro Road, Ann Arbor, MI 48113-0140. Un número de registro de la EPA en un producto indica simplemente que el producto está registrado en la EPA; este número de registro no implica una aprobación o certificación de la EPA.

## ¿Cómo pueden los dueños de pozos mantener sus sistemas en marcha?

No importa qué tecnología de tratamiento usted use, se requiere darle mantenimiento a su sistema para que funcione adecuadamente, y el primer paso para la operación y mantenimiento apropiado es una instalación apropiada. Los instaladores calificados:

- Tienen seguro de accidentes contra daño a la propiedad durante la instalación.
- Son accesibles para atender llamadas solicitando de sus servicios.
- Aceptan la responsabilidad por ajustes menores después de la instalación y
- Dan un presupuesto válido de los costos de instalación.

Después de la instalación del sistema, se debe dar mantenimiento apropiado a las unidades de tratamiento de agua. Las membranas de RO y las resinas del intercambio iónico deben de ser reemplazadas cuando sea necesario. Todos los sistemas deben de ser operados conforme las especificaciones del fabricante. El tratar más agua en un cierto período de tiempo de la que el sistema está diseñado puede bajar la efectividad del tratamiento y perjudicar la calidad del agua tratada. El agua que sale de las unidades de tratamiento debe de ser examinada regularmente para verificar el funcionamiento apropiado del sistema.

## Fuentes

- Burge, S., and Halde, R. 1999. *Nitrate and Perchlorate Removal from Groundwater by Ion Exchange*. Livermore, CA: Lawrence Livermore National Laboratory. Disponible de: <http://www.cluin.org/download/contaminantfocus/perchlorate/LLNL1.pdf>.
- California Environmental Protection Agency (CEPA). 2004. *Perchlorate Contamination Treatment Alternatives*. Sacramento, CA: Office of Pollution Prevention and Technology Development, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency. Disponible de: [http://www.dtsc.ca.gov/ScienceTechnology/TD\\_REP/Perchlorate-Alternatives.pdf](http://www.dtsc.ca.gov/ScienceTechnology/TD_REP/Perchlorate-Alternatives.pdf).
- Greer, M.A., Goodson, G., Pleuss, R.C., Greer, S.E. 2002. Health effect assessment for environmental perchlorate contamination: the dose response for inhibition of thyroidal radioiodide uptake in humans. *Environ. Health Perspect.* 110:927-937.
- Hassinger, E., Doerge, T.A., and Baker, P.B. 1994. *Water Facts: Number 7 Choosing Home Water Treatment Devices*. Tucson, AZ: Arizona Cooperative Extension. Disponible de: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az9420.pdf>.
- Herman, G.M., and Jennings, G.D. 1996. *Home Drinking Water Treatment Systems*. North Carolina Cooperative Extension Service. Disponible de: <http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C01/C01Links/www2.ncsu.edu/bae/programs/extension/publicat/wqwm/he419.html>.
- Jackson, A. W., Rainwater, K., Anderson, T., Lehman, T., Tock, R., Rajagopalan, S. and Ridley, M. 2004. *Distribution and Potential Sources of Perchlorate in the High Plains Region of Texas*. Lubbock, TX: Texas Tech University Water Resources Center, Lubbock Texas. Disponible de: <http://www.waterresources.ttu.edu/final%20report.pdf>
- Kamrin, M., Hayden, N., Christian, B., Bennack, D., and D'Itri, F. 1990. *A Guide to Home Water Treatment*. East Lansing MI: Michigan State University Extension. Disponible de: <http://www.gem.msu.edu/pubs/msue/wq21p1.html>.
- Kneen, B., Lemley, A., and Wagenet, L. 1995. *Water Treatment Notes: Reverse Osmosis treatment of Drinking Water*. Ithaca, NY: Cornell University Cooperative Extension. Disponible de: <http://www.cce.cornell.edu/factsheets/wq-fact sheets/home/FSpdf/Factsheet4.pdf>
- NRC. 2005. *Health implications of Perchlorate Ingestion*. National Research Council of the National Academies. National Academies Press. Washington, D.C.
- Lahlou, M.Z. 2003. *Point-of-Use/Point-of-Entry Systems*. Morgantown, WV: National Drinking Water Clearinghouse. Disponible de: [http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/SP03/TB\\_Point\\_of\\_Use.html](http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/SP03/TB_Point_of_Use.html).
- Robillard, P.D., Sharpe, W.E., and Swistock, B.R. 2001. *Water Softening*. University Park, PA: Penn State Cooperative Extension. Available at: <http://www.sfr.cas.psu.edu/water/water%20softening.pdf>.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2003. *Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbook for Small Systems*. EPA 816-R-03-014. Washington D.C.: USEPA Office of Water.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2005. *Perchlorate e-factsheet*. Washington D.C.: USEPA Office of Water. Disponible de: <http://www.epa.gov/safewater/ccl/perchlorate/perchlorate.html>



Esta publicación fue financiada por la Iniciativa de la Cuenca del Río Grande, administrada por el Instituto de Recursos de Agua de Texas del Servicio de Extensión Cooperativa de Texas, con fondos proveídos a través de una concesión del Servicio Estatal Cooperativo de Investigación, Educación y Extensión, Departamento de Agricultura de los EE.UU., bajo el Acuerdo No. 2005-45049-03209.

Producido por *AgriLife Communications and Marketing*, El Sistema Texas A&M  
Las publicaciones de *Texas AgriLife Extension* se pueden encontrar en Internet en: <http://AgriLifebookstore.org>

Los programas educativos de *Texas AgriLife Extension Service* están disponibles para todas las personas, sin distinción de raza, color, sexo, discapacidad, religión, edad u origen nacional.

Emitido para el desarrollo del Trabajo de la Extensión Cooperativa en Agricultura y Economía del Hogar, Leyes del Congreso del 8 de mayo de 1914 con sus reformas y del 30 de junio de 1914 junto con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Edward G. Smith, Director, *Texas AgriLife Extension Service*, Sistema Texas A&M.