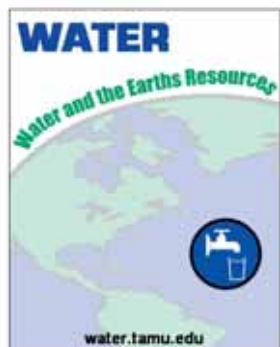


Problemas del agua potable: Los radionúclidos



Bruce J. Lesikar, Profesor e Ingeniero Agrícola de Extensión, Extensión Cooperativa de Texas,
Rebecca H. Melton, Asistente de Extensión,
Michael F. Hare, Especialista Principal en Recursos Naturales,
División de Programas de Pesticidas, Departamento de Agricultura de Texas.
Janie Hopkins, Gerente, Sección de Monitoreo del Agua Subterránea,
Consejo Texano para el Desarrollo del Agua.
Monty C. Dozier, Profesor Asistente y Especialista de Extensión,
Sistema Universitario Texas A&M

Los radionúclidos son tipos de átomos radioactivos. Los radionúclidos más comunes en el agua potable son el radio, el radón y el uranio.

La mayoría de los radionúclidos presentes en el agua potable se producen naturalmente a niveles muy bajos y no son considerados un problema para la salud pública. Sin embargo, los radionúclidos también pueden ser emitidos al agua potable por medio de actividades del hombre, tales como las plantas de energía nuclear activas u otras instalaciones que fabrican o usan sustancias radioactivas.

Las personas que están expuestas a niveles relativamente altos de radionúclidos en el agua potable y por largos períodos pueden desarrollar problemas serios de salud, tales como el cáncer, anemia, osteoporosis, cataratas, crecimientos de hueso, enfermedades renales y enfermedades del sistema inmunológico.

¿Cuáles son las fuentes de radionúclidos en el agua?

La radiación proviene del espacio exterior, de la tierra y aun de nuestros propios cuerpos. La radiación es todo lo que nos rodea y ha estado presente desde el origen de este planeta.

La mayoría de los radionúclidos presentes en el agua potable provienen de fuentes naturales. Los radionúclidos naturales son creados en la atmósfera superior y también se encuentran en la corteza terrestre. Éstos se encuentran en ciertos tipos de rocas que

contienen cantidades de restos de isótopos (formas) radioactivos de uranio, torio y/o actinio. Estas rocas, ya sean las arcillas resultantes y otros materiales, pueden transmitir radionúclidos al agua potable. Con mayor frecuencia se encuentran altos niveles de radionúclidos en el agua subterránea (por ejemplo, de agua de pozos) que en el agua superficial (tales como lagos y arroyos).

Muchos aparatos y procesos creados por el hombre producen radioactividad. Esta lista incluye, pero no está limitada a, la televisión a colores, instrumentos médicos (rayos X y quimioterapia), plantas termoeléctricas de carbón/lignito, procesos industriales y el fumar cigarrillos. Es más probable que los radionúclidos en el agua procedan de fuentes naturales que de fuentes creadas por el hombre.

Después de cierto tiempo los radionúclidos se descomponen. A medida que ellos se descomponen, producen productos descendientes que tienen una vida más corta, y "más radioactiva". Son de particular preocupación el uranio y el radio que ocurren naturalmente, éstos pueden acumular niveles peligrosos de radionúclidos en el agua potable.

A medida que los radionúclidos se descomponen, emiten partículas radioactivas tales como las alfa, beta y los rayos gama. Cada tipo de partículas produce efectos diferentes en los humanos.

Las **partículas alfa** son las menos penetrantes del tipo de partículas radioactivas; éstas pueden ser detenidas por una hoja de papel o por la piel. Sin embargo, las partículas alfa pueden ser dañinas si se inhalan o ingieren, ya que en esos casos entran en

contacto con los órganos internos. Aun cuando son las menos penetrantes, las partículas alfa causan mayor daño por volumen de unidad que las partículas beta o los rayos gama.

Las **partículas beta** y los **rayos gama** depositan su energía a lo largo de distancias grandes. Las partículas beta pueden ser detenidas por una pieza de madera o una hoja delgada de metal, como el papel de aluminio. Los rayos gama, tales como los rayos X, pueden pasar a través del cuerpo humano y se pueden detener mejor con partículas densas, tales como el plomo o una capa fina de concreto. La mayoría de los radionúclidos que ocurren naturalmente (tales como algunas formas de uranio y radio) emiten partículas alfa, sin embargo algunas (como el radio - 228) emiten partículas beta.

Uno de los radionúclidos que ocurre naturalmente y que emite partículas beta es el tritio. El tritio se forma en la atmósfera superior y puede ser depositado sobre la superficie de las aguas mediante la lluvia o nieve. Éste también puede filtrarse dentro y acumularse en las aguas subterráneas. Aunque el tritio natural tiende a no ocurrir a niveles de preocupación, la contaminación proveniente de actividades humanas puede resultar en niveles altos de este radionucleido.

Aunque la mayoría de los sistemas de agua no tienen actividades perceptibles de radionúclidos, algunas áreas de los Estados Unidos poseen niveles más altos que los promedios nacionales.

Por ejemplo, algunas áreas del Medio Oeste tienen niveles elevados de radio-226 y algunos estados del oeste tienen niveles más elevados de uranio comparados con el resto de los Estados Unidos.

¿Quién regula la seguridad del agua potable?

En 1974, el Congreso de los Estados Unidos aprobó el Acta para la Seguridad del Agua Potable. Esta ley requiere que la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) determine los niveles seguros de contaminantes para el agua potable de los Estados Unidos. La EPA dirige investigaciones para determinar el nivel de un contaminante en el agua potable que es seguro para que una persona lo consuma durante su vida y los niveles que se le pueden requerir razonablemente a los sistemas de agua eliminar del agua potable, de acuerdo a la tecnología y los recursos actuales. Este nivel seguro se llama el nivel máximo del contaminante (MCL por sus siglas en inglés). Los niveles máximos de un contaminante en el agua potable han sido establecidos para una variedad de radionúclidos. El MCL para el radio ha sido

establecido en 5 pCi/L (picocurios por litro, una unidad de medida para niveles de radiación). El MCL para la radiación alfa total es 15 pCi/L, y el límite máximo para la radiación beta total es 50 pCi/L. Además de causar el cáncer, la exposición al uranio en agua potable puede causar efectos tóxicos a los riñones. De acuerdo con datos humanos de la toxicidad de los riñones, el MCL para el uranio es 4 milirems por año. La EPA indica que un sistema de tratamiento sería considerado vulnerable si contuviera 50 pCi/L de uranio.

Aunque el MCL aplica solamente para las fuentes de agua potable, éste puede dar una idea de cuál debe ser el nivel apropiado de un contaminante en los pozos privados para aquellos que utilizan dichas fuentes.

Actualmente no existe un MCL para el radón. Sin embargo, la EPA está proponiendo dos opciones para los estados que desean regular las concentraciones de radón en el agua potable:

- La primera opción requeriría que los proveedores comunitarios de agua suministren agua con niveles de radón no mayores de 4,000 pCi/L. Ya que cerca de 1/10,000 de radón en el agua se transfiere al aire, esto contribuiría cerca de 0.4 pCi/L de radón para el aire en los hogares.

Este nivel será permitido si el estado también toma medidas para reducir los niveles de radón en el aire interior mediante la instrumentación de programas estatales de mejoramiento del aire interior (llamados Programas de Mitigación Multimedia), aprobados por la EPA. Esto es importante, ya que la mayoría del radón que se inhala proviene de la tierra bajo la casa. Esta opción proporciona al estado la flexibilidad para concentrarse en los problemas principales, animando al público a corregir los problemas de aire interior y a construir viviendas que impidan la entrada del radón.

- La segunda opción es presentada para estados que eligen no desarrollar programas de aire interior mejorado. A los sistemas de agua de la comunidad en esos estados se le requeriría reducir los niveles de radón en el agua potable a 300 pCi/L. Esta cantidad de radón en el agua aporta cerca de 0.03 pCi/L de radón al aire en el hogar.

Aun si un estado no desarrolla un programa de aire interior mejorado, los sistemas de agua, pueden elegir el desarrollo de sus propios programas locales de radón interior. Esta opción les requeriría satisfacer un estándar de radón para el agua potable de 4,000 pCi/L. Esta opción permitiría la reducción de todos los riesgos que se corren por la exposición del radón proveniente del aire y del agua.

¿Dónde en Texas se han encontrado pozos con niveles altos de radioactividad?

Para monitorear la calidad del agua, el Consejo de Texas para el Desarrollo del Agua (TWDB por sus siglas en inglés) recolecta muestras de agua subterránea por medio de su Programa de Muestreo de la Calidad del Agua Subterránea. De 1988 a 2004, el personal de la TWDB recolectó 5,471 muestras de 4,941 pozos para realizar pruebas para detectar la radiación alfa total (Fig. 1). Del número total de muestras, el 29 por ciento no contuvo cantidades perceptibles de radiación alfa.

Los estudios encontraron 3,864 muestras con cantidades perceptibles de radiación alfa total en Texas.

Aproximadamente el 11 por ciento de estas muestras tenía un contenido de radiación alfa total mayor que el MCL primario de 15 pCi/L.

Se encontraron niveles altos de radiación alfa total en 22 de los 31 acuíferos principales y secundarios de Texas. Un tanque de almacenamiento del pozo del acuífero de Queen City, en el Condado de Frío, tenía un contenido de alfa total detectada en 302 pCi/L; los dos acuíferos con la mayoría de pozos conteniendo alfa total por encima del MCL fueron los acuíferos de Dockum y el de Hickory, con 129 y 86 pozos, respectivamente. Los pozos con los valores más altos de alfa total se encontraron en los acuíferos de Carrizo y de la Costa del Golfo, cuyo contenido fue de 1,120 y 835 pCi/L, respectivamente.

Otros acuíferos que resultaron con cantidades significativas de pozos con exceso de alfa fueron el Edwards-Trinity Plateau (74 pozos), el de la Costa del Golfo (64 pozos), y el de Ogallala (53 pozos). De los 610 pozos que contenían concentraciones mayores del límite máximo, alrededor del 28 por ciento suministraban agua a hogares, 24 por ciento a ganaderías, 19 por ciento a instalaciones de suministro público, 17 por ciento a pozos de irrigación, 6 por ciento a instalaciones industriales y 3 por ciento para otros usos. El cinco por ciento de estos pozos no se usaban.

El TWDB también recolectó 5,327 muestras de 4,698 pozos en Texas y los analizó para buscar actividad beta total. El límite máximo para la actividad beta total es 50 pCi/L.

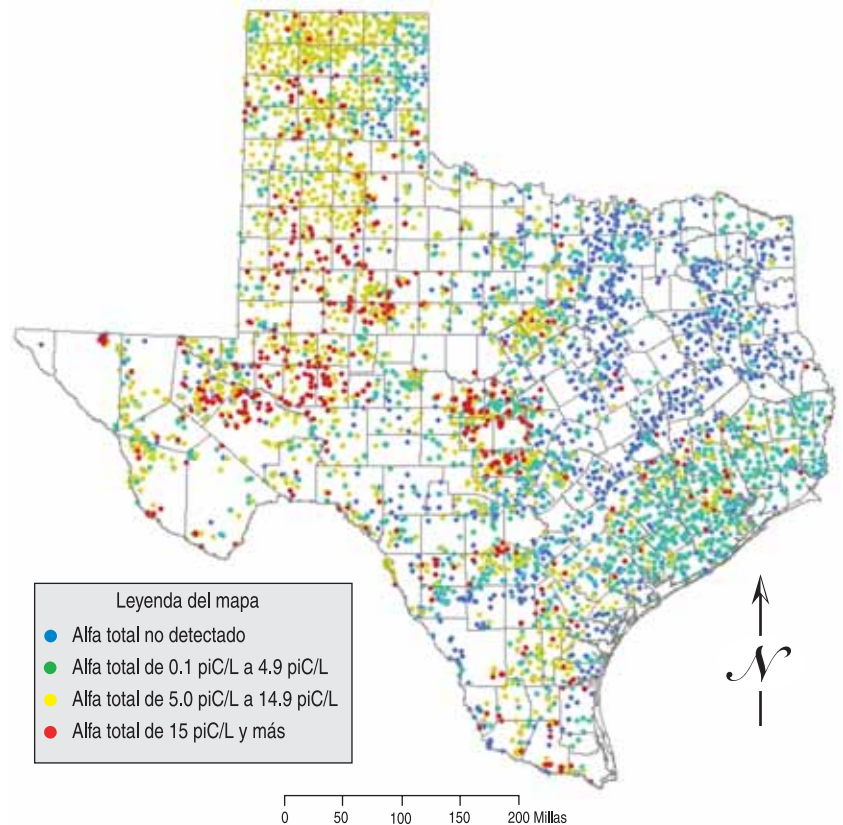


Figura 1. Concentraciones de partículas alfa total en el agua subterránea de Texas, 1988-2004.

De las muestras analizadas, el 34 por ciento estaban a un nivel bajo de percepción (Fig. 2). En las muestras en que se encontraron niveles perceptibles de actividad beta total, el valor medio (punto medio) fue de 8.1 pCi/L. De las 87 muestras con niveles perceptibles de beta total, o sea el 1.6 por ciento, excedieron el límite máximo establecido por la EPA.

Se encontró que los pozos en 15 de los acuíferos principales y secundarios en Texas tenían niveles altos de actividad beta total. La cantidad de pozos con niveles altos de beta total se clasifica de un pozo en cada uno de los acuíferos de Queen City, Yegua, Trinidad y West Texas Bolson, a 15 y 21 pozos en los acuíferos de Dockum y Hickory, respectivamente.

De los 87 pozos con concentraciones mayores del límite máximo, alrededor del 29 por ciento suministraban agua a pozos de tanques almacenamiento, 17 por ciento a hogares, 17 por ciento a pozos de irrigación, 16 por ciento a instalaciones de suministro público y 14 por ciento a instalaciones industriales. El 7 por ciento de estos pozos no se usaban.

El TWDB también ha analizado el contenido de radón y radio-226 y el de radio-228, aunque no por todo el estado. La Comisión de Texas para la Calidad Ambiental (TCEQ por sus siglas en inglés) ha recolec-

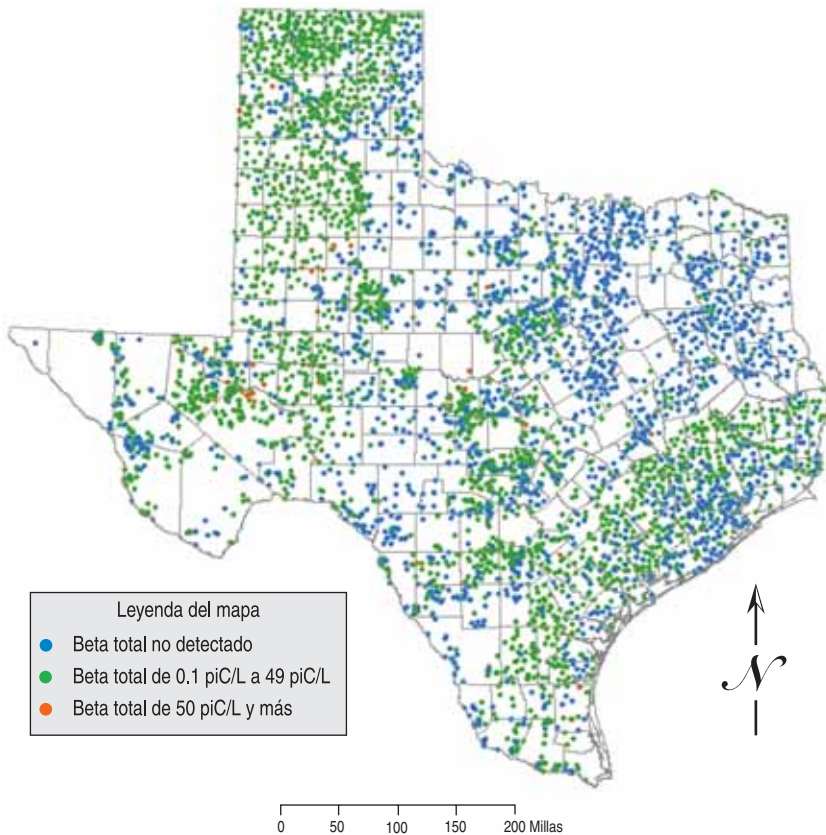


Figura 2. Concentraciones de partículas beta total en el agua subterránea de Texas, 1988-2004.

tado más de esta información mediante sus pozos de suministro público. Utilizando la información recolectada hasta 1999, la comisión ha identificado varios puntos de suministro público de agua donde se calculan abusos de radón. (Fig. 3).

Aunque los sitios indicados en rojo indican las áreas geográficas donde los consumidores pueden estar más preocupados sobre el radón, los consumidores también necesitan tomar en consideración la cantidad de radón a que ellos están expuestos, no sólo en el aire de sus hogares, sino también en el agua de sus pozos.

¿Cómo afectan los radionúclidos a la salud?

Las personas ingieren radionúclidos ya sea al tomar agua contaminada o al comer alimentos que han sido lavados con agua contaminada. Una vez ingeridas, las partículas radioactivas ionizan (desestabilizan) los átomos cercanos en el cuerpo a medida que viajan a través de las células u otro material. El proceso de ionización puede dañar los cro-

mosomas u otras partes de las células y pueden acabar en la muerte o la reproducción anormal (cáncer) de la célula.

Uranio: Para el uranio, la preocupación no es solamente que su desintegración radioactiva pueda causar cáncer, sino también que la exposición al uranio mismo puede dañar los riñones. Cuando las personas están expuestas a altos niveles de uranio en el agua potable, ocurren cambios en sus funciones renales que pueden indicar fallas potenciales renales en el futuro.

Radio: En la década de los 1920s, los números en algunas carátulas de relojes eran pintados a mano por trabajadores que utilizaban pintura que contenía radio. Más tarde, estos trabajadores padecieron de problemas de salud no cancerígenos, tales como crecimiento benigno en los huesos, osteoporosis, retardación severa del crecimiento, dientes quebrados, enfermedades renales, enfermedades hepáticas, necrosis de tejidos y huesos (muerte), cataratas, anemia y supresión inmunológica. Muchas

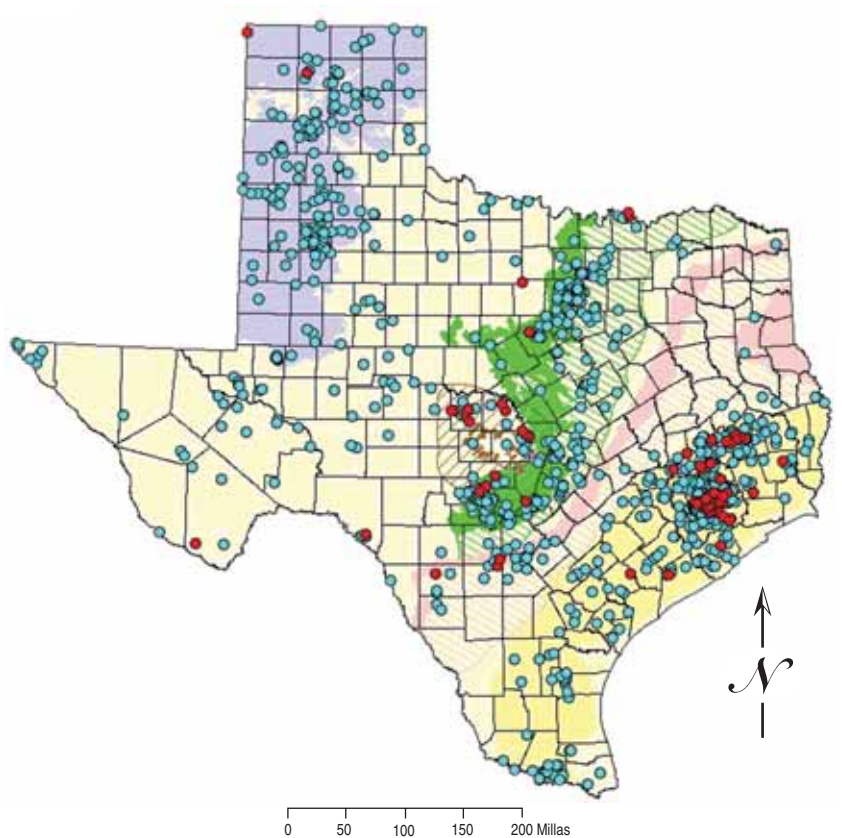


Figura 3. Ubicación de pozos públicos de agua con potencial de contenido de niveles altos de radón.

de estas enfermedades causaron la muerte de los pintores de carátulas.

Estos trabajadores también tenían índices altos de dos tipos raros de cáncer: sarcomas de los huesos y carcinomas de los mastoideos y senos de la cabeza. Los pacientes tratados médicamente con radio-224 también mostraron un incremento en sarcoma de los huesos pero no de carcinoma de la cabeza.

Sin embargo, los niveles de exposición que las personas experimentan por el radio que se produce naturalmente son mucho más bajos que aquellos de los pintores de relojes o de las personas médicamente tratadas con radio-224. Por lo tanto, los efectos no cancerígenos que se producen en la salud no han sido una preocupación para establecer un límite para el radio en el agua potable.

Radón: El radón se produce naturalmente, es un gas radioactivo, sin olor e invisible, que emite radiación. Al inhalar el radón se incrementa la oportunidad para que una persona desarrolle cáncer de los pulmones. El riesgo está especialmente asociado con la inhalación del radón y sus productos de desintegración cuando son liberados del agua. Los niveles de radón son generalmente mayores en el agua subterránea que en el agua superficial.

Aunque no es de mayor preocupación, con la ingestión de agua potable que contiene radón se corre también el riesgo de padecer cáncer de los órganos internos, principalmente del estómago.

Emisores Alfa totales (uranio y radio-226): El uranio y el radio-226 emiten partículas alfa. Éstos y otros emisores alfa se producen naturalmente como contaminantes radioactivos, sin embargo muchos de ellos también proceden de fuentes producidas por el hombre. Éstos pueden ocurrir ya sea en el agua subterránea o en la superficial.

A niveles altos de exposición, los emisores alfa pueden causar cáncer.

Emisores Beta y de fotones (radio-228 y Tritio): Los emisores beta y de fotones son básicamente contaminantes radioactivos producidos por el hombre y asociados con la operación de las plantas de energía nuclear, instalaciones que utilizan material radioactivo para investigación o fabricación, o instalaciones que disponen de material radioactivo. Algunos emisores beta se producen naturalmente. Los emisores beta y de fotones ocurren básicamente en el agua superficial.

Se cree que altos niveles de exposición a los emisores beta y de fotones pueden causar cáncer en los humanos.

Unidades de tratamiento para los radionúclidos

Si la tecnología de un tratamiento particular puede eliminar efectivamente o no un radionucleído específico del agua potable depende de las características físicas y químicas del contaminante.

Algunas opciones de tratamiento pueden remover exitosamente un grupo particular de radionúclidos, sin embargo permiten que otros radionúclidos pasen sin tratamiento. (Tabla 1). La efectividad de la mayoría de los sistemas de tratamiento de agua potable depende de la calidad del agua de la fuente, así como del tamaño del sistema de agua.

Osmosis inversa

Un tratamiento disponible para una amplia gama de radionúclidos es la osmosis inversa (OI). La OI puede eliminar del 87 al 98% de radio del agua. Este proceso también puede reducir los niveles de uranio, partículas alfa, y la actividad de los emisores beta y fotones.

La OI funciona pasando el agua bajo presión por una membrana especial semipermeable (Figura 4).

Tabla 1. Tecnologías utilizadas para el tratamiento de radionúclidos.

Contaminante	Tecnología del Tratamiento
Radio (-226 y-228)	Intercambio de Iones de Cation (II), Osmosis Inversa (OI), destilación (D)
Radón-222	Aeración, Carbón granular activado (CGA)
Uranio	II-anión, OI, D
Emisores ajustados de alfa total	OI, D
Emisores de Beta total y fotones	II-cama mixta, OI, D

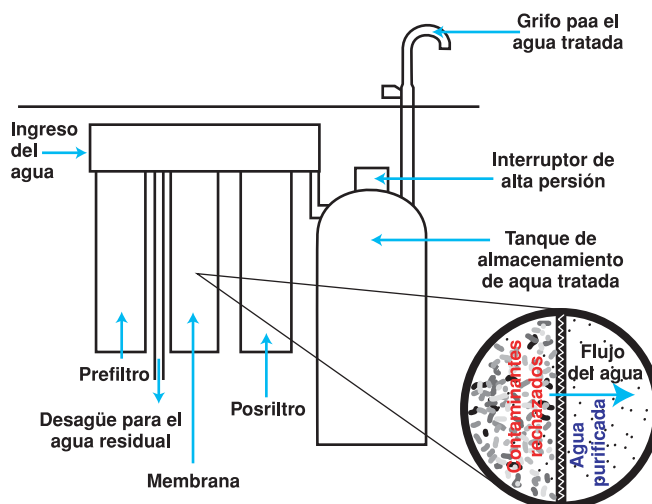


Figura 4. Unidad de tratamiento de osmosis inversa (adaptado de Kneen et al., 1995 y USEPA, 2003)

La membrana permite que el agua fluya a través de ella, pero impide que los radionúclidos la traspasen. La efectividad del proceso depende del pH, de los sólidos totales suspendidos (STS, los cuales son materiales que contiene el agua que pueden ser atrapados por un filtro), de la presión y el contenido de hierro y manganeso del agua y del tipo de membrana utilizado en el sistema. El agua puede requerir un pretratamiento para evitar que la membrana se degrade. Se necesita eliminar los STS para prevenir impurezas y para ampliar la vida de la membrana. Algunas fuentes de agua también contienen sólidos disueltos; la eliminación de los mismos prevendrá la incrustación en la unidad.

La desventaja de las unidades de OI es que relativamente sólo logran producir una cantidad muy pequeña de agua para consumo. La mayoría de las unidades están diseñadas para recuperar de 20 a 30 por ciento del agua, lo que significa que de cada 100 galones tratados, solamente de 20 a 30 galones van a ser útiles, y el resto del agua será enviada al sistema de aguas residuales. Los propietarios de residencias que utilizan un tratamiento de agua residual en sus casas deben considerar el impacto que esta carga adicional puede tener en sus sistemas sépticos.

Debido a la ineficiencia del sistema de OI, éste es típicamente utilizado para tratar solamente agua para beber y cocinar. El tamaño del sistema que se va a comprar debe estar basado en el número de galones que serán utilizados para estos propósitos cada día.

Las unidades típicas de tratamiento producen de 5 a 15 galones de agua por día. En caso de que se necesiten grandes cantidades de agua, otro método de tratamiento podría ser una mejor opción, tal como el intercambio de iones.

Costos

Los aparatos para el sistema de OI normalmente cuestan entre \$300 y \$1,000. La instalación de la unidad toma de 30 a 60 minutos, asumiendo que no se requiere realizar modificaciones significativas a la tubería.

La membrana de la unidad OI deberá ser reemplazada de acuerdo al calendario recomendado por el fabricante. Las membranas nuevas tienen un costo cerca de \$150.

Dependiendo del sistema y basándose en un promedio de 10 años de vida útil del mismo, el costo de la producción del agua oscila entre 5 y 10 centavos por galón. Este cálculo no incluye el costo del agua gastada o el costo de tratar el agua rechazada, si acaso existe.

Intercambio de iones

El sistema de Intercambio de Iones (II) es una opción de tratamiento para el agua residencial que puede eliminar cerca del 90 por ciento de radionúclidos del agua potable.

En el proceso de II, el agua contaminada es enviada a través de una resina que contiene partículas cargadas. A medida que el agua fluye a través de la resina, el contaminante es intercambiado con las partículas cargadas en la resina (Fig. 5). El contaminante permanece en la resina, y las partículas cargadas de la resina fluyen hacia fuera con el agua tratada.

Los sistemas de II pueden contener diferentes tipos de resina, dependiendo de la carga de contaminantes que se intente eliminar. Las unidades de intercambio de iones pueden contener cationes (carga positiva), aniones (carga negativa) o resinas de cama mixta (combinación de iones positivos y negativos). Cuando se habla de intercambio de cationes, con frecuencia se conoce como ablandamiento del agua.

Por ejemplo: En una unidad de intercambio de catión, el radio contenido en el agua reemplazará lo que usualmente son cationes de sodio o potasio en la resina. El radio permanece en la unidad sujetado a la resina, y los cationes reemplazados saldrán con el flujo de agua tratada.

Las unidades de intercambio de los aniones tienen un proceso similar, en el cual el uranio reemplaza los aniones de cloruro o hidróxido en la resina. Si el agua contiene uranio (negativo) y radio (positivo), se puede utilizar un medio de intercambio de iones conocido como cama mixta.

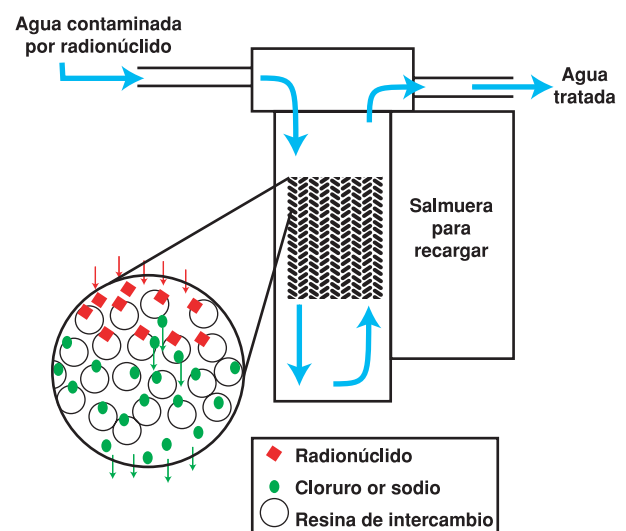


Figura 5. Proceso de intercambio de iones (adaptado de Robillard et al., 2001b).

Los sistemas de intercambio de aniones pueden eliminar efectivamente del 85 al 95 por ciento de los emisores alfa, dependiendo de la calidad del agua de la fuente y el tipo de emisores que contiene.

El sistema de cama mixta puede también eliminar los emisores de beta total y fotones del agua potable. Sin embargo, hay que tener en cuenta que otros iones presentes en el agua, tales como el nitrato o sulfato, pueden competir con los radionúclidos por sitios de intercambio en la resina.

Cuando todos los iones originales en la resina han sido reemplazados con contaminantes, ésta debe ser reemplazada o regenerada para prevenir que los radionúclidos pasen a través de la resina no tratada. Una unidad de II se regenera al lavar la resina con una solución fuerte, usualmente con cloruro de sodio o de potasio. Esta solución desplaza los radionúclidos con cargas positivas o negativas con iones de sodio (positivo) o cloro (negativo).

Los residuos del proceso de regeneración, que pueden ser radioactivos, deben de disponerse conforme con las normas locales y federales.

La efectividad de un sistema de II puede ser comprometida por la cantidad excesiva de STS. Si la fuente de agua es alta en sólidos, se deberá instalar un filtro de pretratamiento.

Costos

El costo de las unidades de intercambio de iones es de \$400 a \$1,500. Los costos de operación y mantenimiento se estiman en 2 centavos por galón de agua tratada.

Destilación

La destilación es un proceso por medio del cual se pueden eliminar los tipos más comunes de radionúclidos del agua potable, excepto el radón.

En el proceso de destilación, el agua se calienta hasta el punto de ebullición en un recipiente cerrado (Fig. 6). A medida que el agua se evapora, las impurezas del agua quedan atrás, en el recipiente. El vapor pasa por mangueras que trasladan el agua fría no tratada a la unidad, provocando que el vapor se enfríe y condense convirtiéndose de nuevo en líquido.

Algunos de los gases disueltos y los compuestos en el agua también serán transportados y volatilizados (evaporados) a la temperatura próxima a punto de ebullición. Éstos serán transportados con el vapor y por lo tanto acabarán en el agua tratada. Estos contaminantes pueden ser eliminados pasando el agua destilada por un posfiltro.

La mayoría de las unidades de destilación pueden tratar de 5 a 10 galones de agua por día.

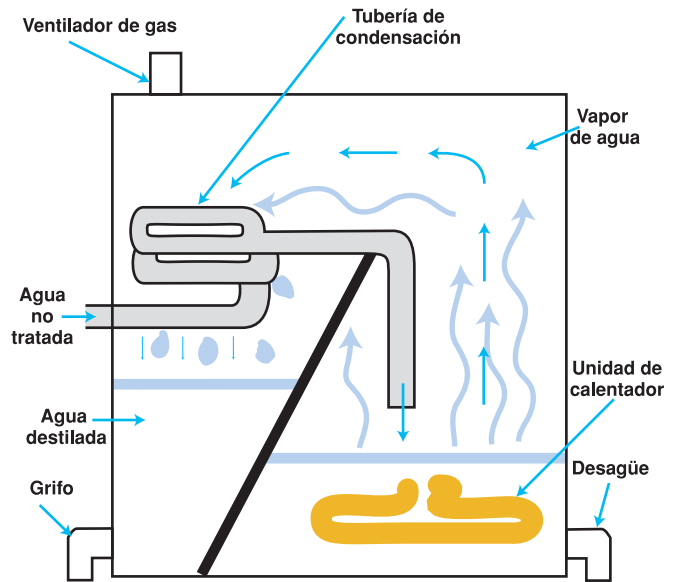


Figura 6. Proceso de destilación (adaptado de Kocher, et. al., 2003).

Costos

Las unidades de destilación se pueden comprar a un costo de entre \$300 y \$1,200. Los costos de operación para los sistemas de destilación pueden ser más altos que los de otros métodos de tratamiento debido a la cantidad de electricidad requerida para operar el destilador. Use esta fórmula para estimar los costos de energía:

$$\text{Costo/galón} = 0.024 \times \frac{\text{Voltaje de la unidad}}{\text{Producción (galones/día)}} \times \text{Costo de electricidad (\$/k Wh)}$$

Aeración

La aeración es la tecnología utilizada para eliminar el radón. Al exponer el agua a una cantidad suficiente de aire, se puede eliminar hasta el 99.9 por ciento de radón antes de que el agua llegue a su grifo.

Las unidades de aeración no han sido probadas o certificadas por la Fundación Nacional para la Sanidad o la Asociación para la Calidad del Agua. Sin embargo, se puede eliminar el radón mediante tres tipos principales de unidades de aeración para residencias: aeración por rociado, columna empacada y una unidad que utiliza una bandeja superficial.

Para todos los tipos de unidades de aeración, se necesita que el agua sea pretratada si tiene un nivel alto de sólidos suspendidos. Asimismo, después que el agua se trata por el contenido de radón, el aire contaminado puede requerir ser tratado con un sistema de carbón granular activado (CGA) para reducir la concentración de radón que se descargará a través del ventilador exterior.

Aeración por rociado

En el sistema de aeración por rociado, se rocía el agua contaminada a través de boquillas a un tanque de retención (Fig. 7). Cuando se rocía el agua, el radón contenido en ella se evapora. Luego, un ventilador de aire transporta el gas volatilizado a un ventilador fuera de la residencia.

Con la primera rociada, se elimina el 50 por ciento del radón. A medida que se rocía el agua repetidas veces, se elimina más radón.

Un sistema de aeración por rociado necesita incluir un tanque de retención de al menos 100 galones para trabajar adecuadamente.

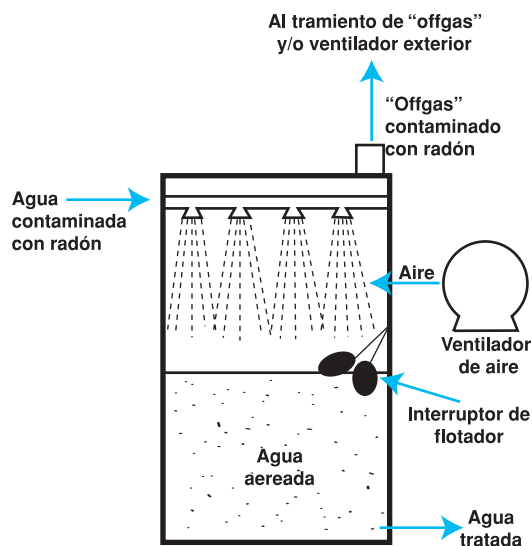


Figura 7. Sistema de aeración por rociado (adaptado de Robillard, 2001a).

Aeración por columna empacada

En el sistema de aeración por columna empacada, el radón se elimina del agua contaminada a medida que ésta es rociada en la parte superior de una columna rellena con material de empaque (Fig. 8). La capa delgada de agua se expone al aire que es soplado desde la parte inferior de la columna. Luego el aire transporta el gas de radón fuera de la columna hacia un ventilador exterior.

Dependiendo de la altura de la columna, un sistema de aeración de columna empacada puede eliminar del 90 al 95 por ciento del radón contenido en el agua.

Este tipo de tratamiento no es práctico para aguas que contienen concentraciones más altas de 20,000 pCi/L de radón.

Otra desventaja para este tipo de sistema es que a medida que pasa el tiempo, el crecimiento biológico del material del paquete o la dureza en el agua puede causar sarro (incrustación) en el equipo.

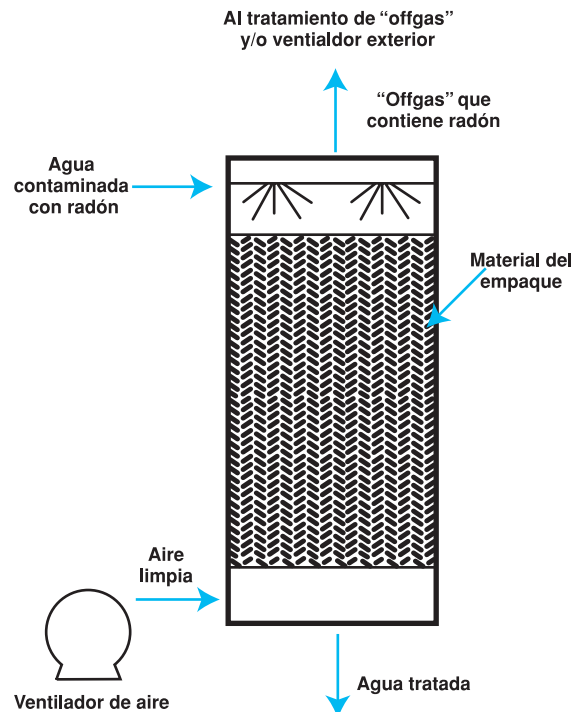


Figura 8. Sistema de aeración por columna empacada (adaptado de Robillard 2001a).

Sistema de aeración de bandeja superficial

Los sistemas de aeración de bandeja superficial tienen capacidad de eliminar más del 99.9 por ciento del radón contenido en el agua. En este tipo de sistema, se rocía el agua contaminada en una bandeja con agujeros pequeños (Fig. 9). A medida que el agua fluye a lo largo de la bandeja, se sopla aire a través de los agujeros.

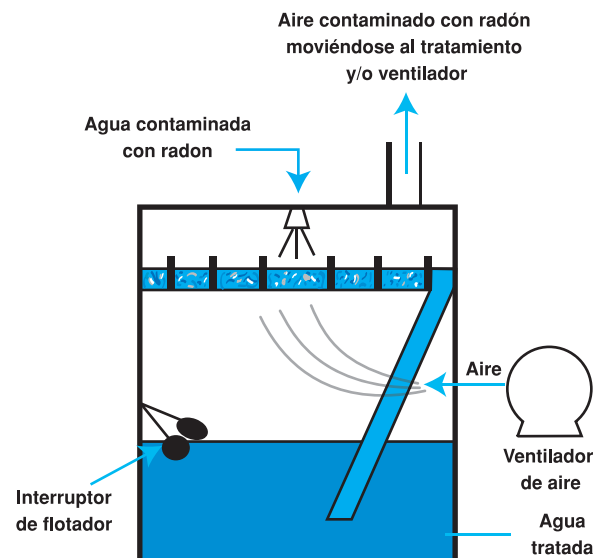


Figura 9. Sistema de aeración de bandeja superficial (adaptado de Twitchell, 2000).

El agua se recolecta en la superficie inferior del tanque y luego es bombeada a un tanque a presión de agua. Al igual que otros sistemas de aeración, el aire contaminado con radón se escapa por un ventilador exterior.

Este tipo de unidad es tradicionalmente más pequeña que los otros tipos y utiliza ventiladores de aire de presión baja. A diferencia del sistema de columna empacada, la bandeja no está sujeta a degradación.

Una desventaja de este tipo de sistema es que usa más aire por minuto que los otros sistemas; el flujo de aire que utiliza es tan fuerte que hasta puede despresurizar el área donde está almacenado.

Costos

El costo de las unidades de aeración domiciliarias inicia aproximadamente en \$3,000. También implica costos adicionales de instalación y mantenimiento, tales como los requerimientos de energía para los ventiladores y el reemplazo de los filtros, si es un sistema CGA que utiliza filtros.

Carbón granular activado

Otro método para eliminar el radón del agua es mediante el uso del carbón granular activado. Los sistemas de CGA eliminan el radón del agua a través de la absorción - lo que significa que cuando el agua pasa por el material de carbón en la unidad, el radón se recolecta en la superficie del material y es eliminado del agua.

La eficacia del proceso de absorción depende de factores tales como el pH y la temperatura del agua; la composición química y la concentración de los contaminantes; y la tasa de flujo de agua del sistema y tiempo de exposición al carbón. A medida que los niveles de la temperatura y pH bajan, la tasa de absorción normalmente aumenta.

El carbón granular activado dura más tiempo cuando el agua tiene concentraciones bajas de contaminantes y cuando las tasas de flujo que pasan por la unidad son bajas. El tipo de carbón utilizado en el sistema se debe determinar por las recomendaciones del fabricante.

Si la fuente de agua contiene bacterias o altos niveles de sólidos suspendidos, quizás sea necesario que el agua pase primero por un prefiltro. Las bacterias y los sólidos suspendidos pueden afectar de manera adversa un sistema de CGA. Si se recolectan microorganismos y crecen en el filtro, el agua tratada por el filtro puede resultar con una concentración más alta de bacterias de que la que tenía en la fuente de agua. Asimismo, si no se remueve el STS, los sólidos pueden obstruir los poros, y resul-

tar el sistema ineficaz.

Tipos de sistemas CGA disponible para uso domiciliar incluyen:

- Dispositivos de punto-de-entrada (PDE), los cuales tratan toda el agua que entra a la residencia. Éstos incluyen todos los filtros coladores y las unidades montadas en grifos.
- Dispositivos de punto-de-uso (PDU), los cuales son utilizados para tratar el agua de beber y cocinar.

Cuando se utiliza un sistema de CGA para eliminar el radón, a medida que el filtro recoge el gas radón se vuelve eventualmente radioactivo. Por esta razón, la unidad de tratamiento debe ser colocada fuera de la residencia o en un área aislada. Esto hace que los sistemas CGA punto-de-uso no sean prácticos para el tratamiento del radón.

La eliminación de los filtros usados puede implicar un problema. Todo el residuo necesita ser eliminado de acuerdo con las leyes locales y estatales. El contratista que provea el reemplazo del medio puede ofrecer la disposición final del CGA gastado.

Costos

Normalmente el costo de los sistemas CGA de punto-de-entrada oscila entre \$300 y \$3,000. Dependiendo del tamaño de la unidad y de las recomendaciones del fabricante, el CGA puede tratar unos 100,000 galones de agua antes de que haya necesidad de reemplazarlo. El costo del reemplazo del medio es de \$80 a \$100 por metro cúbico. El medio requerirá ser reemplazado y no retrolavado, ya que si se lava con agua caliente puede liberar el radón capturado.

Cómo seleccionar una unidad de tratamiento

Debido a que una sola tecnología no puede tratar todos los contaminantes del agua, antes de seleccionar un sistema de tratamiento, debe realizar pruebas a su fuente de agua usando un laboratorio calificado para determinar la calidad del agua. Para obtener una lista de los laboratorios certificados por la Comisión de Calidad Ambiental de Texas (TCEQ por sus siglas en inglés) para realizar pruebas al agua potable vease: <http://www.tnrcc.state.tx.us/permitting/waterperm/pdw/chemlabs.pdf>.

Una vez que haya determinado lo que su agua contiene, haga una investigación de los diferentes productos disponibles en el mercado para encontrar uno que sea apto para tratar los contaminantes de su fuente de agua. Si se va a tratar más de un contaminante, revise la compatibilidad de los sistemas de

cotratamiento. Por ejemplo, una unidad de intercambio de iones puede eliminar tipos diferentes de radionúclidos, pero para realizar ese proceso, se debe escoger una resina apropiada.

Para comparar las unidades de tratamiento, se deben considerar los costos iniciales, los costos y requerimientos de operación y mantenimiento, la eficiencia de eliminación de los contaminantes, las garantías, la vida útil del sistema y la reputación del fabricante. Al tomar la decisión final, también considere la cantidad de agua residual o los desechos sólidos que el sistema va a generar y si podrá o no podrá mandar a disposición final los residuos.

Es importante notar que los sistemas de tratamiento de agua para el hogar no están regulados por leyes estatales o federales. Sin embargo, algunas organizaciones nacionales ofrecen certificaciones de los productos para el tratamiento del agua:

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 proceso mecánico pero no por su habilidad para eliminar contaminantes dañinos.

La Fundación Nacional para la Sanidad (NSF por sus siglas en inglés) certifica los productos que pueden eliminar los contaminantes que afectan la salud.

Para obtener una lista de unidades de tratamiento de agua potable con la certificación de la NSF, visite <http://www.nsf.org/Certified/DWTU/>.

Para consultas sobre 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 o escriba a NSF Internacional, P.O. Box 130140, 789 N. Dixboro Road, Ann Arbor, MI 48113-0140.

Por favor note que si un producto tiene un número de registro de la EPA, esto indica simplemente que el producto está registrado en la EPA, no implica que esté aprobado o certificado.

Cómo mantener el sistema en marcha

No importa qué tecnología de tratamiento use, la misma va a requerir algún tipo de mantenimiento para que el sistema funcione adecuadamente. El primer paso para la operación y mantenimiento apropiado es una instalación adecuada. 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 instalar su sistema, se le debe proporcionar el mantenimiento adecuado. Si tiene una unidad de OI, reemplace las membranas cuando sea necesario. Reemplace o recargue la resina en las unidades si tiene un sistema de intercambio de iones. Periódicamente, remueva el sarro y cualquier otro material que se haya solidificado dentro del sistema de unidades de destilación y deséchelo adecuadamente. Reemplace cualquier filtro utilizado en el sistema de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Disponga de todos los residuos apropiadamente.

Todos los sistemas deben ser operados conforme a las especificaciones del fabricante. Si trata más agua en un cierto período de tiempo de la que el sistema está diseñado para tratar, el tratamiento quizás no vaya a ser efectivo y puede reducir la de la calidad del agua tratada.

El agua tratada debe ser examinada regularmente por un laboratorio certificado para verificar que el sistema está funcionando adecuadamente.

Referencias

- Hassinger, E. Doerge, T.A., and Baker, P.B. 1994. Water Facts: Number 7 Choosing Home Water Treatment Devices. Tucson, AZ: Arizona Cooperative Extension. Available at: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az9420.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. Available at: <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. Available at: <http://www.cce.cornell.edu/factsheets/wq-factsheets/home/FSpdf/Factsheet4.pdf>
- Kocher, J., Dvorak, B., Skipton, S. 2003. Drinking Water Treatment: Distillation. Lincoln, NE: Nebraska Cooperative Extension. Available at: <http://ianrpubs.unl.edu/water/g1493.htm>
- Lahlou, M.Z. 2003. Point-of-Use/Point-of-Entry Systems. Morgantown, WV: National Drinking Water Clearinghouse. Available at:

http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/OT/SP03/TB_Point_of_Use.html.

Lemly, A., Wagenet, L. Kneen, B. 2005. Water Treatment Notes- Activated Carbon Treatment of Drinking Water. Ithaca, NY: Cornell Cooperative Extension. Available at:

<http://www.cce.cornell.edu/factsheets/wq-factsheets/home/FSpdf/Factsheet3.pdf>.

NDWC. 2003. Tech Brief 13: Radionuclides. Morgantown, WV: National Drinking Water Clearinghouse. Available at: http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB13_radionuclides.pdf.

Powell, G.M. and Black. R.D. 1989a. Water Quality: Activated Carbon Filters. Manhattan, Kansas: Kansas State University Cooperative Extension Service. Available at: <http://www.oznet.ksu.edu/library/H2OQL2/MF883.PDF>

Powell, G.M. and Black. R.D. 1989b. Water Quality: Distillation. Manhattan, Kansas: Kansas State University Cooperative Extension Service. Available at: <http://www.oznet.ksu.edu/library/H2OQL2/MF885.PDF>.

Robillard, P.D. Sharpe, W.E., and Swistock, B.R. 2001a. Reducing Radon in Drinking Water. University Park, PA: Penn State Cooperative

Extension. Available at: <http://www.sfr.cas.psu.edu/water/radon.pdf>.

Robillard, P.D., Sharpe, W.E., and Swistock, B.R. 2001b. Water Softening. University Park, PA: Penn State Cooperative Extension. Available at: <http://www.sfr.cas.psu.edu/water/water%20softening.pdf>.

Twitchell, J. 2000. How to Buy a Radon Aeration System. Freeport, MI: Air & Water Quality Inc. Available at: http://www.awqinc.com/article_radon_system.html

USBR. 2001. Radionuclides fact sheet. Denver, CO: Bureau of Reclamation, Technical Service Center Water Treatment Engineering and Research Group. Available at: <http://www.usbr.gov/pmts/water/media/pdfs/Radionuclide.pdf>.

United States Environmental Protection (USEPA). 1998. Small System Compliance Technology List for the Non-Microbial Contaminants Regulated Before 1996. EPA 815-R-98-002. Washington D.C.: USEPA Office of Water.

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.



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 provistos a través de una subvención 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.