



**ATSDR**  
AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES  
AND DISEASE REGISTRY

# Public Health Assessment for

## **EVALUACIÓN DE SALUD PÚBLICA**

### **Evaluación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) en Agua Potable Pública**

### **SITIO DE CONTAMINACION DE AGUA SUBTERRANEA EN DORADO**

**MUNICIPIO DE DORADO, PUERTO RICO**

### **IDENTIFICACION DE LA INSTALACION DE LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA):**

**PRN000201872  
29 Junio 2023**

**U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES  
PUBLIC HEALTH SERVICE**  
Agency for Toxic Substances and Disease Registry

**Comment Period Ends:**

**29 Julio 2023**

## LA EVALUACION DE SALUD PUBLICA DE LA ATSDR: NOTA DE EXPLICACION

Esta evaluación de salud pública fue preparada por la ATSDR en conformidad con la Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA o Superfondo) sección 104 (i)(6) (42 U.S.C. 9604 (i)(6)), y de acuerdo con nuestras reglamentaciones de implementación (42 C.F.R. Parte 90). Al preparar este documento, ATSDR ha recopilado datos de salud relevantes, datos ambientales y preocupaciones de salud de la comunidad de parte de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), agencias ambientales y de salud estatales, locales, la comunidad, y partes potencialmente responsables, según corresponda. Este documento representa los mejores esfuerzos de la agencia, basado en la información actualmente disponible, para cumplir con los criterios legales establecidos en la sección 104 (i) (6) de CERCLA dentro de un marco de tiempo limitado. En la medida posible, presenta una evaluación de los riesgos potenciales para la salud humana. Acciones autorizadas por la sección 104 (i) (11) de CERCLA, o autorizadas de otro modo por CERCLA, pueden emprenderse para prevenir o mitigar la exposición humana o los riesgos para la salud humana. Además, la ATSDR utilizara este documento para determinar si las acciones de salud de seguimiento son apropiadas en este momento.

Este documento se proporcionó previamente a la EPA y al estado afectado en una publicación inicial, según lo exige la sección 104 (i) de CERCLA (6) (H) para su información y revisión. Cuando fue necesario, se revisó en respuesta a comentarios o información relevante adicional proporcionada por ellos a la ATSDR. Este documento revisado ahora se ha publicado para un período de comentario público de 32 días. Después del período de comentarios públicos, la ATSDR abordará todos los comentarios públicos y revisará o agregará al documento según corresponda. Luego se volverá a emitir la evaluación de salud pública. Esto concluirá el proceso de evaluación de salud pública para este sitio, a menos que la ATSDR obtenga información adicional que, en opinión de la agencia, indique la necesidad de revisar o anexar las conclusiones emitidas anteriormente.

Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades .....Rochelle P. Walensky, MD, MPH  
Director del CDC y Administrador de ATSDR

Centro Nacional de Salud Ambiental/  
Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades .....Aaron Bernstein, MD, MPH, Director

Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades .....Christopher M. Reh, PhD, Director Asociado  
Angela Ragin-Wilson, PhD, MS, Diputada del Director Asociado

Oficina de Salud Comunitaria y Evaluación de Peligros .....CDR Elizabeth Irvin, PhD, Directora  
LCDR Bradley Goodwin, PhD, Diputado del Director

Jefe - Sección Central.....Jack Hanley, MPH,

Jefa - Sección Este.....Caitlin Mertzlufft, PhD,

Jefa Interina - Sección Oeste.....CDR Elizabeth Irvin, PhD,

Jefa - Sección de Investigación de Exposición.....Karen Scruton, MS,

Jefa - Sección de Estudios de Salud.....Nykiconia Preacely, DrPH, MPH, CPH,

El uso de nombres comerciales es solo para identificación y no constituye respaldo por parte del Servicio de Salud Pública o el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU.

Envíe sus comentarios sobre este informe a:

Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y  
Enfermedades (ATSDR)  
Attn: Records Center  
4770 Buford Highway, NE, MS-S106-5  
Chamblee, Georgia 30341

Puede Contactar ATSDR Libre de cargos al:

1-800-CDC-INFO

or

Visite nuestra página de inicio en: <https://www.atsdr.cdc.gov>

## **EVALUACIÓN DE SALUD PÚBLICA**

**Sitio de Contaminación de Agua Subterránea en Dorado, Puerto Rico**

**Evaluación de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) en Agua Potable Pública**

**Identificación de la Instalación de la Agencia de Protección Ambiental**

**(Environmental Protection Agency, EPA): PRN000201872**

preparado por:

Oficina de Salud Comunitaria y Evaluación de Riesgos  
Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU.  
Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y  
Enfermedades

Esta información se distribuye únicamente con el propósito de obtener comentarios públicos previos a la difusión final según las guías de calidad de la información aplicables. El mismo no ha sido difundido formalmente por la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades

No representa y no debe interpretarse como una representación de ninguna determinación o política de la agencia.

## Resumen

---

### Introducción

La prioridad principal de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) en este sitio es garantizar que las personas que viven en Dorado, Puerto Rico, tengan la mejor información posible para proteger su salud.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU. incluyó el sitio de contaminación de aguas subterráneas de Dorado en la Lista Nacional de Prioridades (National Priorities List, NPL) el 7 de abril del 2016. La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) es responsable de realizar actividades de salud pública en los sitios en la NPL.

El sistema de pozos de Dorado suministra agua potable a más de 67,000 personas en Dorado. Algunos compuestos orgánicos volátiles (COVs), principalmente tetracloroetileno (conocido también como percloroetileno, PCE), y tricloroetileno (TCE), han sido detectados en niveles bajos en el sistema de pozos de agua potable desde la década de 1980. También se detectaron desinfectantes y subproductos de la desinfección (disinfection-by-products, DBP) como trihalometanos (THM) en niveles bajos.

El propósito de esta evaluación de salud pública (Public Health Assessment, PHA) fue determinar si la comunidad se vio perjudicada por la exposición a COVs en el agua de pozos de Dorado y qué medidas de salud pública deberían tomarse para reducir las exposiciones perjudiciales. Debido a la limitada disponibilidad de datos, la ATSDR centró su evaluación solo en la exposición a COVs del agua potable de Dorado. La ATSDR halló que algunos COVs detectados en las aguas subterráneas estaban **relacionados con el sitio**, mientras que otros COVs **no estaban relacionados con el sitio** y se originaron a partir de una fuente de agua de conexión que tenía contaminación por subproductos de la desinfección, debido al uso de desinfectantes en el agua. Otras posibles vías de exposición pueden evaluarse en detalle en el futuro a medida que se recopilen más datos del sitio.

La ATSDR hizo todo lo posible por obtener datos ambientales críticos del sitio; sin embargo, existen limitaciones significativas en los datos. Sin datos históricos o conocimientos sobre la fuente de contaminación, existen incertidumbres significativas en la estimación del potencial de efectos perjudiciales para la salud en este sitio. La ATSDR utilizó suposiciones conservadoras para proteger la salud de la comunidad. Por lo tanto, las exposiciones reales pueden ser diferentes de las descritas en este documento.

## Conclusiones

La ATSDR llegó a dos conclusiones importantes en la evaluación (PHA):

### Conclusión 1

*Las personas que usan el sistema público de agua para beber, cocinar y bañarse en el área de Dorado desde 1984 (cuando se descubrió la contaminación por primera vez) hasta la actualidad no tienen probabilidades de tener efectos perjudiciales para la salud debido a los bajos niveles de contaminantes en el agua.*

### Fundamentos de la conclusión 1

La ATSDR halló que algunas sustancias químicas en el agua potable estaban relacionadas con la contaminación de las aguas subterráneas (relacionadas con el sitio) y otras sustancias químicas estaban relacionadas con la adición de desinfectantes para eliminar microbios en el agua (no relacionadas con el sitio).

Sustancias químicas relacionadas con el sitio (contaminación de aguas subterráneas)

#### Tricloroetileno (TCE)

- **Pocas muestras contenían TCE por encima de los estándares del agua potable.** Solo tres de las más de 200 muestras analizadas tenían niveles de TCE por encima de 5.0 partes por mil millones (ppb), el estándar de agua potable de la EPA.
- **Se cerraron los pozos con niveles más altos.** Los niveles de TCE variaron de indetectables a 6.4 ppb. La mitad de las muestras tuvieron niveles de TCE por debajo del límite de detección de 0.5 ppb. El nivel más alto (6.4 ppb) se registró en febrero del 2006 en el pozo Maguayo 3, que fue retirado de servicio en el 2011 (Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico [Puerto Rico Aqueducts and Sewers Authority, PRASA] 2017).
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que las que demuestran que causan problemas de salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando el máximo de TCE de 6.4 ppb, lo que resultó en dosis totales estimadas que oscilaron entre 0.0005 y 0.0022 miligramos por kilogramo por día (mg/kg/día) para diferentes grupos etarios. Estas dosis están muy por debajo del nivel de efecto (0.37 mg/kg/día) de los estudios científicos disponibles, que mostraron disminución del peso del timo e inmunotoxicidad del desarrollo. Para las mujeres embarazadas, la dosis estimada de 0.0006 mg/kg/día es mucho más baja que la dosis más baja que causó efectos perjudiciales en estudios de reproducción en animales de 0.0051 mg/kg/día [ATSDR 2013, 2014].
- **El riesgo de cáncer estimado fue bajo.** La ATSDR estimó un aumento de los riesgos de cáncer de por vida para exposiciones a largo plazo a la concentración máxima de 6.4 ppb de TCE. Los riesgos estimados, menos de 2 y 6 por cada 100,000 adultos o niños expuestos, se consideran bajos.

#### Tetracloroetileno (PCE)

- **Pocas muestras contenían PCE por encima de los estándares del agua potable.** Los niveles de PCE variaron de indetectables a 15 ppb. Desde el

2008 al 2015, aproximadamente el 10 por ciento de las muestras tuvieron niveles de PCE por encima de 5.0 ppb. El nivel más alto (15 ppb) se registró en el 2019 en el pozo Maguayo 4 [USEPA 2020].

- **Las dosis estimadas fueron más bajas que las que se demostró que causan problemas de salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando el máximo de PCE de 15 ppb, lo que resultó en dosis estimadas que oscilaron entre 0.0015 y 0.0064 mg/kg/día según el grupo etario. Este rango de dosis estimado es más bajo que los valores de las guías de selección para la salud de la EPA y la ATSDR de 0.006 mg/kg/día y 0.008 mg/kg/día para los efectos no cancerígenos, respectivamente y, por lo tanto, no es probable que dañe la salud de las personas.
- **El riesgo de cáncer estimado fue bajo.** La ATSDR estimó un aumento de los riesgos de cáncer de por vida para exposiciones a largo plazo a la concentración máxima de 15 ppb de PCE. Los riesgos estimados, menos de 2 por cada 100,000 adultos o niños expuestos, se consideran muy bajos.

#### **Sustancias químicas relacionadas con la desinfección (no relacionadas con el sitio)**

- **Sustancia química relacionada con la desinfección por debajo de los estándares del agua potable.** Todas las concentraciones máximas de sustancias químicas relacionadas con la desinfección estuvieron por debajo de los estándares del agua potable segura de la EPA y los valores de comparación no cancerígenos de la ATSDR. Por lo tanto, no se asociarían con efectos no cancerígenos perjudiciales para la salud, como irritación de la piel, o lesión hepática o renal. Además, es probable que las concentraciones promedio de esas sustancias químicas en el sistema de agua potable sean inferiores a los valores máximos, ya que el agua se mezcla antes de llegar a los grifos residenciales.
- **No se puede calcular el riesgo de cáncer.** La ATSDR no puede concluir si la exposición a los niveles de desinfectantes y subproductos de la desinfección (DBP) en el agua potable podría ocasionar un mayor riesgo de cáncer. El motivo de esto es que existen limitaciones de datos significativas (falta de contribución del porcentaje de mezcla completa y falta de datos de muestreo de agua corriente del sitio para los DBP, y ausencia de factores de pendiente del cáncer para algunos de los desinfectantes y DBP detectados) para estimar los aumentos en el riesgo de cáncer.
- Cuando se usan sustancias químicas para la desinfección del agua de manera adecuada, los beneficios de eliminar los microbios que podrían causar enfermedades repentinas y graves superan con creces el posible aumento bajo del riesgo de cáncer.

---

## **Conclusión 2**

*La ATSDR no cuenta con información suficiente para determinar si pueden estar ocurriendo exposiciones perjudiciales del suelo o intrusión de vapor.*

**Fundamentos de la conclusión 2**

La fuente de contaminación del agua subterránea sigue siendo desconocida. Las áreas fuente pueden tener niveles más altos de contaminación. La ATSDR no puede saber si alguien está en contacto con el suelo o el aire dentro de los edificios que pueden estar contaminados en las áreas de origen. Los niveles de contaminantes en las fuentes de contaminación o cerca de ellas podrían ser muy diferentes de los lugares donde se hizo el muestreo. No tenemos suficiente información para concluir si las sustancias químicas en el suelo o el aire dentro del edificio podrían dañar la salud de las personas. Estamos trabajando con el estado y la EPA para recopilar esta información e identificar la fuente de contaminación.

- **La EPA no ha encontrado la fuente de contaminación.** La EPA llevó a cabo una evaluación preliminar/inspecciones del sitio (Preliminary Assessment/Site Inspections, PA/SI) en 21 instalaciones cerca de la contaminación de aguas subterráneas para identificar posibles fuentes contaminantes. La EPA recolectó 279 muestras de suelo y 50 muestras de agua subterránea. Hubo muy pocas muestras de suelo superficial (3 muestras) y muestras de gas del suelo (2 muestras).
- La EPA informó los resultados de un análisis de niveles de detección de posible intrusión de vapor en las áreas analizadas. Las concentraciones de contaminantes detectadas se compararon con los niveles de detección de intrusión de vapor (vapor intrusion screening levels, VISL) de la EPA y todas estuvieron por debajo de los VISL residenciales. Pueden encontrarse más detalles en la Evaluación de riesgos para la salud humana (Human Health Risk Assessment, HHRA) de la EPA.

**Próximos pasos****La EPA y/o el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) de Puerto Rico harán lo siguiente:**

Continuarán los esfuerzos para identificar la fuente, recolectarán muestras adicionales para caracterizar el alcance de la contaminación e implementarán medidas correctivas para abordar y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas.

**El Departamento de Salud de Puerto Rico (DSPR) hará lo siguiente:**

Continuará supervisando la operación del sitio de Dorado, el mantenimiento y el monitoreo de rutina del agua realizado por el operador local del sistema de agua, de acuerdo con los requisitos de la Ley de Agua Potable Segura.

**La ATSDR hará lo siguiente:**

Evaluará los datos adicionales recopilados por la EPA y el DSPR y actualizará los hallazgos de este informe, si es necesario.

**Para obtener más información**

Para obtener más información sobre esta evaluación de salud pública, llame a la ATSDR al 1-800-CDC-INFO y solicite información sobre el “Sitio de contaminación de aguas subterráneas de Dorado”. Si tiene inquietudes sobre su salud, comuníquese con su proveedor de atención médica.

## Índice de contenidos

Resumen .....	i
Lista de abreviaturas.....	vi
Objetivo.....	1
Antecedentes .....	1
Descripción e historial del sitio.....	1
Visita al sitio .....	2
Características demográficas.....	2
Análisis.....	4
Datos utilizados .....	4
Proceso de evaluación .....	5
Evaluación de datos ambientales .....	7
Consecuencias para la salud pública.....	8
Inquietudes de salud comunitaria .....	19
Limitaciones de datos y falta de certeza .....	20
Conclusiones y recomendaciones.....	21
Bibliografía.....	24
Apéndice A: Cálculos de la dosis de exposición.....	30
Apéndice B: Glosario de términos .....	35
Apéndice C: Tablas .....	40

**Lista de abreviaturas**

ATSDR	(Agency for Toxic Substances and Disease Registry) Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
CDC	(Centers for Disease Control and Prevention) Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades
CEPD	(Caribbean Environmental Protection Division) División de Protección Ambiental del Caribe
CREG	(Cancer Risk Evaluation Guide) Guía de Evaluación de Riesgo de Cáncer
COSV	Compuestos Orgánicos Semivolátiles
COV	Compuesto Orgánico Volátil
VC	Valor de Comparación
DBP	(Disinfection by-product) Subproducto de la Desinfección
DSPR	Departamento de Salud de Puerto Rico
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales
EPA	(United States Environmental Protection Agency) Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
HAA	(haloacetic acids) Ácidos Haloacéticos
IARC	(International Agency for Research on Cancer) Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
JCAPR	Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico
LOAEL	(lowest observed adverse effect level) Concentración Mínima con Efecto Adverso Observado
IRIS	(Integrated Risk Assessment System) Sistema Integrado de Evaluación de Riesgos
MCL	(Maximum Contaminant Level) Nivel Máximo de Contaminantes
mg/L	Miligramos por Litro
MLE	(Maximum Likelihood Mean) Media de Probabilidad Máxima
MRDLG	(Maximum Residual Disinfectant Level Goal) Objetivo de Nivel Máximo de Desinfectante residual
MRL	(Minimal Risk Level) Nivel de Riesgo Mínimo
NCEH	(National Center for Environmental Health) Centro Nacional de Salud Ambiental
NPL	(National Priorities List) Lista Nacional de Prioridades
PCB	(polychlorinated biphenyl) Policlorobifenilo
PCE o PERC	(tetrachloroethylene or perchloroethylene) Tetracloroetileno o Percloroetileno
ppb	Partes por mil millones, o partes por billón
PRASA	(Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority) Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico
RfD	(reference dose) Dosis de Referencia
RMEG	(Reference Media Evaluation Guide) Guía de Evaluación de Medios de Referencia
TCE	Tricloroetileno (o Tricloroetano)
µg/L	Microgramos por Litro

## Objetivo

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU. incluyó el sitio de contaminación de aguas subterráneas de Dorado (el sitio) en la Lista Nacional de Prioridades (NPL) el 7 de abril del 2016. La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) es responsable de realizar actividades de salud pública en los sitios de la NPL. Esta evaluación de salud pública evalúa la significancia del sitio para la salud pública.

## Antecedentes

### Descripción e historial del sitio

El sitio está ubicado en un área mixta residencial, comercial e industrial en el centro norte de Puerto Rico, dentro del municipio de Dorado. El agua subterránea del sitio ha sido contaminada con solventes de base orgánica. La fuente de la contaminación aún está bajo investigación y la EPA ha evaluado algunas ubicaciones para detectar posibles responsables.

Dorado cuenta con cuatro sistemas de suministro de agua potable registrados ante la EPA bajo el sistema de suministro público de agua (Public Water Supply System, PWS): dos sistemas activos de suministro de pozos de agua subterránea (Maguayo y Dorado Urbano); un sistema de pozo inactivo (Vivoni) ubicado al sur (gradiente ascendente) de los otros pozos; y el sistema del Superacueducto (agua superficial de la costa noroeste de la isla utilizada para complementar el suministro de agua desde 2001). Los sistemas de aguas subterráneas y aguas superficiales combinados proporcionan agua potable a más de 67 000 personas [WESTON 2015]. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority, PRASA) opera los sistemas de agua de Dorado.

La figura 1, a continuación, muestra las ubicaciones de las líneas de agua de los pozos. La tabla C1 del apéndice C muestra un resumen de los sistemas de pozos de Dorado.

#### *Sistema de Maguayo (PWSID PR0005597)*

El sistema de Maguayo activo extrae agua del acuífero superior del sistema de acuíferos de roca caliza de la costa norte. Este acuífero es la fuente principal de agua dulce para Dorado y es, históricamente, la fuente principal de uso de agua pública e industrial en la región norte. El sistema tiene seis pozos (Maguayo 2- Maguayo 7) que se construyeron desde 1968 hasta 1988. Históricamente, los pozos del sistema de Maguayo se retiran de servicio periódicamente y luego se reactivan. Los registros de la PRASA indicaron que los pozos Maguayo 2, Maguayo 6 y Maguayo 7 estaban activos en el 2015. Maguayo 3 y Maguayo 4 han estado fuera de servicio desde el 2011 y Maguayo 5 ha estado fuera de servicio desde el 2010. El agua subterránea se trata mediante cloración y se mezcla con agua superficial potable del sistema del Superacueducto antes de distribuirse a la comunidad [USEPA 2016].

#### *Sistema de Dorado Urbano (PWSID PR0005607)*

El sistema de Dorado Urbano combinado también extrae agua del acuífero superior del sistema de acuíferos de roca caliza de la costa norte. Hay ocho pozos en este sistema. Se construyeron dos pozos activos, Santa Rosa y Nevárez, en 1998 y el 2011, respectivamente. Algunos de los pozos del sistema se han cerrado temporalmente y otros se han cerrado permanentemente debido a la contaminación. Por ejemplo, San Antonio 2 e Higuillar han estado fuera de servicio desde 2005. San Antonio 1, San Antonio 3, Dorado Dairy 1 y Dorado Dairy 2 han estado fuera de servicio desde el 2006.

#### *Sistema de pozos de Vivoni (PWSID PR0005517)*

El sistema de pozo de Vivoni tiene solo un pozo, y está ubicado al sur de los otros sistemas de pozos. El pozo Vivoni ha estado inactivo desde el 2012.

#### *Sistema del Supercueducto de la Costa Norte (PWSID PR000)*

El sistema del Supercueducto de la costa norte es el proyecto de transmisión de agua más grande construido en Puerto Rico. El sistema consta de tuberías, estaciones de bombeo, plantas de filtración, tanques de almacenamiento de agua tratada y accesorios del sistema para controlar y distribuir agua potable en el área metropolitana de San Juan, incluido Dorado. El sistema toma agua superficial del Río Grande de Arecibo, que se alimenta principalmente de Lagos Dos Bocas, un lago en Utuado. El sistema del Supercueducto se conectó a los sistemas de agua subterránea de Dorado en el 2001 para complementar el suministro de agua que ya existía.

Desde la década de 1980, las muestras de agua recolectadas por PRASA y el Departamento de Salud de Puerto Rico (DSPR) han demostrado que los dos sistemas activos de agua subterránea (Maguayo y Dorado) han tenido detecciones de compuestos orgánicos volátiles (COV), principalmente tetracloroetileno (PCE) y tricloroetileno (TCE). Además, la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCAPR) y la EPA recolectaron numerosas muestras ambientales, que incluyeron agua subterránea y suelo, en el sitio.

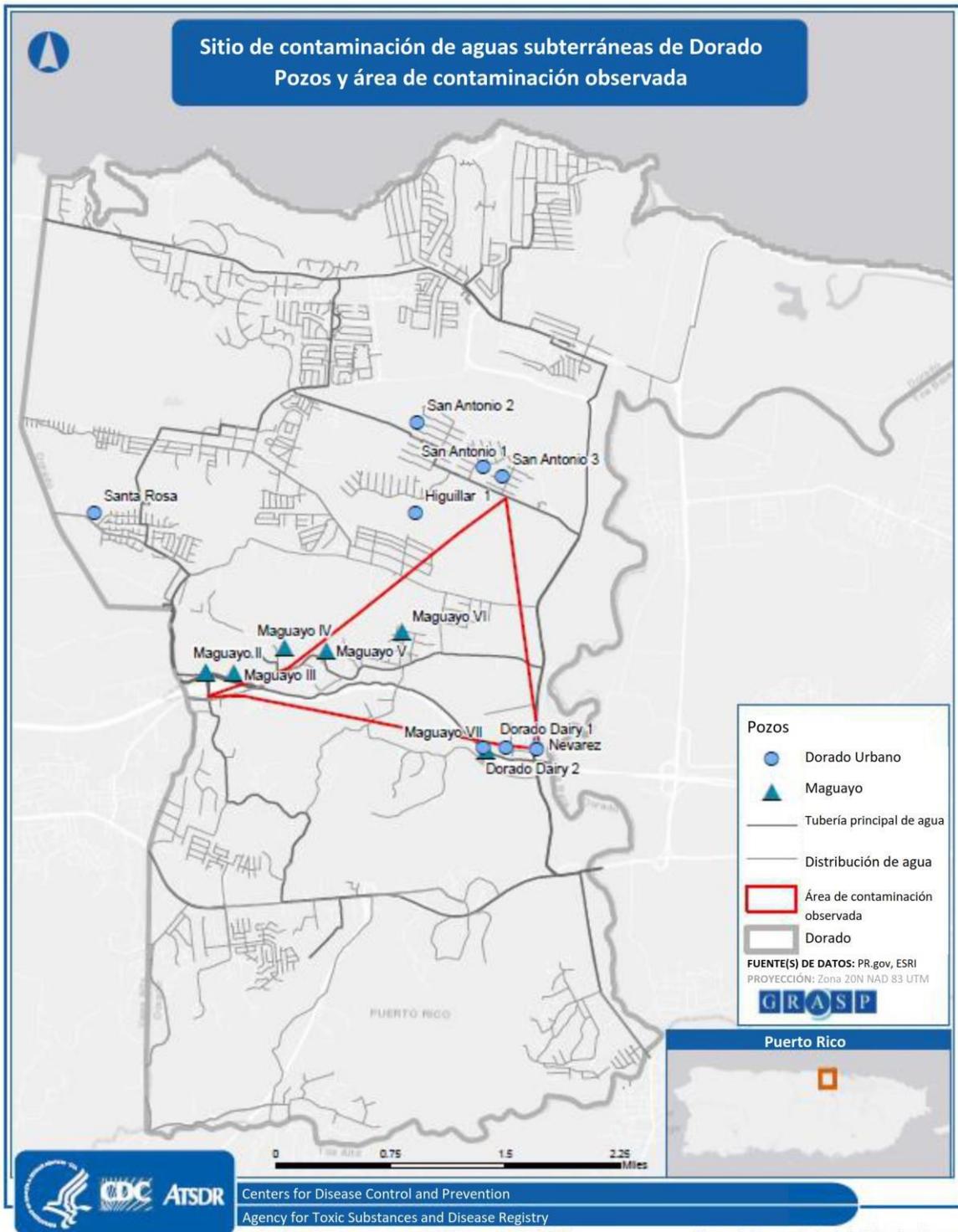
#### **Visita al sitio**

Como parte del proceso de evaluación de salud pública, en agosto del 2016, el personal de la ATSDR se reunió con funcionarios locales del DSPR, la División de Protección Ambiental del Caribe (Caribbean Environmental Protection Division, CEPD) de la EPA y la PRASA para realizar una visita al sitio. La ATSDR visitó el sistema público de distribución de agua potable del municipio de Dorado, los pozos de agua subterránea y las áreas circundantes. La ATSDR se comunicó con la CEPD para recibir más información actualizada sobre el sitio. En el 2019, la CEPD llevó a cabo un estudio de investigación correctiva y viabilidad (Remedial Investigation and Feasibility Study, RI/FS), que también incluyó una evaluación inicial de riesgos para la salud humana y una evaluación de riesgos ecológicos a nivel de detección. Durante este evento, se realizó la obtención de muestras ambientales de aguas subterráneas de pozos públicos y privados, y de aguas superficiales y sedimentos del Río de la Plata. La ATSDR no cuenta con los datos de muestreo ambiental completos de este evento; sin embargo, la evaluación preliminar de los datos en los documentos respalda la conclusión y recomendación basada en los datos de agua potable evaluados para el sitio [USEPA 2020]. Por ejemplo, utilizamos la concentración máxima de PCE (15 µg/L) detectada en el evento de RI/FS.

#### **Características demográficas**

El sitio se encuentra en la ciudad de Dorado. Según los datos del Censo de los EE. UU. del 2010, la población total que vivía dentro de los límites de la ciudad de Dorado era de 38,307 habitantes. La mayoría de la población es de origen hispano o latino (98 %). Las estadísticas demográficas del Censo de los EE. UU. del 2010 también muestran que la población que vive alrededor de los sistemas de pozos incluye los siguientes grupos potencialmente sensibles: aproximadamente 9.5 % de los niños tienen 6 años de edad o menos; el 21 % de las mujeres son de edad fértil; y el 12 % de los adultos son de 65 años o más [Censo de los EE. UU. 2010].

**Figura 1. Líneas de agua y ubicaciones de pozos, Dorado, Puerto Rico**



## Análisis

### Datos utilizados

Los datos de muestreo ambiental son fundamentales para el proceso de evaluación de salud pública. La ATSDR evaluó los datos ambientales disponibles para determinar la posible exposición a contaminantes de aguas subterráneas en el sitio.

La Región 2 de la EPA proporcionó el paquete del sistema de clasificación de peligros (Hazard Ranking System, HRS) con registros de documentación y referencias detallados en el paquete. Entre los 53 documentos de referencia disponibles, la ATSDR identificó datos de muestreo ambiental relevantes en los documentos. Además, las muestras ambientales (agua subterránea y suelo) recolectadas por la EPA y la PRASA (a solicitud de la JCAPR) del 2002 al 2015 estuvieron disponibles para esta revisión. En este documento, también consideramos el muestreo de aguas subterráneas del RI/FS 2019 por parte de la EPA.

#### *Orden cronológico de eventos de muestreo y fuente de datos*

*Datos de la EPA del 2008:* En 2008, durante el evento de muestreo de la Iniciativa de Descubrimiento del Sitio de Maguayo, la EPA recolectó muestras de agua subterránea, (6) de 4 pozos de Maguayo (Maguayo 3, 5, 6 y 7) y el pozo Vivoni [WESTON 2008].

*Datos de la EPA del 2009:* En 2009, durante la segunda fase del evento de muestreo de la Iniciativa de Descubrimiento del Sitio de Maguayo, la EPA recolectó muestras de agua subterránea: (7) de 3 pozos de Maguayo (Maguayo 2, 6 y 7), (1) en pozo de Dorado Urbano (Santa Rosa) y en el pozo Vivoni [WESTON 2010].

*Datos de la EPA del 2011 y el 2013:* La EPA llevó a cabo una evaluación preliminar/inspecciones del sitio (PA/SI) y reevaluación del sitio (Site Reassessment, SR) en 21 instalaciones para identificar posibles fuentes contaminantes. Durante el evento de PA/SI, la EPA recolectó un total de 279 muestras de suelo y 50 muestras de agua subterránea. Durante los eventos de SR, la EPA recolectó muestras limitadas de suelo superficial (3 muestras) y de gas del suelo (2 muestras), muestras subsuperficiales (370 muestras) y muestras de agua subterránea (62 muestras). [WESTON 2011a-j, 2012, 2014a-e]. Consulte la tabla 2 del apéndice C para obtener un resumen de las muestras.

*Datos de la EPA del 2015:* En septiembre del 2015, la EPA recolectó 19 muestras de agua subterránea tanto de pozos de suministro de agua activos como inactivos. Los cinco pozos activos muestreados fueron Nevárez, Santa Rosa, los pozos Maguayo 2, 6 y 7. Los pozos inactivos muestreados fueron San Antonio 2, San Antonio 3, Higuillar, Dorado Dairy 2, Nevárez, Vivoni y Maguayo 3-5 [USEPA 2015].

*Datos de PRASA 2002-2015:* La PRASA proporcionó datos de muestreo disponibles de 2002-2015 para los pozos en los sistemas Dorado [WESTON 2015a-b]. Consulte la tabla 3 del apéndice C para obtener un resumen de las muestras.

*Datos del Sistema del Superacueducto de la Costa Norte:* La PRASA proporcionó un conjunto de datos que incluyó resultados de pruebas trimestrales de los últimos 15 años. Las sustancias químicas detectadas son todos subproductos de la cloración; no se detectaron TCE/PCE [PRASA 2017].

*Datos de la EPA del 2019:* Como parte de un estudio de investigación correctiva/viabilidad (RI/FS), el contratista de la EPA realizó una evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA). Las investigaciones se extendieron a través de 19 pozos en Dorado durante abril-mayo (ronda 1) y agosto del 2019 (ronda 2) [USEPA 2020].

La ATSDR también revisó la información sobre las especificaciones de aseguramiento de calidad (Quality Assurance, QA)/control de calidad (Quality Control, QC) para la calidad de los datos de campo y laboratorio para verificar la aceptabilidad y adecuación de los datos, incluidas las hojas de cadena de custodia, las narrativas de los proyectos y las certificaciones de laboratorio. Los métodos de análisis de laboratorio y los procedimientos de QA/QC se consideraron apropiados. Esta evaluación incluyó todos los resultados analíticos validados.

### **Proceso de evaluación**

La ATSDR proporciona recomendaciones de salud pública específicas del sitio basadas en una evaluación de la bibliografía toxicológica, los niveles de contaminantes ambientales detectados en un sitio comparados con los valores de comparación (VC) basados en la salud, las características de la población expuesta, y la frecuencia y duración de la exposición. En esta sección, se describe brevemente el proceso típico mediante el cual la ATSDR evalúa el potencial de efectos adversos para la salud que resultan de la exposición a contaminantes del sitio. Consulte los apéndices A y B para obtener una descripción más detallada y terminología.

La ATSDR evalúa las formas en que las personas pueden entrar en contacto con medios contaminados, que pueden provocar que las personas se expongan a los contaminantes (vías de exposición). Las vías de exposición consisten en cinco elementos que deben estar presentes para que ocurra la exposición, ya sea que esa exposición sea en el pasado, en la actualidad o en el futuro. Los cinco elementos y su relación con el sitio se enumeran a continuación:

1. Una *fuentes* de contaminación: Aún no se ha identificado la fuente de contaminación del sitio, pero se presume que se debe a la contaminación presente en el agua subterránea del sitio.
2. Transporte a través de un *medio* ambiental: El agua potable es el medio que transportó la contaminación con COV.
3. Un *punto de exposición*: Los residentes de Dorado obtuvieron agua potable de los pozos contaminados.
4. Una *vía de exposición*: Los residentes de Dorado bebieron y se bañaron en el agua, y es posible que hayan inhalado vapores contaminantes del agua.
5. *Población expuesta*: Aproximadamente 67,000 personas recibieron el suministro de los pozos.

El análisis de la vía de exposición (Tabla 1) indica que existía una vía de exposición al agua subterránea completa (para el pasado y el presente) para quienes usaban agua del sitio.

**Tabla 1: Vías de exposición para el sitio de contaminación de agua subterránea en Dorado, Puerto Rico**

Vía de exposición	Fuentes de contaminación	Destino y transporte	Punto de exposición	Población expuesta	Vía de exposición	Clasificación de la vía
<b>Suministro Público de Agua</b>	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Infiltración de contaminantes en pozos municipales; infiltración de contaminantes en el suelo a través de tuberías de agua rotas	Grifo/Llave de agua residencial	Residentes del área que reciben agua potable pública	Dérmica Ingestión Inhalación	Pasado (completado) Presente (completado) Futuro (completado)
<b>Pozos de Agua subterránea privados</b>	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Migración de aguas subterráneas contaminadas a áreas con pozos privados	Agua corriente residencial; otros grifos de agua potable	Personas que usan pozos privados	Dérmica Ingestión Inhalación	Pasado (eliminado) Presente (eliminado) Futuro (potencial)
<b>Intrusión de Vapor</b>	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Migración de vapores subsuperficiales al aire interior	Estructuras cerradas sobre suelo o aguas subterráneas contaminados	Personas que viven o trabajan en casas o edificios construidos sobre una subsuperficie contaminada	Inhalación	Pasado (potencial) Presente (potencial) Futuro (potencial)
<b>Suelos Superficiales</b>	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Eliminación inadecuada o derrame de productos químicos en el suelo	Propiedad en el lugar y residencias cercanas	Trabajadores de instalaciones, residentes/propietarios	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasado (potencial) Presente (potencial) Futuro (potencial)
<b>Suelos Subsuperficiales</b>	Emanación de operaciones desconocidas alrededor del sitio	Suelo subsuperficial transportado o liberado del sitio	Áreas de excavación de la superficie; filtraciones por encima de la superficie	Personas que entran en contacto con suelos subsuperficiales contaminados	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasado (potencial) Presente (potencial) Futuro (potencial)
<b>Agua Superficial</b>	Emanación de operaciones desconocidas alrededor del sitio	Migración de agua subterránea y suelos contaminados al Río de la Plata	Río de la Plata	Personas que entran en contacto con agua superficial contaminada	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasado (potencial) Presente (potencial) Futuro (potencial)

La ATSDR no puede evaluar en más detalle la intrusión de vapor y las vías de exposición mediante suelo superficial porque las fuentes de contaminación no se identifican, y hay muestras limitadas de suelo superficial y vapor de suelo. La EPA aún está investigando las fuentes de contaminación. Durante los eventos de PA/SI y SR, la EPA recolectó cientos de muestras de suelo y muestras de agua subterránea. Pero, hubo muy pocas muestras de suelo superficial (3 muestras) y muestras de gas del suelo (2 muestras). Además, las concentraciones de contaminantes en las fuentes de contaminación o cerca de ellas podrían ser muy diferentes de los lugares donde se hizo el muestreo. Por lo tanto, la ATSDR no puede evaluar las consecuencias para la salud de la exposición pasada, presente o futura por intrusión de vapores y el suelo superficial.

La ATSDR evaluó la vía de exposición *completa* para el agua pública para determinar si algún posible efecto en la salud puede estar asociado con la exposición al agua contaminada:

- Cuando se presentan los resultados del muestreo ambiental integral de sustancias químicas, la ATSDR reduce la cantidad de contaminantes que deben evaluarse mediante el estudio selectivo de los resultados para cada sustancia química comparados con los *valores de comparación* (VC) basados en la salud: concentraciones de sustancias químicas en el medioambiente (aire, agua o suelo) por debajo de las cuales no se espera que ocurran efectos adversos para la salud humana. Si un contaminante está presente a un nivel superior al VC correspondiente, eso no significa que se producirán efectos adversos para la salud; el contaminante se retiene simplemente para el siguiente paso de la evaluación. Seguimos el Manual de orientación de salud pública de la ATSDR para seleccionar VC [ATSDR 2005a]. En algunos casos, se utilizó el criterio profesional para seleccionar los VC más apropiados para las condiciones específicas del sitio.
- El siguiente paso de la evaluación se centra en identificar qué sustancias químicas y situaciones de exposición podrían considerarse un peligro para la salud. Calculamos las *dosis de exposición* (cantidades estimadas de un contaminante con el que las personas entran en contacto y que entran en los cuerpos en función de un peso corporal equivalente) en situaciones de exposición especificadas, generalmente comenzando con los supuestos en el “peor de los casos”, que dan como resultado la dosis más alta esperada. Cada dosis de exposición calculada se compara con las guías de selección para la *salud* correspondiente, generalmente un nivel de riesgo mínimo (MRL) de la ATSDR o una dosis de referencia (RfD) de la EPA para esa sustancia química, si está disponible. Las guías de selección para la salud se consideran dosis seguras; es decir, si la dosis calculada es igual o inferior a la guía de salud, no se esperan efectos adversos para la salud.
- Si la dosis de exposición en el “peor de los casos” para una sustancia química es mayor que las guías de selección para la salud, entonces la dosis de exposición puede refinarse para reflejar exposiciones reales más cercanas que ocurrieron o están ocurriendo en el sitio. La dosis de exposición refinada luego se compara con los niveles conocidos de efectos sobre la salud para los efectos no relacionados con el cáncer y se utiliza para estimar los riesgos de cáncer identificados en los perfiles toxicológicos de la ATSDR o en el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS) de la EPA. *Estas comparaciones son la base para determinar si la exposición presenta un riesgo para la salud.*

### **Evaluación de datos ambientales**

Para la vía de exposición al suministro público de agua completa, la ATSDR revisó alrededor de 1,500 muestras. La ATSDR evaluó los datos ambientales de aproximadamente 150 sustancias químicas, incluidas dioxinas/furanos, metales, pesticidas, bifenilos policlorados (PCB), compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos orgánicos semivolátiles (COSV). Los niveles de contaminantes que no excedieron un VC no se evaluaron más porque estas concentraciones eran demasiado bajas para causar efectos adversos para la salud. Seis sustancias químicas encontradas en los pozos de agua subterránea y ocho sustancias químicas encontradas en el sistema del Superacueducto superaron sus respectivos VC. La tabla 2 a continuación es un resumen de las sustancias químicas.

**Tabla 2-. Resumen de sustancias químicas por encima de los valores de comparación**

Sustancias químicas	Concentración más alta detectada en la muestra de agua subterránea, µg/L	Concentración más alta detectada en la muestra del Superacueducto, µg/L	VC de la ATSDR en µg/L	Evaluación adicional necesaria (Sí/No)	Cantidad de detecciones
PCE	15	No detectado	12 – CREG	Sí*	173
TCE	6.4	No detectado	0.43 – CREG	Sí	144
1,2-dicloroetano	0.5	No detectado	0.27 – CREG	No	1
Benceno	0.5	No detectado	0.44 – CREG	No	1
Cloruro de vinilo	0.9	No detectado	0.017 – CREG	No	1
Bromodichlorometano	8.4	15.8	0.39 – CREG	Sí	67
Dióxido de cloro	No analizado	3500	210 – RMEG	No	2
Di(2-etilhexil)ftalato	5	4.8	1.7 – CREG	No	1
Dicloramina	No analizado	1320	700**	Sí	12
Ácido tricloroacético	No analizado	24.7	0.35 – CREG	Sí	61
Ácido dicloroacético	No analizado	22	0.49 – CREG	Sí	61
Monocloramina	No analizado	980	700 – RMEG	Sí	21
Dibromoclorometano	1.8	6.4	0.29 – CREG	Sí	40

Consulte el apéndice A para obtener definiciones e información adicional sobre los VC. VC = valor de comparación del agua; µg/L = microgramos de contaminante por litro de agua; RMEG = evaluación de medios de referencia; CREG = guía de evaluación del riesgo de cáncer; EMEG = guía de evaluación de medios ambientales; fuentes de datos: según se resume en la sección "Datos utilizados".

\* El nivel máximo de contaminantes (MCL) para tetracloroetileno es 5 µg/L.

\*\* El RMEG de la monocloramina se usa como variable sustitutiva para la dicloramina

Cinco sustancias químicas (a saber, 1,2-dicloroetano, benceno, dióxido de cloro, di[2-etilhexil]ftalato y cloruro de vinilo), que tienen solo 1 o 2 detecciones, no se analizan en más detalle debido a los datos limitados y a las concentraciones generalmente bajas. La ATSDR retuvo ocho sustancias químicas para evaluaciones adicionales. Se detectaron PCE y TCE solo en aguas subterráneas. Se detectaron desinfectantes (dicloramina y monocloramina) y DBP (bromodichlorometano, dibromoclorometano, ácido dicloroacético y ácido tricloroacético) principalmente en el agua superficial del sistema del Superacueducto. Los desinfectantes y los DBP no están relacionados con la contaminación del agua subterránea. La ATSDR evaluó el PCE, el TCE, los desinfectantes y los DBP en más detalle en este documento.

### Consecuencias para la salud pública

Para las sustancias químicas que superan los valores de comparación, la ATSDR calcula las dosis de exposición estimadas (la cantidad de sustancia química a la que una persona está expuesta) y determina el potencial de efectos cancerígenos y no cancerígenos para la salud. Para calcular las dosis de exposición, la ATSDR hizo varias suposiciones. Las suposiciones se basan en los valores predeterminados del Manual de orientación de salud pública de la ATSDR [ATSDR 2005a], la Guía de dosis de exposición de la ATSDR [ATSDR 2016 a-d], el Manual de evaluación de exposición de la EPA [USEPA 2011a], el Manual de factores de exposición específicos para niños [USEPA 2008], y el criterio profesional. Cada dosis de exposición calculada se compara con las guías de selección para la salud correspondiente. Consulte el apéndice A para obtener un análisis detallado del proceso de evaluación de la ATSDR, los supuestos del cálculo de la dosis y los resultados.

A menudo, la ingestión es la fuente más significativa de exposición a sustancias químicas en el agua potable de un sitio. Sin embargo, en el caso de la contaminación con COV, la inhalación y las

exposiciones dérmicas pueden contribuir significativamente a la dosis de exposición total. En Dorado, las personas podrían haber estado expuestas a estas sustancias químicas de varias maneras:

- *Ingestión:* Las personas podrían beber el agua o comer alimentos preparados con el agua.
- *Inhalación:* Las personas podrían inhalar COV que se volatilizaron (pasaron al aire) desde el agua durante la ducha, el baño u otros usos domésticos. La ducha se considera un factor importante para la exposición general porque los COV se evaporan rápidamente del agua caliente al aire. La ducha generalmente se realiza en un espacio pequeño y cerrado donde pueden acumularse concentraciones de COV. Alrededor del 50 % al 90 % de los COV en el agua pueden convertirse en su forma de gas (mediante volatilización) durante la ducha, el lavado de la ropa y otras actividades [Moya *et al.* 1999; Giardino y Andelman 1996].
- *Exposición dérmica:* Además de inhalar los COV del aire, las personas pueden absorber la sustancia química a través de la piel. Las personas podrían haber absorbido los COV a través de la piel durante la ducha, el baño u otras actividades.

La ATSDR utilizó el modelo de exposición por la ducha y el uso de agua en el hogar (Shower and Household Water-use Exposure, SHOWER), un modelo de tres compartimientos para evaluar la exposición residencial a la volatilización de PCE y TCE a partir del uso de agua en interiores. El modelo SHOWER tiene en cuenta la inhalación y la exposición dérmica de la mayoría de los usos comunes del agua en interiores, como duchas, baños, lavadoras de ropa y lavaplatos. El modelo predice las exposiciones para todo el día y para hogares de hasta cuatro personas [ATSDR 2018].

Debido a que el PCE y el TCE tienen los mismos criterios de valoración tóxicos a través de las vías oral y de inhalación, los resultados de este modelo de ducha se agregaron a nuestras estimaciones de exposición por ingestión para una dosis de exposición total estimada combinada.

La ATSDR comparó los niveles de efectos en estudios científicos clave con las dosis de exposición estimadas (exposiciones por ingestión, inhalación y dérmicas) para niños y adultos, a fin de evaluar el potencial de efectos en la salud.

Como se mencionó anteriormente en este documento, Dorado tiene cuatro sistemas de suministro de agua que combinan agua subterránea y agua superficial para proporcionar agua potable. Por los motivos que se enumeran a continuación, la ATSDR utilizó los valores máximos (suposición del peor escenario posible) de sustancias químicas detectadas para calcular las dosis de exposición para la población de Dorado:

- (1) Los pozos de aguas subterráneas se retiran de servicio y se reactivan periódicamente. Sin embargo, no se dispuso de un calendario completo (p. ej., contribución porcentual anual de pozos operativos) para el uso de pozos. La única información disponible fue para el año 2015, como se indica en la Tabla C1 del Apéndice C.
- (2) El agua del Superacueducto se mezcla con el agua subterránea para su distribución. Ha estado conectada al sistema de aguas subterráneas de Dorado desde el 2001. Solo tenemos información del porcentaje de contribución del sistema para el año 2015. Asumimos que la contribución porcentual es la misma desde el 2001 hasta el 2016. Mezclar agua subterránea y agua superficial cambiará la concentración de contaminantes presentes en los sistemas.
- (3) Los COV se detectaron por primera vez en los pozos de agua subterránea en 1984. Sin embargo, no tenemos datos históricos de pozos de 1984-2001. No disponemos de datos completos para todos los pozos cuando estaban activos. Por ejemplo, Maguayo 2 se construyó en 1968 y aún está activo actualmente, pero faltan datos de 1984 al 2001. Solo tenemos datos de PCE y TCE en los años 2002 y 2003. Faltan datos del 2004, 2005, 2006 y 2008. También faltan datos de otros

pozos, como se indica en la Tabla C3 del Apéndice C. Asumimos que la exposición comenzó en 1984 y los niveles de contaminación de 1984 al 2001 fueron similares a los años para los cuales tenemos datos; sin embargo, los niveles podrían haber sido mayores o menores.

### **Exposición al tricloroetileno (TCE)**

El TCE es un líquido incoloro y volátil que se utiliza como solvente para limpiar piezas metálicas. El TCE líquido se evapora rápidamente en el aire. No es inflamable y tiene un olor dulce. El TCE es solo ligeramente soluble en agua, pero hay evidencia de que el TCE disuelto permanece en el agua subterránea durante períodos prolongados. Cuando está presente en las aguas subterráneas, el TCE de fase libre tiende a sedimentarse en una capa en la parte inferior del acuífero y luego se disuelve continuamente en el agua subterránea [ATSDR 2014].

#### **Posibles efectos no cancerígenos para la salud de la exposición al TCE en el agua**

Los efectos adversos no cancerígenos para la salud asociados con la exposición oral crónica a TCE incluyen disminución del peso corporal, efectos hepáticos y renales, y efectos neurológicos, inmunológicos, reproductivos y del desarrollo evidenciados en estudios en animales y seres humanos. Estudios epidemiológicos previos de mujeres que vivían en áreas donde el agua potable estaba contaminada con TCE, así como otros COV, han indicado un aumento del riesgo de varios tipos de defectos congénitos. Estudios en Arizona y Nueva Jersey sugirieron una asociación entre la contaminación del TCE en pozos de agua potable pública y defectos cardíacos, y el estudio de Nueva Jersey también encontró un aumento del riesgo de labio y paladar hendido y defectos del tubo neural [Bove *et. al.*, 1995, Goldberg *et. al.*, 1990]. Estudios de mujeres expuestas al agua potable contaminada con TCE han mostrado cierta evidencia de un aumento del riesgo de bajo o muy bajo peso al nacer, bajo peso al nacer a término y tamaño pequeño para la edad gestacional. En animales de laboratorio, la exposición a altos niveles de TCE ha dañado el sistema nervioso central, el sistema inmunitario, el hígado y los riñones, y ha afectado negativamente la reproducción y el desarrollo de las crías [ATSDR 2014]. La ATSDR adoptó la RfD de la EPA de 0.0005 mg/kg/día como su MRL oral crónico en enero del 2013 [ATSDR 2013].

Los datos de TCE de las aguas subterráneas de Dorado estuvieron disponibles del 2002 al 2015 para ocho pozos. Las concentraciones de TCE oscilaron de indetectables a 6.4 µg/L entre más de 200 muestras. La mitad de las muestras tienen concentraciones de TCE por debajo del límite de detección de 0.0005 µg/L. Solo tres muestras de Maguayo 3 y 6 tienen niveles por encima de la MCL de la EPA de 5.0 µg/L. La concentración más alta de 6.4 µg/L se registró en febrero del 2006 en Maguayo 3.

Usando la concentración de TCE medida más alta (6.4 µg/L), los resultados de las dosis totales estimadas oscilaron entre 0.0007 y 0.003 mg/kg/día (tabla 4). Esta es la suposición del “peor de los casos”, que daría como resultado la dosis más alta esperada. Además de usar la concentración máxima de TCE, utilizamos la exposición máxima razonable (reasonable maximum exposure, RME), que es la exposición máxima razonablemente esperada para una población. Por ejemplo, utilizamos a la persona más expuesta en el escenario del modelo de SHOWER; es decir, asumimos que la persona vive en una casa de 4 personas y se ducha, después de cuatro duchas matutinas consecutivas sin ventilación y permanece en la casa todo el día. En general, las dosis estimadas son más altas para los niños pequeños (1-6 años) que para los niños mayores (6 a <21 años) y los adultos (21+ años). La ATSDR comparó las dosis de exposición estimadas con el MRL de la ATSDR de 0.0005 mg/kg/día. Todas las dosis de exposición para niños y adultos superan el MRL (Tabla 4); por lo tanto, la ATSDR comparó las dosis de exposición estimadas con los niveles de efecto de los estudios disponibles. Los efectos adversos observados más sensibles, que se usaron como base principal para la RfD y el MRL, se basaron en los efectos críticos de malformaciones

cardíacas (ratas), efectos inmunológicos en adultos (ratones) e inmunotoxicidad del desarrollo (ratones), todos de estudios orales. La dosis más baja que, en estudios científicos, demostró tener una disminución del peso del timo e inmunotoxicidad del desarrollo es de 0.37 mg/kg/día. La dosis más baja que causa malformación cardíaca fetal es de 0.0051 mg/kg/día. Todas las dosis estimadas para los residentes de Dorado son muchas veces más bajas que las dosis más bajas con efectos adversos observados.

**Tabla 3. Dosis totales estimadas de exposición a TCE para el sitio de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis de ingestión (mg/kg/día)	Dosis de inhalación (mg/kg/día)	Dosis de absorción dérmica (mg/kg/día)	Dosis total (mg/kg/día)	Por encima del MRL de 0.0005 mg/kg/día (Sí/No)
Entre 0 y <1	0.0009	0.00098	0.000036	0.0010	Sí
Entre 1 y <2	0.0005	0.0025	0.000024	0.0030	Sí
Entre 2 y <6	0.0004	0.0017	0.000021	0.0021	Sí
Entre 6 y <11	0.0003	0.00096	0.000017	0.0013	Sí
Entre 11 y <16	0.0002	0.00065	0.000014	0.0009	Sí
Entre 16 y <21	0.0002	0.00051	0.000013	0.0007	Sí
>21	0.0002	0.00045	0.000012	0.0007	Sí
Mujeres embarazadas (entre 16 y 45)	0.0002	0.0006	0.000013	0.0008	Sí

MRL: nivel de riesgo mínimo

#### Posibles efectos cancerígenos para la salud de la exposición al TCE en el agua potable

Las exposiciones al TCE pueden causar cáncer, con una mayor susceptibilidad en el caso de exposiciones en los primeros años de vida. Estudios ocupacionales de exposiciones relativamente altas al TCE han demostrado un mayor riesgo de varios tipos de cáncer. La evidencia más constante ha sido para cánceres de riñón, hígado y esófago, y linfoma no Hodgkin [ATSDR 2014]. La evidencia adicional de los estudios ocupacionales apunta a posibles relaciones entre la exposición al TCE y el aumento del riesgo de enfermedad de Hodgkin, cáncer de cuello uterino, mieloma múltiple, cáncer de vejiga, cáncer de mama femenino y cáncer de próstata [Krishnadasan et al. 2007; Sung et al. 2007; Siegel Scott y Chiu 2006; Zhao et al. 2005; Hansen et al. 2001; Wartenberg et al. 2000; ATSDR 2014]. Muchos de estos estudios tienen fuertes limitaciones, incluidos niveles de exposición desconocidos y tamaños de muestra reducidos. Además, muchos de estos estudios no pudieron separar adecuadamente los efectos del TCE de otros solventes presentes en el lugar de trabajo.

El Programa Nacional de Toxicología (National Toxicology Program, NTP) del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. (Department of Health and Human Services, DHHS) clasifica al TCE como un carcinógeno humano razonablemente previsto en función de evidencia limitada de carcinogenicidad de estudios en seres humanos, evidencia suficiente de carcinogenicidad de estudios en animales experimentales e información de estudios sobre mecanismos de carcinogénesis [NTP 2016]. Los estudios en seres humanos fueron estudios epidemiológicos que mostraron un aumento de las tasas de cáncer de hígado y linfoma no Hodgkin, principalmente en trabajadores que estuvieron expuestos a TCE en el trabajo. Los estudios en animales mostraron un aumento de la cantidad de tumores hepáticos, renales, testiculares y pulmonares mediante dos vías de exposición diferentes.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el TCE es un carcinógeno humano conocido. La evidencia de cáncer se basa en el cáncer de riñón, evidencia limitada de linfoma no Hodgkin y cáncer de hígado, así como en diversos tumores en animales [IARC 2012].

La EPA caracteriza al TCE como “carcinogénico para los seres humanos” por todas las vías de exposición [USEPA 2011b]. Esta conclusión se basa en estudios epidemiológicos en seres humanos que muestran asociaciones entre la exposición humana al TCE y el cáncer de riñón, el linfoma no Hodgkin y el cáncer de hígado. La EPA publicó un factor de pendiente de cáncer oral para TCE de  $0.046 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$  y un riesgo unitario por inhalación de  $4.1 \times 10^{-6} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$  que refleja la incidencia total de cáncer de riñón, linfoma no Hodgkin y cáncer de hígado [USEPA 2011b]. La EPA utilizó una extrapolación de vía a vía basada en el modelado farmacocinético de base fisiológica (physiologically based pharmacokinetic modeling, PBPK) de la estimación del riesgo unitario de inhalación para el cáncer de riñón, con un factor de 5 aplicado para incluir los riesgos de linfoma no Hodgkin y cáncer de hígado, para obtener un factor de pendiente oral para el riesgo de cáncer combinado de  $0.046 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ , o  $4.6 \times 10^{-2} \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ . El factor de pendiente de cáncer combinado puede dividirse en factores de pendiente de componentes individuales de la siguiente manera: para el cáncer de riñón, el factor de pendiente oral es  $9.33 \times 10^{-3} \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ ; para el linfoma no Hodgkin, el factor de pendiente de cáncer oral es de  $2.16 \times 10^{-2} \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ ; y para el cáncer de hígado, el factor de pendiente de cáncer oral es de  $1.55 \times 10^{-2} \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$ .

La EPA también concluyó, por peso de la evaluación de evidencia, que el TCE es carcinogénico mediante un modo de acción mutagénico para la inducción de tumores renales. Como resultado, se supone un aumento de la susceptibilidad en los primeros años de vida para el cáncer de riñón y se deben usar factores de ajuste dependientes de la edad (age-dependent adjustments factors, ADAF) para el componente de cáncer de riñón del riesgo total de cáncer al estimar los riesgos de cáncer específicos de la edad. Los ADAF son factores por los cuales el riesgo de cáncer se multiplica para representar un aumento de la susceptibilidad a compuestos mutagénicos en las primeras etapas de la vida. Los ADAF estándar son 10 (para menores de 2 años), tres (para niños de 2 a 16 años) y 1 (para mayores de 16 años).

Para un grupo de edad determinado, el aumento del riesgo estimado de presentar cáncer como resultado de la exposición a los contaminantes se calculó multiplicando la dosis de exposición estimada específica del sitio por un factor de pendiente de cáncer correspondiente. Los valores de la EPA se pueden encontrar en <http://www.epa.gov/iris>, el ADAF adecuado y la fracción de una vida de 78 años en consideración. Usando los factores anteriores, la ATSDR calculó el incremento de riesgo carcinogénico de por vida por la exposición a las concentraciones máximas de TCE en el agua de pozo. (Consulte el apéndice D para obtener una explicación detallada y cálculos). El incremento de riesgo carcinogénico es la cantidad de casos de cáncer en aumento en una población durante toda la vida, por encima del contexto, que puede ser el resultado de la exposición a un contaminante en particular bajo las condiciones de exposición supuestas. Por ejemplo, un riesgo de cáncer estimado de  $1\text{E-}06$  representa un posible caso de incremento carcinogénico en una población de un millón. Debido a las incertidumbres y al conservadurismo inherentes a la derivación de los factores de pendiente del cáncer, esto es solo una estimación del riesgo; se desconoce el verdadero riesgo. La ATSDR calculó el incremento de riesgo carcinogénico para las personas expuestas a  $6.4 \mu\text{g/L}$  de TCE en el agua usando las dosis de exposición total de la tabla 4. Asumimos que los niños estuvieron expuestos durante 21 años (desde el nacimiento hasta >21 años de edad) y que los adultos estuvieron expuestos durante un total de 33 años.

**Tabla 4. Aumento estimado del riesgo de cáncer por la exposición a TCE en agua potable contaminada en el sitio de Dorado**

Grupo de edad	Riesgo de cáncer estimado para 6.4 µg/L
<b>Niños: desde el nacimiento hasta &lt;21 años (21 años de exposición)</b>	6.0E-05 (6 en 100,000)
<b>Adultos: mayores de 21 años (33 años de exposición)</b>	1.4E-05 (1 en 100,000)

Según el riesgo de cáncer calculado para la exposición a largo plazo, los niños y adultos expuestos al nivel máximo (6.4 µg/L) de TCE en el agua potable tendrían un bajo aumento del riesgo de efectos en la salud de cáncer. Dicho de otra manera, la exposición a 6.4 µg/L de TCE en el agua potable resultaría en 1 a 6 casos más de cáncer por cada 100,000 adultos y niños expuestos, respectivamente. El cáncer es una enfermedad frecuente y el riesgo de por vida de que se le diagnostique cualquier tipo de cáncer es de alrededor del 38.5 %, aproximadamente 38 500 de cada 100, 000 personas [Howlader et. al 2017]. Esto se considera un bajo aumento del riesgo de cáncer. Se debe tener en cuenta que esta es una estimación teórica del riesgo de cáncer que usa la ATSDR como herramienta para decidir si se necesitan acciones de salud pública para proteger la salud; no es una estimación real de casos de cáncer en una comunidad.

### **Exposición a tetracloroetileno (PCE)**

El tetracloroetileno (PCE), también conocido como percloroetileno (PERC), es un solvente industrial ampliamente utilizado para el desengrasado, la limpieza en seco y otros usos similares [ATSDR 2019]. Las personas que están expuestas durante largos períodos a niveles bajos de PCE pueden tener cambios en el estado de ánimo, la memoria, la atención, el tiempo de reacción o la visión. Los estudios en animales expuestos a PCE han mostrado efectos hepáticos y renales, y cambios en la química del cerebro.

#### *Posibles efectos no cancerígenos para la salud de la exposición al PCE en el agua potable*

Desde febrero del 2002 hasta mayo del 2015, se recolectaron más de 200 muestras de agua subterránea de los pozos y se analizaron para detectar PCE. En el 2019, la EPA obtuvo muestras de 19 pozos de aguas subterráneas en el sistema público de agua de Dorado durante abril-mayo (ronda 1) y agosto del 2019 (ronda 2) como parte del estudio de investigación correctiva/viabilidad (RI/FS) y la evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA). Las concentraciones de PCE oscilaron de indetectables a 15 µg/L. La concentración más alta (15 µg/L) se registró en el 2019 en el pozo Maguayo 4 [USEPA 2020].

El MRL de la ATSDR para la exposición crónica a PCE es de 0.008 mg/kg/día. El MRL se basa en la concentración mínima con efecto adverso observado de 2.3 mg/kg/día para la pérdida de visión cromática con la aplicación de factores de incertidumbre. La EPA ha establecido una RfD de 0.006 mg/kg/día para el PCE. La RfD se basa en los efectos neurológicos en adultos expuestos a PCE en el aire, en el trabajo; se estimó que los efectos se produjeron con dosis que oscilaron entre 2.6 y 9.7 mg/kg/día. Se aplicaron factores de incertidumbre a estos puntos de partida para obtener RfD que oscilaron entre 0.0026 y 0.0097 mg/kg/día [USEPA 2012b].

Para calcular las dosis de exposición estimadas, utilizamos la concentración máxima de PCE de 15 µg/L y los supuestos de exposición también utilizados para TCE. La tabla 6 muestra las dosis de exposición estimadas. Las dosis totales de PCE para todos los grupos etarios son más bajas que la RfD oral de la

EPA y el MRL de la ATSDR. La ATSDR concluye que no se esperan efectos no cancerígenos para esta exposición a PCE porque: (1) se usaron suposiciones conservadoras de exposición (suposiciones de exposición del “peor de los casos”) para la estimación de la dosis; y (2) las dosis totales estimadas para todos los grupos etarios estuvieron por debajo de la RfD y el MRL.

**Tabla 5. Dosis totales estimadas de exposición a PCE para el sitio de Dorado**

<b>Grupo de edad (años)</b>	<b>Dosis de ingestión (mg/kg/día)</b>	<b>Dosis de inhalación (mg/kg/día)</b>	<b>Dosis de absorción dérmica (mg/kg/día)</b>	<b>Dosis total (mg/kg/día)</b>	<b>Por encima del MRL de 0.008 mg/kg/día (Sí/No)</b>
<b>Entre 0 y &lt;1</b>	0.0021	0.0039	0.0003	0.0064	No
<b>Entre 1 y &lt;2</b>	0.0012	0.0049	0.0002	0.0062	No
<b>Entre 2 y &lt;6</b>	0.0009	0.0031	0.0002	0.0042	No
<b>Entre 6 y &lt;11</b>	0.0006	0.0017	0.0002	0.0025	No
<b>Entre 11 y &lt;16</b>	0.0005	0.0012	0.0001	0.0018	No
<b>Entre 16 y &lt;21</b>	0.0005	0.0009	0.0001	0.0015	No
<b>&gt;21</b>	0.0005	0.0008	0.0001	0.0015	No
<b>Mujeres embarazadas (entre 16 y 45)</b>	0.0006	0.0011	0.0001	0.0018	No

MRL: nivel de riesgo mínimo

#### Posibles efectos cancerígenos para la salud de la exposición al PCE en el agua

En cuanto a los efectos cancerígenos, los estudios en seres humanos indican que la exposición al PCE podría generar un mayor riesgo de contraer cáncer de vejiga, mieloma múltiple o linfoma no Hodgkin. En animales, se ha mostrado que el PCE causa cáncer de hígado, de riñón y del sistema sanguíneo.

El NTP del DHHS clasifica al PCE como un carcinógeno humano razonablemente anticipado y la IARC ha determinado que el PCE es un probable carcinógeno humano. Estas determinaciones se basan en estudios epidemiológicos limitados en seres humanos que indican riesgos elevados de cáncer de esófago, linfoma no Hodgkin, cáncer de cuello uterino y suficientes estudios en animales que muestran leucemia inducida por PCE en ratas y cánceres de hígado en ratones [NTP 2011, IARC 1995]. La EPA considera que el PCE es un posible carcinógeno humano en función de la evidencia epidemiológica que muestra asociaciones entre el PCE y el cáncer de vejiga, el linfoma no Hodgkin y el mieloma múltiple [USEPA 2012b]. Muchos de estos estudios tienen fuertes limitaciones, incluidos niveles de exposición no medidos, tamaños de muestra reducidos y la incapacidad de separar adecuadamente los efectos del PCE de otros solventes presentes en el lugar de trabajo.

El factor de pendiente del cáncer oral de la EPA es de  $0.0021 \text{ (mg/kg/día)}^{-1}$  [USEPA 2012b]. Usando este valor, y suponiendo que los niños y adultos bebieran agua que contiene  $15 \text{ }\mu\text{g/L}$  de PCE todos los días durante 33 años, calculamos un riesgo de cáncer estimado para las personas que usan el agua contaminada en el sitio. El apéndice A proporciona detalles del cálculo del riesgo de cáncer.

**Tabla 6. Aumento estimado del riesgo de cáncer por la exposición a PCE en agua potable de pozos del sitio de Dorado, municipio de Dorado, PR**

Grupo de edad	Riesgo de cáncer estimado para 15 µg/L
Niños: desde el nacimiento hasta <21 años (21 años de exposición)	1.6E-06 (menos de 2 en 100,000)
Adultos: mayores de 21 años (33 años de exposición)	9.8E-07 (menos de 1 en 1,000,000)

Según el riesgo de cáncer para la exposición a largo plazo, los niños y adultos expuestos a niveles máximos (15 µg/L) de PCE en el agua potable no presentan un aumento del riesgo de efectos en la salud de cáncer. El cáncer es una enfermedad frecuente y el riesgo de por vida de que se le diagnostique cualquier tipo de cáncer es de alrededor del 38.5 %, aproximadamente 38,500 de cada 100,000 personas [Howlader et. al 2017]. Se estimaría que la exposición a 15 µg/L de PCE en agua potable resultaría en menos de dos casos adicionales de cáncer por cada 100,000 adultos y niños expuestos. Esto se considera un muy bajo aumento del riesgo de cáncer. Se debe tener en cuenta que esta es una estimación teórica del riesgo de cáncer que usa la ATSDR como herramienta para decidir si se necesitan acciones de salud pública para proteger la salud; no es una estimación real de casos de cáncer en una comunidad.

#### **Exposiciones a desinfectantes y subproductos de la desinfección (DBP)**

Se detectaron algunos desinfectantes y subproductos de la desinfección (DBP) en los sistemas de Dorado. La mayoría de ellos se encontraron en el sistema del Superacueducto. La ATSDR revisó los resultados de las pruebas trimestrales del Superacueducto proporcionados por PRASA para los últimos 15 años. Seis sustancias químicas superaron sus respectivos VC basados en la salud y se analizan a continuación, incluidos desinfectantes (dicloramina y monoclорamina) y DBP (bromodiclorometano, dibromoclorometano, ácido dicloroacético y ácido tricloroacético).

#### *Desinfectantes*

La dicloramina y la monoclорamina son cloraminas que se forman durante una reacción entre el cloro y el amoníaco. Las cloraminas (también denominadas desinfección secundaria) son desinfectantes utilizados para tratar el agua potable. Cuando las cloraminas se utilizan como desinfectantes, se agrega amoníaco al agua tratada con cloro. Las cloraminas son tan efectivas como el cloro para la desactivación de bacterias y otros microorganismos, y se utilizan para mantener la actividad de desinfección residual en el sistema de distribución de agua potable para proporcionar una desinfección más duradera a medida que el agua circula por las tuberías hacia los consumidores. Las cloraminas han sido utilizadas por las empresas de servicio público de agua en los Estados Unidos desde la década de los 30s [USEPA 2017].

#### **Posibles efectos no cancerígenos para la salud de la exposición a monoclорamina y dicloramina en el agua potable**

La EPA estableció una RfD oral de 0.1 mg/kg/día para la monoclорamina en función del supuesto de que existe un umbral para los efectos tóxicos como la necrosis celular. El estudio toxicológico principal utilizado para establecer la RfD examinó los efectos en ratas y ratones que bebieron agua potable clorada durante 103 a 104 semanas. No se detectaron cambios clínicos debido al consumo de agua potable clorada ni lesiones no neoplásicas después del tratamiento de 2 años. Se estableció una concentración sin efectos adversos observados (no-observed-adverse-effect-level, NOAEL) de 200 miligramos por litro (mg/l) o

9.5 mg de cloramina/kg/día para ratones. Se utilizó un factor de incertidumbre de 100 para reflejar 10 para extrapolación entre especies y 10 para la protección de subpoblaciones humanas sensibles al desarrollar la RfD [NTP 1992].

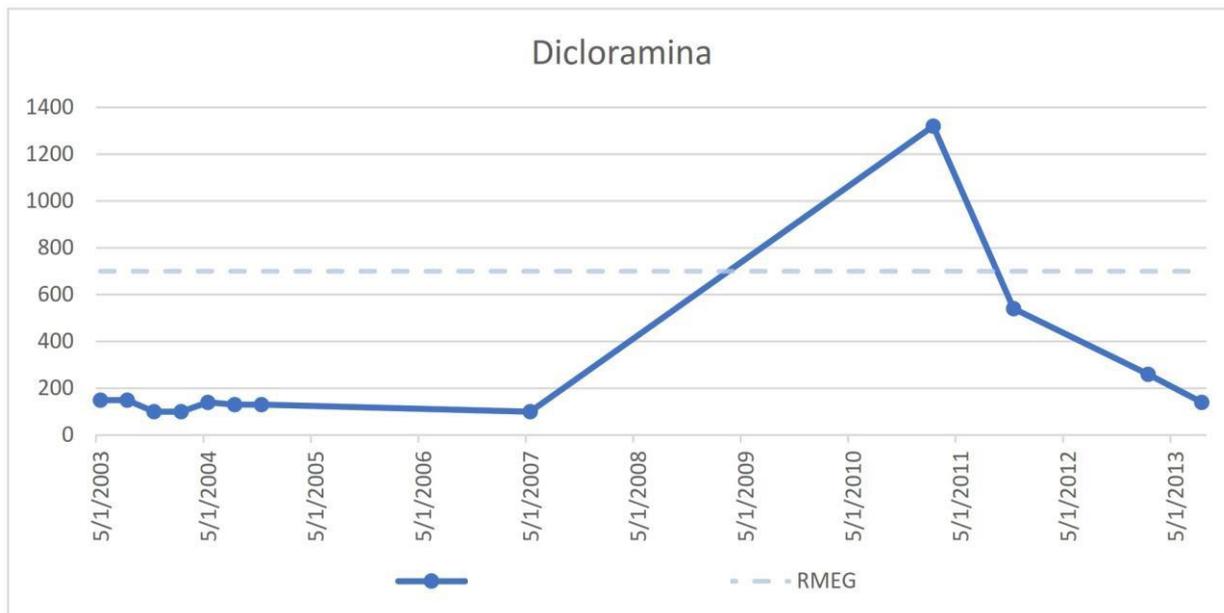
La ATSDR estableció un RMEG de 0.7 mg/l para la monocloramina y la dicloramina utilizando los supuestos de exposición predeterminada y RfD de la EPA.

Para el sistema público de agua potable, el objetivo máximo de nivel de desinfectante residual (MRDLG) de la EPA para la cloramina es 4 mg/L [que es 4000 µg/L o 4 partes por millón]. Las concentraciones por debajo de este nivel se consideran seguras y no es probable que ocurran efectos perjudiciales para la salud. Los posibles efectos en la salud de la exposición a largo plazo por encima del MRDLG son irritación de ojos/nariz, malestar estomacal y anemia. La dicloramina se ha relacionado con problemas de la piel, los ojos y las vías respiratorias en relación con piscinas cubiertas y jacuzzis. [USEPA 1998]

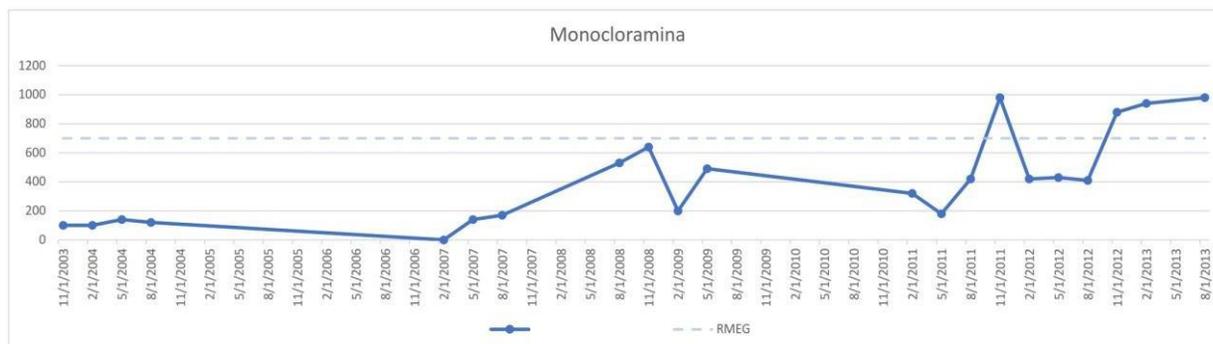
Los estudios actuales indican que el uso de agua con pequeñas cantidades de monocloramina no causa efectos perjudiciales para la salud y proporciona protección relativa contra la exposición a vectores transmitidos por el agua. Los estudios informan que el agua potable con niveles de cloramina inferiores a 50 mg/L (50,000 µg/L) no produce efectos en la salud observables. Los niveles normales que se encuentran en la desinfección pueden variar de 1 a 4 mg/L [CDC 2018].

En el sitio de Dorado, la mayoría de los niveles detectados de monocloramina y dicloramina estuvieron por debajo del RMEG (Figuras 2 y 3). Aunque los niveles máximos de monocloramina y dicloramina se detectaron por encima del RMEG, los niveles estuvieron muy por debajo del MRDLG de 4 mg/L, el nivel de informe de los CDC de 50 mg/L y el NOAEL de 200 mg/L. Por lo tanto, en función de los suposiciones de exposición en el “peor de los casos”, no se esperan efectos no cancerígenos en la salud para esta exposición a la monocloramina y la dicloramina.

**Figura 2: Concentraciones de dicloramina a lo largo del tiempo en el sistema del Superacueducto, Dorado, Puerto Rico**



**Figura 3: Concentraciones de monoclaramina a lo largo del tiempo en el sistema del Superacueducto, Dorado, Puerto Rico**



Posibles efectos cancerígenos para la salud de la exposición a monoclaramina y dicloramina en el agua potable

La EPA considera que la monoclaramina no es clasificable como un carcinógeno humano en función de datos inadecuados en seres humanos y evidencia equívoca de carcinogenicidad de bioensayos en animales [USEPA 2005]. Un bioensayo de 2 años mostró un aumento marginal en la leucemia de células mononucleares en ratas hembra F344/N. No se informó evidencia de actividad carcinogénica en ratas macho ni en ratones B6C3F1 macho o hembra. Los estudios de genotoxicidad, tanto *in vitro* como *in vivo*, arrojaron resultados negativos. No hay estudios epidemiológicos de la monoclaramina sola. Se ha estudiado principalmente en conjunto con otros DBP o la calidad del agua. La EPA no ha establecido un factor de pendiente del cáncer oral (CSF) para las cloraminas [USEPA 2005].

Debe tenerse en cuenta que los estudios en animales utilizaron concentraciones muy altas de cloraminas para inducir las actividades del cáncer y la evidencia de carcinogenicidad de los estudios en animales carece de uniformidad. Sin un CSF para un cálculo del riesgo de cáncer, más las limitaciones de datos como se describen en la sección “Evaluación de datos ambientales”, la ATSDR no puede concluir si las exposiciones a los niveles de monocloramina y dicloramina en el agua potable en el sitio de Dorado podrían ocasionar un incremento del riesgo de cáncer.

### *Subproductos de la desinfección (DBP)*

Cuando el cloro se utiliza para eliminar microorganismos preocupantes para la salud, como muchos tipos de virus y bacterias en el agua potable, reacciona con los microbios y el material orgánico natural para formar subproductos de cloración llamados trihalometanos (THM). Los THM incluyen cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo.

Cuando se utilizan cloro u otros desinfectantes en los sistemas de agua potable, se forma un grupo de sustancias químicas llamadas ácidos haloacéticos (HAA) junto con otros DBP. Los HAA incluyen ácido monocloroacético, ácido dicloroacético (DCA), ácido tricloroacético (TCA), ácido monobromoacético y ácido dibromoacético.

En el sitio de Dorado, se detectaron cuatro DBP (bromodichlorometano, dibromoclorometano, DCA y TCA) por encima de sus respectivos VC y se evaluaron en más detalle (Tabla 2).

### *Posibles efectos no cancerígenos para la salud de la exposición al DBP en el agua*

Los efectos de los DBP en la salud de las personas dependen en gran medida de la cantidad que una persona absorbe en el cuerpo y la duración de la exposición. Por ejemplo, el efecto principal de tragar o respirar grandes cantidades de bromoformo es la desaceleración de las actividades cerebrales normales, lo que provoca somnolencia o sedación, que ocurre rápidamente después de que las sustancias químicas ingresan en el cuerpo. Las exposiciones capaces de producir estos efectos incluyen tragar de 1 a 4 gotas de bromoformo líquido, una cantidad mucho mayor que la que se encuentra generalmente en un vaso de agua potable. En estudios en animales, los animales expuestos a dosis altas de bromoformo o dibromoclorometano también pueden desarrollar lesión hepática y renal en un período corto. La exposición a niveles bajos de bromoformo o dibromoclorometano no parece afectar gravemente el cerebro, el hígado o los riñones. Otros estudios en animales sugieren que las exposiciones típicas al bromoformo o dibromoclorometano no representan un alto riesgo de afectar la posibilidad de quedar embarazada o dañar a un bebé en gestación. Se desconoce si el bromodichlorometano causa efectos adversos en la salud de las personas, pero los estudios en animales muestran que las concentraciones altas pueden dañar el hígado y los riñones, y afectar el cerebro [USEPA 2005].

Los efectos adversos para la salud de los HAA incluyen irritaciones de la piel, pérdida de piel, inflamación y degeneración de la proteína estructural colágeno, y aumento del riesgo de defectos congénitos. Esos efectos son causados por la exposición a altas concentraciones (de LOAEL de 12.5 mg/kg/día para DCA y 7.6 mg/kg/día para TCA) [USEPA 2003, 2011c].

En el sitio de Dorado, todas las concentraciones de los DBP detectados estuvieron por debajo de los niveles que causarían efectos adversos para la salud no cancerígenos. Además, el agua del Superacueducto se mezcla con aguas subterráneas que cambiarían (probablemente reducirían) las concentraciones de HAA en el agua potable. Por lo tanto, en función de los supuestos de exposición en el “peor de los casos”, la ATSDR concluye que no se prevén efectos no cancerígenos por la exposición a DBP.

### Posibles efectos cancerígenos para la salud de la exposición a DBP en el agua potable

Aunque las concentraciones de DBP en el agua potable pública son bajas, las personas están expuestas a ellas diariamente y durante períodos prolongados. Las actividades carcinogénicas de los DBP solo se mostraron en estudios de laboratorio de animales expuestos a altas concentraciones. La IARC concluyó que el dibromoclorometano no es clasificable por su carcinogenicidad en seres humanos [IARC 1991]. La EPA clasificó al dibromoclorometano y al bromodichlorometano como posibles carcinógenos humanos en función de estudios en animales de cáncer de hígado, riñón e intestino. El incremento de estos tipos de cáncer en animales se produjo con dosis altas. Por ejemplo, se produjeron tumores intestinales con dosis altas superiores a 100 mg/kg/día [USEPA 2003 y 2011c].

La EPA ha clasificado a los HAA como clase de probable carcinógeno humano. Sin embargo, esta clasificación se basa en estudios realizados en animales y la evidencia que respalda su carcinogenicidad en seres humanos es limitada. Los experimentos en ratones expuestos a niveles variables (hasta 5 g/L) de ácido tricloroacético en agua potable durante 60 semanas mostraron un aumento en el desarrollo de tumores hepáticos y cáncer de hígado [USEPA 2003, 2011c].

En el sitio de Dorado, la mayoría de los DBP se encontraron en el sistema del Superacueducto. Como se mencionó antes, el agua del Superacueducto se mezcla con aguas subterráneas que cambiarían (probablemente diluirían) las concentraciones de HAA en el agua potable. Sin embargo, la ATSDR no tiene un cronograma completo (p. ej., contribución porcentual anual de pozos operativos en el sistema de agua potable) de las actividades para esta evaluación. Además, la carencia de datos del punto de exposición (agua corriente) aumenta la falta de certeza para evaluar con precisión el impacto potencial de las exposiciones. Por lo tanto, la ATSDR no puede concluir si las exposiciones a los niveles de DBP en el agua potable en el sitio de Dorado podrían ocasionar un incremento del riesgo de cáncer. Los beneficios de usar productos químicos desinfectantes para matar microbios que podrían causar enfermedades repentinas y graves, como cólera, fiebre tifoidea y disentería, superan con creces el posible bajo incremento del riesgo de cáncer.

### **Inquietudes de salud comunitaria**

No hay grupos comunitarios conocidos establecidos en relación con este sitio. Durante la visita al sitio en el 2016, el personal de la ATSDR se reunió con el alcalde de Dorado y su personal. No se expresó ninguna inquietud o queja formal de la oficina del alcalde ni de la comunidad en el momento de la reunión. Los miembros de la oficina ambiental del alcalde, los coordinadores de la comunidad de la División de Protección Ambiental del Caribe (EPA-CEPD), los funcionarios de la JCAPR, el DSPR y PRASA fueron informados del proceso de evaluación de salud pública y se les solicitó que transmitieran cualquier inquietud de la comunidad que pudiera surgir.

En septiembre del 2017, los huracanes Irma y María tocaron tierra en Puerto Rico, y causaron inundaciones y devastación generalizadas. La infraestructura de agua potable del sitio no estuvo operativa y, principalmente, estuvo fuera de servicio debido a la falta de energía eléctrica y daños importantes en la infraestructura. El 14 de octubre del 2017, las noticias de CNN informaron que los ciudadanos puertorriqueños estaban bebiendo agua de un sitio de desechos peligrosos ubicado en Dorado [Sutter, 2017]. Algunos de estos pozos están aprobados para consumo por el DSPR y PRASA (p. ej., pozo de Santa Rosa y Nevárez). Estos pozos se utilizaban para proporcionar agua potable a los tanques de agua para distribución. Los otros pozos a los que había accedido la comunidad, Maguayo 2 y 6, no tenían TCE/PCE por encima de sus MCL. También se vio a ciudadanos llenando cisternas en Maguayo 4. La EPA y la PRASA aseguraron la cerca alrededor de los pozos mencionados y llevaron a cabo el muestreo de las ubicaciones de los pozos en todo el sitio. Los resultados de las muestras se analizaron en un

comunicado de prensa de la EPA que indicaba que los resultados de las muestras de agua de la EPA indican que no hay excedentes de los estándares de agua potable en el sitio del Superfondo de aguas subterráneas de Dorado en Puerto Rico [EPA 2017]. La ATSDR no recibió inquietudes de la comunidad con respecto a la contaminación del agua potable en este sitio después de los huracanes.

### **Limitaciones de datos y falta de certeza**

La ATSDR no pudo obtener datos ambientales cruciales para el sitio. El propósito de nuestra evaluación es valorar el posible impacto que la contaminación ambiental puede tener en la salud de la comunidad, pero existen limitaciones en los datos ambientales disponibles. Las principales limitaciones son:

- El sitio de Dorado tiene un sistema de agua muy complejo. El agua subterránea de diferentes pozos y el agua superficial del Superacueducto se mezclan antes de la distribución. Los pozos se retiran de servicio y se reactivan periódicamente. La ATSDR no tiene un calendario completo (p. ej., contribución porcentual anual de pozos operativos en el sistema de agua potable) de las actividades para esta evaluación. Dicha información solo está disponible para el año 2015.
- Los documentos históricos indicaron que se han detectado COV en los sistemas de agua desde 1984 [USGS 1986]. Los datos históricos de 1984-2001 no estaban disponibles para esta revisión. Del 2002 al 2016, tenemos una gran cantidad de datos, pero están incompletos. El sistema del Superacueducto no tenía ningún COV por encima de los límites de detección en los datos disponibles. Sin embargo, los DBP se encontraron solo en el sistema del Superacueducto y no se encontraron en los datos disponibles de los pozos. Consulte la Tabla C3 del Apéndice C para obtener información sobre los datos faltantes.
- Falta de datos sobre el agua corriente: La mayoría de las muestras se recolectaron de pozos de aguas subterráneas y del Superacueducto antes de que el agua se mezclara y se suministrara al grifo de residencias individuales. Por lo tanto, los niveles de contaminantes probablemente fueron mucho más bajos en el punto de exposición (agua corriente).
- Debido a que no existen factores de pendiente del cáncer para algunos de los desinfectantes y DBP detectados, además de las limitaciones de datos mencionadas anteriormente, la ATSDR no puede concluir si la exposición a los niveles de desinfectantes y DBP en el agua potable podría ocasionar un incremento del riesgo de cáncer. Debido a las detecciones relativamente bajas de estos compuestos, la ATSDR considera que los beneficios de usar productos químicos desinfectantes para matar microbios que podrían causar enfermedades graves y repentinas superan con creces el posible bajo incremento del riesgo de cáncer.

Cuando existían limitaciones, la ATSDR eligió ser más conservadora en un esfuerzo por proteger la salud de la comunidad. Por lo tanto, las exposiciones reales pueden haber sido diferentes de las descritas en este documento.

## Conclusiones y recomendaciones

La ATSDR llegó a las siguientes conclusiones en esta PHA:

### Conclusión 1

Las personas que usaron el sistema público de agua para beber, cocinar y bañarse en el área de Dorado desde 1984 (cuando se descubrió la contaminación por primera vez) hasta la actualidad no tienen probabilidades de tener efectos perjudiciales para la salud debido a los bajos niveles de sustancias químicas en el agua.

### Fundamentos de la conclusión

La ATSDR detectó algunas sustancias químicas en el agua potable relacionadas con la contaminación de las aguas subterráneas (relacionadas con el sitio) y otras sustancias químicas relacionadas con la adición de desinfectantes para eliminar microbios en el agua (no relacionadas con el sitio).

### Sustancias químicas relacionadas con el sitio (contaminación de aguas subterráneas)

#### TCE

- **Pocas muestras contenían TCE por encima de los estándares del agua potable.** Solo tres de las más de 200 muestras analizadas tenían niveles de TCE por encima de 5.0 ppb, el estándar de agua potable de la EPA.
- **Se cerraron los pozos con niveles más altos.** Los niveles de TCE variaron de indetectables a 6.4 ppb. La mitad de las muestras tuvieron niveles de TCE por debajo del límite de detección de 0.5 ppb. El nivel más alto (6.4 ppb) se registró en febrero del 2006 en el pozo Maguayo 3, que fue retirado de servicio en el 2011 [PRASA 2017].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que las que se demostró que causan problemas de salud.** Las dosis totales estimadas para las exposiciones a TCE que oscilaron entre 0.0005 y 0.0022 mg/kg/día, según el grupo etario, están muy por debajo de 0.37 mg/kg/día, el nivel obtenido en estudios científicos disponibles, que demostró disminución del peso del timo e inmunotoxicidad del desarrollo. Para las mujeres embarazadas, la dosis estimada de 0.0006 mg/kg/día es mucho más baja que la dosis más baja que causó efectos perjudiciales en estudios de reproducción en animales de 0.0051 mg/kg/día. Por lo tanto, no es probable que los niveles de TCE en el agua potable afecten negativamente la salud de las personas [ATSDR 2013, 2014].
- **El riesgo de cáncer estimado fue bajo.** La ATSDR estimó un aumento de los riesgos de cáncer de por vida para exposiciones a largo plazo a la concentración máxima de 6.4 ppb de TCE. Los riesgos estimados, menos de 2 y 6 casos adicionales de cáncer por cada 100,000 adultos o niños expuestos, se consideran bajos.

#### PCE

- **Pocas muestras contenían PCE por encima de los estándares del agua potable.** Los niveles de PCE variaron de indetectables a 15 ppb. Desde el 2008 al 2015, aproximadamente el 10 por ciento de las muestras tuvieron niveles de PCE por encima de 5.0 ppb. El nivel más alto (15 ppb) se registró en el 2019 en el pozo Maguayo 4 [USEPA 2020].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que las que se demostró que causan problemas de salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando el máximo de PCE de 15 ppb, lo que resultó en

dosis estimadas que oscilaron entre 0.0015 y 0.0064 mg/kg/día según el grupo etario. Este rango de dosis estimado es más bajo que los valores de las guías de selección para la salud de la EPA y la ATSDR de 0.006 mg/kg/día y 0.008 mg/kg/día para los efectos no cancerígenos, respectivamente y, por lo tanto, no es probable que dañe la salud de las personas.

- **El riesgo de cáncer estimado fue bajo.** La ATSDR estimó un aumento del riesgo de cáncer de por vida para exposiciones a largo plazo a la concentración máxima de 15 ppb. Los riesgos estimados, menos de 2 por cada 100,000 adultos o niños expuestos, se consideran muy bajos.

### **Sustancias químicas relacionadas con la desinfección (no relacionadas con el sitio)**

- **Sustancia química relacionada con la desinfección por debajo de los estándares del agua potable.** Todas las concentraciones máximas de sustancias químicas relacionadas con la desinfección estuvieron por debajo de los estándares del agua potable segura de la EPA y los valores de comparación no cancerígenos de la ATSDR. Por lo tanto, probablemente no se asociarían con efectos no cancerígenos perjudiciales para la salud, como irritación de la piel o lesión hepática o renal. Además, es probable que las concentraciones promedio de esas sustancias químicas en el sistema de agua potable sean inferiores a los valores máximos, ya que el agua se mezcla antes de llegar a los grifos residenciales.
- **No se puede calcular el riesgo de cáncer.** La ATSDR no puede concluir si la exposición a los niveles de algunos desinfectantes y subproductos de la desinfección (DBP) en el agua potable podría ocasionar un mayor riesgo de cáncer. El motivo de esto es que existen limitaciones de datos significativas (falta de contribución del porcentaje de mezcla completa y falta de datos de muestreo de agua corriente del sitio para los DBP, y ausencia de factores de pendiente del cáncer para algunos de los desinfectantes y DBP detectados) para estimar los aumentos en el riesgo de cáncer. Los beneficios de usar sustancias químicas desinfectantes para matar microbios que podrían causar enfermedades repentinas y graves superan con creces el posible bajo incremento del riesgo de cáncer.

## **Conclusión 2**

La ATSDR no cuenta con información suficiente para determinar si pueden estar ocurriendo exposiciones perjudiciales del suelo o intrusión de vapor.

### **Fundamentos de la conclusión**

La fuente de contaminación del agua subterránea sigue siendo desconocida. Las áreas fuente pueden tener niveles más altos de contaminación. La ATSDR no puede saber si alguien está en contacto con el suelo o el aire dentro de los edificios que pueden estar contaminados en las áreas de origen. Los niveles de contaminantes en las fuentes de contaminación o cerca de ellas podrían ser muy diferentes de los lugares donde se hizo el muestreo. No tenemos suficiente información para concluir si las sustancias químicas en el suelo o el aire dentro del edificio podrían dañar la salud de las personas. Estamos trabajando con el estado y la EPA para recopilar esta información e identificar la fuente de contaminación.

- La EPA no ha encontrado la fuente de contaminación. La EPA llevó a cabo una evaluación preliminar/inspecciones del sitio (PA/SI) en 21 instalaciones cerca de la contaminación de aguas subterráneas para identificar posibles fuentes contaminantes. La EPA recolectó 279 muestras de suelo y 50 muestras de agua subterránea. Hubo muy pocas muestras de suelo superficial (3 muestras) y muestras de gas del suelo (2 muestras).
- La EPA informó los resultados de un análisis de niveles de detección de posible intrusión de vapor en las áreas analizadas. Las concentraciones de contaminantes detectadas se compararon con los niveles de detección de intrusión de vapor (VISL) de la EPA y todas estuvieron por

debajo de los VISL residenciales. Pueden encontrarse más detalles en la Evaluación de riesgos para la salud humana (Human Health Risk Assessment, HHRA) de la EPA.

### **Próximos pasos**

La EPA y/o la DRNA harán lo siguiente:

- Continuarán los esfuerzos para identificar la fuente, recolectarán muestras adicionales para caracterizar el alcance de la contaminación e implementarán medidas correctivas para abordar y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas.

El DSPR hará lo siguiente:

- Continuará supervisando la operación del sitio de Dorado, el mantenimiento y el monitoreo de rutina del agua realizado por el operador local del sistema de agua, de acuerdo con los requisitos de la Ley de Agua Potable Segura.

La ATSDR hará lo siguiente:

- Evaluará los datos adicionales recopilados por la EPA y el DSPR y actualizará los hallazgos de este informe, si es necesario.

### **Autores**

Jane Zhu, DMD, MPH

(no más trabaja a la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR)  
Científica de Salud Ambiental

Sección Este

Oficina de Evaluación de Riesgos y Salud Comunitaria

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)

Luis O. Rivera-Gonzalez, PhD., M.S.

Toxicólogo, Región 2

Sección Este

Oficina de Evaluación de Riesgos y Salud Comunitaria

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)

## Bibliografía

- [ATSDR 1989] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement for Bromodichloromethane. Disponible en el URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp129.pdf>
- [ATSDR 2019] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for tetrachloroethylene (actualización). Atlanta: US Department of Health and Human Services. Disponible en el URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp18.pdf>
- [ATSDR 2020] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ToxFAQs™ for Ingestion. Atlanta: Bromodichloromethane. Disponible en el URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs129.pdf>
- [ATSDR 2005a] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Assessment Guidance Manual (actualización). Atlanta: US Department of Health and Human Services, Disponible en el URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/pha-guidance>
- [ATSDR 2005b] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement for Bromoform and Dibromochloromethane. Atlanta: US Department of Health and Human Services. Disponible en el URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=711&tid=128>
- [ATSDR 2013] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Addendum to the Toxicological Profile for Trichloroethylene. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- [ATSDR 2014] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Trichloroethylene. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, octubre de 2014.
- [ATSDR 2016a] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Exposure Dose Guidance for Water Ingestion. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, octubre de 2016.
- [ATSDR 2016b] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Exposure Dose Guidance for Soil and Sediment Ingestion. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Octubre de 2016.
- [ATSDR 2016c] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Exposure Dose Guidance for Body Weight. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Octubre de 2016.
- [ATSDR 2016d] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Exposure Dose Guidance: Determining Life Expectancy and Exposure Factor to Estimate Exposure Doses. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Octubre de 2016.
- [Bove et. al., 1995]. Bove FJ, Fulcomer MC, Klotz JB, et al., 1995. Public Drinking Water and Birth Outcomes. American Journal of Epidemiology 1995;41(9):850–86.
- [CDC 2018] Centers for Disease Control and Prevention. Disinfection with Chloramine. Disponible en el URL: <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/chloramine-disinfection.html>. Página web consultada el 2 de febrero de 2018.

- [CDC 2010] Centers for Disease Control and Prevention. 2010. National Center for Environmental Health, Division of Environmental Hazards and Health Effects. Health Evaluation Following Community Exposure to Tetrachloroethylene in Drinking Water in Maguayo and Dorado Urbano and Naranjito, Puerto Rico. Trip Report. Diciembre
- [Chowdhury S, BullRJ, Cotruvo JA, et al. 2011]. Disinfection byproducts in Canadian provinces: Associated cancer risks and medical expenses. *J Hazard Mater* 187 (2011):574–84.
- [CEPA 2001] California Environmental Protection Agency. Public Health Goals for Tetrachloroethylene in Drinking Water. California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Sacramento, California. Ago 2001
- [Sutter, 2017] Desperate Puerto Ricans are drinking water from a hazardous-waste site. CNN News. Disponible en el URL: <https://www.cnn.com/2017/10/13/us/puerto-rico-superfund-water/index.html>
- [Giardino y Andelman 1996]. Giardino N.J. y Andelman J.B. Characterization of the emissions of trichloroethylene, chloroform, and 1,2-dibromo-3-chloropropane in a full-size, experimental shower. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 1996; 6(4): 413–423.
- [Goldberg et. al., 1990] Goldberg SJ, Lebowitz MD, Graver EJ, Hicks S. 1990. An association of human congenital cardiac malformations and drinking water contaminants. *J Am Coll Cardiol*. 16: 155-64.[superfund-water/index.html](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2600000/)
- [Howlader et.al 2017] Howlader N, Noone AM, Krapcho M, Miller D, Bishop K, Kosary CL, Yu M, Ruhl J, Tatalovich Z, Mariotto A, Lewis DR, Chen HS, Feuer EJ, Cronin KA (eds). SEER Cancer Statistics Review, 1975-2014, National Cancer Institute. Bethesda (MD): Abril de 2017. Disponible en: [https://seer.cancer.gov/csr/1975\\_2014/](https://seer.cancer.gov/csr/1975_2014/). Consultado el 10 de octubre de 2017.
- [IARC 1991] International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 52: Chlorinated Drinking -water; Chlorination By-products; Some other Halogenated Compounds; Cobalt Compounds. 1991.
- [IARC 1995] International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 63: dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals. 1995.
- [IARC 2012] International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 106:Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, and Some Other Chlorinated Agents
- [Levallois P, Gingras S, Marcoux S, et al. 2012]. Maternal Exposure to Drinking-water chlorination By-products and Small-for-gestational-age Neonates. *Epidemiol* 23;2. Mar.
- [Goldberg et. al., 1990] Goldberg SJ, Lebowitz MD, Graver EJ, Hicks S. 1990. An association of human congenital cardiac malformations and drinking water contaminants. *J Am Coll Cardiol*. 16:155-64.
- [Hansen et. al., 2001] Hansen, J, Raaschou-Nielsen O, Christensen JM, Johansen I, McLaughlin JK, Lipworth L, Blot WJ, Olsen JH. 2001. Cancer incidence among Danish workers exposed to trichloroethylene. *J Occup Environ Med*. Feb.; 43(2):133-9.
- [Moya et al. 1999]. Moya J, Howard-Reed C y Corsi RL, 1999. Volatization of chemicals from tap water to indoor air from contaminated water used for showering. *Environm Sci Technol* 33:2321-2327.

- [NTP 1992] National Toxicology Program. Toxicology and Carcinogenesis Studies of Chlorinated and Chloraminated Water (CAS Nos. 7782-50-5, 7681-52-9 and 10599-90-3) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (drinking water studies). NTP TR 392.
- [NTP 2016] National Toxicology Program. 14th report on carcinogens. Research Triangle Park: National Toxicology Program, US Department of Health and Human Services. Junio. Disponible en el URL: <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc14>
- [PRASA 2017] North Coast Super Aqueduct System data. Quarterly test results from 2001 to 2016. Correo electrónico de Emma Blanco Rivera a Luis Rivera González con fecha 20 de enero de 2017
- [Siegel Scott and Chiu 2006] Siegel Scott C y Chiu W. 2006. Trichloroethylene cancer epidemiology: a consideration of select issues. Environ Health Perspect. Sept.; 114(9): 1471-8.
- [Sung et. al., 2007] Sung TI, Chen PC, Jyuhn-Hsiarn Lee L, Lin YP, Hsieh GY, Wang JD. 2007. Increased standardized incidence ratio of breast cancer in female electronics workers. BMC Public Health. Junio 8(7): 102.
- [Wartenberg et. al., 2000] Wartenberg D, Reyner D, Scott CS. 2000. Trichloroethylene and cancer: epidemiologic evidence. Environ Health Perspect. May; 108 Suppl 2:161-76
- [Woolhiser et al., 2006] Woolhiser, M. R.; Krieger, S. M.; Thomas, J.; Hotchkiss, J. A. 2006. Trichloroethylene (TCE): Immunotoxicity potential in CD rats following a 4-week vapor inhalation exposure. Midland, MI.
- [Zhao et. al., 2005] Zhao, Y, Krishnadasan A, Kennedy N, Morgenstern H, Ritz B. 2005. Estimated effects of solvents and mineral oils on cancer incidence and mortality in a cohort of aerospace workers. Am J of Ind Med. Oct;48(4):249-58.
- [US Census 2010] Censo decenal de Población y Vivienda. Disponible en el URL: <https://censo.estadisticas.pr/censo-decenal>
- [USEPA 1998] US Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations; disinfection; disinfectants and disinfection by-products; Final rule. Federal Regist. 1998:69390-69476[USEPA] US Environmental Protection Agency.
- [USEPA 2002]. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Bromodichloromethane; CASRN 75-27-4 Disponible en el URL: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/subst/0213\\_summary.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0213_summary.pdf)
- [USEPA 2003]. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Dichloroacetic Acid; CASRN 79-43-6. Disponible en línea en: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/subst/0654\\_summary.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0654_summary.pdf)
- [USEPA 2005] United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Monochloramine; CASRN 10599-90-3. Disponible en el URL: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/subst/0644\\_summary.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0644_summary.pdf); Página web consultada el 2 de febrero de 2018.

- [USEPA 2008] US Environmental Protection Agency. Child-Specific Exposure Factors Handbook (informe final). Washington, DC, EPA/600/R-06/096F, 2008. Disponible en el URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=199243>
- [USEPA 2011a] US Environmental Protection Agency. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition (Final). Oct. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. USEPA/600/R-09/052A. Disponible en el URL: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
- [USEPA 2011b]. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Trichloroethylene (CASRN 79-01-6), including the Toxicological Review for Trichloroethylene (TCE) and its appendices. Disponible en el URL: <http://www.epa.gov/iris/subst/0199.htm>.
- [USEPA 2011c]. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Trichloroacetic acid; CASRN 76-03-9 Disponible en el URL: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/subst/0655\\_summary.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0655_summary.pdf)
- [USEPA 2015] US Environmental Protection Agency. EPA Region 2 Hazardous Waste Support Branch (HWSB). Dorado GW Contamination; Case 45651; SDG BCJQ1 [and BCJR4] -- Regionally Assessed Data. 13 de noviembre de 2015.
- [USEPA 2012a] US Environmental Protection Agency. Additional Maguayo and Dorado Urbano Data on CD Disk. New York, NY: US Environmental Protection Agency, Region 2. Ago 2012
- [USEPA 2012b] US Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Disponible en el URL: <https://www.epa.gov/iris>.
- [USEPA 2016 a] US Environmental Protection Agency. Hazard ranking system documentation package, Dorado Groundwater Contamination, Dorado, Puerto Rico. New York, NY: US Environmental Protection Agency, Region 2. 2 de junio de 2016.
- [USEPA 2017a] US Environmental Protection Agency. Chloramines in Drinking Water. Página web consultada el 2 de febrero de 2018. Disponible en el URL: <https://www.epa.gov/dwreginfo/chloramines-drinking-water>
- [USEPA 2017b] US Environmental Protection Agency. Comunicado de prensa: EPA Hurricane Maria Update for Sunday, 15 de octubre de 2017. Disponible en el URL: <https://www.epa.gov/newsroom>
- [USEPA 2022] US Environmental Protection Agency (EPA). Dorado Groundwater Contamination Site Final Human Health Assessment. 13 de agosto de 2020.
- [USGS 1986] Guzmán-Ríos, Senén, René García, y Ada Avilés, USGS. Reconnaissance of Volatile Synthetic Organic Chemicals at Public Supply Wells Throughout Puerto Rico, November 1984 – May 1985. Open-File Data Report 86-63. 1986
- [Windham G y Fenster L 2008.] Windham G y Fenster L. 2008. Environmental contaminants and pregnancy outcomes. Fertil Steril 89 (Supp)1; feb.

- [WESTON 2008] Snyder, Scott, WESTON. Summary Letter Report, Maguayo Site Discovery, Maguayo Ward, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 478-2A-ACVO. Preparado para la EPA. Octubre de 2008.
- [WESTON 2015a] Gilliland, Gerry, WESTON. Project Note to Dorado Ground Water Contamination site file, Subject: Well Information and Ground Water Population Apportionment. 13 de noviembre de 2015.
- [WESTON 2010] Snyder, Scott, WESTON. Pre-CERCLIS Screening Report, Maguayo Site Discovery, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 478-2A-AFOE. Preparado para la EPA. Enero de 2010.
- [WESTON 2014a] Carlson, Daniel, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Green Point Sign & Screen Printing, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2022-2A-BDXQ. Preparado para la EPA. Abril de 2014.
- [WESTON 2014b] Gilliland, Gerald V., WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Adriel Auto, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2026-2A-BDXU. Preparado para la EPA. Junio de 2014.
- [WESTON 2014c] Carlson, Daniel, WESTON. P Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Metal Machining Co. Inc, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2025-2A-BDXT. Preparado para la EPA. Enero de 2014.
- [WESTON 2014d] Gilliland, Gerald V., WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Narvaez Cleaners and Tailoring, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2024-2A-BDXS. Preparado para la EPA. Marzo de 2014.
- [WESTON 2011a] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: T-0320-0-56, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1220-2A-ANPL. Preparado para la EPA. Junio de 2011.
- [WESTON 2011b] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: S-0050-0-51, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1221-2A-ANOX. Preparado para la EPA. Junio de 2011.
- [WESTON 2014e] Capriglione, Michele, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Former Narvaez Cleaners and Tailoring Facility, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2023-2A-BDXR. Preparado para la EPA. Febrero de 2014.
- [WESTON 2011c] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Lot Nos: L-107-2-64-16/18/19, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1227-2A-ANRG. Preparado para la EPA. Junio de 2011.
- [WESTON 2012] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report (Rev 1), PRIDCO Building No. T-1125-0-73 and T-1125-1-79, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1217-2A-AUKV. Preparado para la EPA. Febrero de 2012.
- [WESTON 2011d] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: S-0745-0-66, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1219-2A-AOKN. Preparado para la EPA. Julio de 2011.

- [WESTON 2011e] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Buildings No: S-1166-0-74 and S-1166-0-80, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1225-2A-AOWC. Preparado para la EPA. Agosto de 2011.
- [WESTON 2011f] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No. T-1322-0-88, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1218-2A-AOKG. Preparado para la EPA. Julio de 2011.
- [WESTON 2011g] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Buildings # T-0957-0-68/T-0957-1-71/T-0957-2-72/T-1053-0-73/T-1053-1-90, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1224-2A-ANOZ. Preparado para la EPA. Junio de 2011.
- [WESTON 2011h] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building Nos: S-0838-0-67 and T-0998-0-74, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1222-2A-APNL. Preparado para la EPA. Agosto de 2011.
- [WESTON 2011i] Chavan, Dipanjali, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Former Edward's Dry Cleaners Facility Dorado, municipio de Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1309-2A-AOZV. Preparado para la EPA. Septiembre de 2011.
- [WESTON 2011j] Snyder, Scott, WESTON. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building Nos: T-0868-0-67 and T-0868-1-69, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1223-2A-APAB. Preparado para la EPA. Agosto de 2011.
- [WESTON2015b] Gilliland, Gerry, WESTON. Project Note to Dorado Ground Water Contamination site file, Subject: PRASA Analytical Results, Dorado Area Wells, 2002–2015. 13 de noviembre de 2015.
- [PRASA 2017] Correo electrónico de Emma Blanco Rivera a Luis Rivera González con fecha 20 de enero de 2017.

## Apéndice A: Cálculos de la dosis de exposición

Una dosis de exposición (generalmente expresada como miligramos de sustancia química por kilogramo de peso corporal por día, o “mg/kg/día”) es una estimación de la cantidad de una sustancia con la que una persona puede entrar en contacto en función de sus acciones y hábitos. La estimación de una dosis de exposición requiere identificar cuánto, con qué frecuencia y durante cuánto tiempo una persona o población puede entrar en contacto con una concentración de una sustancia en un medio específico.

Para calcular las dosis de exposición en este sitio, la ATSDR utilizó supuestos de exposición predeterminados sobre el peso y otras características corporales de los niños y adultos expuestos, cómo pueden haber estado expuestos y con qué frecuencia pueden haber estado expuestos. La siguiente sección detalla las suposiciones de exposición y el cálculo de las dosis de exposición para las vías de agua potable, inhalación y contacto dérmico evaluadas en este documento.

### *Ingestión de agua potable*

La ingestión de agua contaminada es una de las vías de exposición más significativas en este sitio. La ATSDR utilizó la siguiente ecuación y suposiciones para estimar la exposición a TCE y PCE a partir de la ingestión de agua de pozo contaminada:

Dosis de exposición (mg/kg/día) = concentración química ( $\frac{mg}{L}$ )\* tasa de ingestión ( $\frac{L}{día}$ )/peso corporal (kg)

**Tabla A1. Listado de tasas de consumo de agua para diferentes grupos de edad**

Grupo de edad (años)	Peso corporal (kg)	Tasa de absorción a RME (L/día)
Nacimiento a <1	7.8	1.113
1 a <2	11.4	0.893
2 a <6	17.4	0.977
6 a <11	31.8	1.404
11 a <16	56.8	1.976
16 a <21	71.6	2.444
21+	80	3.1
Mujeres embarazadas (16 a 45)	73	2.589

[ATSDR 2014b]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2014. Exposure Dose Guidance for Water Ingestion. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Noviembre del 2014.

REM = exposición máxima razonablemente esperada para una población.

## EJEMPLO DE CÁLCULO DE INGESTIÓN

Usando la ecuación anterior y los valores de la tabla A1 para calcular la cantidad de TCE ingerida a partir del agua potable que contiene la concentración máxima de TCE (6.4 µg/L) para adultos (21+ años de edad):

**Dosis de exposición por ingestión**

$$\frac{0.0064 \frac{mg}{l} \times 3.1 \frac{l}{día}}{80 kg} = 0.00025 mg /kg/día$$

### *Inhalación y dérmica (contacto con la piel)*

Además de beberla, el agua contaminada se usó para fines domésticos, incluida la ducha. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) como TCE y PCE pueden escapar, o volatilizarse, del agua utilizada en el hogar. Inhalar los vapores de COV en el aire que se producen cuando se usa agua contaminada para ducharse puede ser una fuente significativa de exposición. La absorción dérmica (contacto con la piel) de contaminantes en el agua se produce durante la ducha, el baño u otros usos domésticos. La ATSDR utilizó el modelo de exposición por la ducha y el uso de agua en el hogar (SHOWER), un modelo de tres compartimientos para evaluar la exposición residencial a la volatilización de PCE y TCE a partir del uso de agua en interiores.

El modelo de SHOWER tiene en cuenta la inhalación y la exposición dérmica de la mayoría de los usos comunes del agua en interiores, como duchas, baños, lavadoras de ropa y lavaplatos. El modelo predice las exposiciones para todo el día y para hogares de hasta cuatro personas [ATSDR 2018].

El modelo SHOWER produce dosis dérmicas e inhalatorias para cada grupo de exposición en función de la concentración máxima de agua de TCE y PCE de 6.4 µg/L y 15 µg/L, respectivamente. Las dosis modeladas se basan en muchas suposiciones del modelo SHOWER. Consulte la Tabla A2 para conocer algunas de las suposiciones utilizadas para calcular las dosis de ingestión, dérmica e inhalación para la exposición a TCE y PCE por el uso de agua al beber, ducharse, lavarse las manos y otro uso de artefactos en interiores.

**Tabla A2. Suposiciones para el contacto por inhalación y dérmico con el agua contaminada**

Grupo de exposición (años)	Peso corporal (kg)	Frecuencia respiratoria diaria (L/min)	Tasa respiratoria en la ducha y el baño (L/min)	Área de superficie de la piel total (cm <sup>2</sup> )	Área de superficie de la mano (cm <sup>2</sup> )
<b>Nacimiento a &lt; 1</b>	7.8	3.75	7.60	3,992	211
<b>1 a &lt; 2</b>	11.4	5.56	12.00	5,300	300
<b>2 a &lt;6</b>	17.4	6.81	11.25	7,225	348
<b>6 a &lt;11</b>	31.8	8.33	11.00	10,800	510
<b>11 a &lt;16</b>	56.8	10.56	13.00	15,900	720
<b>16 a &lt;21</b>	71.6	11.32	12.00	18,400	830
<b>Adulto</b>	80.0	10.53	12.35	19,810	980
<b>Mujeres embarazadas</b>	73.0	15.50	15.50	18,610	980

La ATSDR utilizó un enfoque conservador para calcular las dosis por inhalación y dérmica al seleccionar a la persona más expuesta en el escenario modelado. Este escenario incluyó a una persona que se duchaba después de cuatro duchas matutinas consecutivas, en un hogar de cuatro personas, sin ventilación y asumió que la persona está en su casa todo el día. Cada miembro de la familia se ducha durante ocho minutos con una permanencia de cinco minutos en el baño.

#### *Absorción total de TCE/PCE por el agua potable*

La ATSDR combinó las exposiciones dérmicas, de inhalación y de consumo (oral) para derivar una dosis de exposición total porque el TCE y el PCE tienen los mismos criterios de valoración tóxicos a través de las vías de inhalación y oral. La ATSDR prestó especial atención a las dosis de exposición para niños pequeños y mujeres embarazadas porque los datos científicos indican que el desarrollo del corazón y el sistema nervioso en fetos y niños pequeños puede ser especialmente sensible a los efectos tóxicos del TCE [ATSDR 2014a].

Para estimar la absorción total de TCE, la ATSDR sumó la absorción por ingestión, inhalación y cutánea:  
Dosis de exposición total = dosis de ingestión + dosis de inhalación + dosis dérmica

Las tablas a continuación son los resultados de los cálculos de la dosis.

**Tabla A3: Dosis totales estimadas de exposición a TCE para el sitio de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis de ingestión (mg/kg/día)	Dosis de inhalación (mg/kg/día)	Dosis de absorción dérmica (mg/kg/día)	Dosis total (mg/kg/día)
0-<1	0.0009	0.00098	0.000036	0.0010
1-<2	0.0005	0.0025	0.000024	0.0030
2-<6	0.0004	0.0017	0.000021	0.0021
6-<11	0.0003	0.00096	0.000017	0.0013
11-<16	0.0002	0.00065	0.000014	0.0009
16-<21	0.0002	0.00051	0.000013	0.0007
>21	0.0002	0.00045	0.000012	0.0007
Mujeres embarazadas (16-45)	0.0002	0.0006	0.000013	0.0008

**Tabla A4: Dosis totales estimadas de exposición a PCE para el sitio de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis de ingestión (mg/kg/día)	Dosis de inhalación (mg/kg/día)	Dosis de absorción dérmica (mg/kg/día)	Dosis total (mg/kg/día)
0-<1	0.0021	0.0039	0.0003	0.0064
1-<2	0.0012	0.0049	0.0002	0.0062
2-<6	0.0009	0.0031	0.0002	0.0042
6-<11	0.0006	0.0017	0.0002	0.0025
11-<16	0.0005	0.0012	0.0001	0.0018
16-<21	0.0005	0.0009	0.0001	0.0015
>21	0.0005	0.0008	0.0001	0.0015
Mujeres embarazadas (16-45)	0.0006	0.0011	0.0001	0.0018

### Riesgos de cáncer estimados

El riesgo estimado de desarrollar cáncer como resultado de la exposición a los contaminantes se calculó multiplicando la dosis de exposición estimada específica del sitio por un factor de pendiente de cáncer (CSF) adecuado de la EPA. El incremento de riesgo carcinogénico de por vida indica el potencial carcinogénico de los contaminantes. Las estimaciones de cáncer generalmente se expresan en términos de incremento de casos de cáncer en una población expuesta, además de la tasa de cáncer prevalente.

Para calcular el incremento de riesgo carcinogénico de por vida, la ATSDR multiplicó el factor de pendiente de cáncer oral por la dosis de exposición diaria (oral, inhalada y dérmica combinadas), el ADAF adecuado para TCE y la fracción correspondiente a la fracción de una vida de 78 años en consideración.

## CÁLCULOS DE RIESGO DE CÁNCER:

**Tabla A5. Cálculo de incremento de riesgo carcinogénico para los residentes expuestos a TCE en agua de pozo por consumo, inhalación y contacto dérmico, a 6.4 µg/L, sitio de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis de exposición total estimada (mg/kg/día)	Duración (años)	Fracción de vida	ADAF	Riesgo total de cáncer: ajustado para el riñón y no ajustado para LNH e hígado
0 a <1	0.0010	1	1/78	10	5.9E-06
1 a <2	0.0030	1	1/78	10	1.8E-05
2 a <6	0.0021	4	4/78	3	1.5E-05
6 a <11	0.00013	5	5/78	3	1.2E-05
11 a <16	0.0009	5	5/78	3	8.0E-06
16 a <21	0.0009	5	5/78	1	2.1E-06
Años totales – niños		21	21/78		6.0E-05
Adultos de 21 años y mayores	0.0007	33	33/78		1.4E-05

**LNH – Linfoma no Hodgkin****Tabla A6. Cálculo de incremento de riesgo carcinogénico para los residentes expuestos a PCE en agua de pozo por consumo, inhalación y contacto dérmico, a 15 µg/L, sitio de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis de exposición total estimada (mg/kg/día)	Duración (años)	Fracción de vida	Factor de pendiente del cáncer de por vida (mg/kg/día) <sup>-1</sup>	Riesgo de cáncer
0 a <1	0.0064	1	1/78	2.1E-03	1.72E-07
1 a <2	0.0062	1	1/78	2.1E-03	1.67E-07
2 a <6	0.0042	4	4/78	2.1E-03	4.52E-07
6 a <11	0.0025	5	5/78	2.1E-03	3.37E-07
11 a <16	0.0018	5	5/78	2.1E-03	2.42E-07
16 a <21	0.0015	5	5/78	2.1E-03	2.42E-07
Años totales - niños		21			1.61E-06
Adultos de 21 años y mayores	0.0015	33	33/78	2.1E-03	9.77E-07

## Apéndice B: Glosario de términos

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) es una agencia federal de salud pública en Atlanta, Georgia, con 10 oficinas regionales en los Estados Unidos. La ATSDR brinda servicios a la comunidad mediante el uso de la mejor ciencia, la toma de medidas de salud pública de respuesta y la provisión de información de salud confiable para prevenir exposiciones perjudiciales y enfermedades causadas por sustancias tóxicas. La ATSDR no es una agencia reguladora, a diferencia de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU., que es la agencia federal que crea y hace cumplir las leyes para proteger el medioambiente y la salud humana. Este glosario define las palabras utilizadas por la ATSDR en las comunicaciones con la comunidad. No es un diccionario completo de términos de salud ambiental. Si tiene preguntas o comentarios adicionales, llame al 1-800-CDC-INFO.

### **Agudo**

Que ocurre durante un período breve [comparar con crónico].

### **Exposición aguda**

Contacto con una sustancia que ocurre una vez o solo por un período breve (hasta 14 días) [comparar con exposición de duración intermedia y exposición crónica].

### **Efecto adverso para la salud**

Un cambio en la función corporal o la estructura celular que podría provocar enfermedades o problemas de salud.

### **Cáncer**

Cualquiera de un grupo de enfermedades que se producen cuando las células del cuerpo se vuelven anormales y crecen o se multiplican fuera de control.

### **Riesgo de cáncer**

Un riesgo teórico de contraer cáncer si se expone a una sustancia todos los días durante 70 años (exposición de por vida). El riesgo real podría ser menor.

### **Carcinógeno**

Una sustancia que causa cáncer.

### **Sistema nervioso central**

Parte del sistema nervioso, que comprende el cerebro y la médula espinal.

### **Crónico**

Que ocurre durante un tiempo prolongado [comparar con agudo].

### **Exposición crónica**

Contacto con una sustancia que ocurre durante un tiempo prolongado (más de 1 año) [comparar con exposición aguda y exposición de duración intermedia].

### **Valor de comparación (VC)**

Concentración calculada de una sustancia en el aire, el agua, los alimentos o el suelo, que es poco probable que cause efectos perjudiciales (adversos) en la salud de las personas expuestas. El VC se utiliza como nivel de detección durante el proceso de evaluación de salud pública. Las sustancias encontradas en cantidades superiores a sus VC podrían seleccionarse para una evaluación adicional en el proceso de evaluación de salud pública.

### **Vía de exposición completa**

[consulte vía de exposición].

### **Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act, CERCLA) de 1980**

La CERCLA, también denominada Superfondo, es la ley federal que se refiere a la eliminación o limpieza de sustancias peligrosas en el medioambiente y en sitios de desechos peligrosos. La ATSDR, creada por la CERCLA, es responsable de evaluar los problemas de salud y apoyar las actividades de salud pública relacionadas con los sitios de desechos peligrosos u otras emisiones ambientales de sustancias peligrosas. La Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo (Superfund Amendments and Reauthorization Act, SARA) posteriormente modificó esta ley.

### **Concentración**

La cantidad de una sustancia presente en cierta cantidad de suelo, agua, aire, alimentos, sangre, cabello, orina, aliento o cualquier otro medio.

### **Contaminante**

Una sustancia que está presente en un ambiente donde no pertenece o está presente en niveles que podrían causar efectos perjudiciales (adversos) para la salud.

### **Dérmico/a**

Referido a la piel. Por ejemplo, la absorción dérmica se refiere al paso a través de la piel.

### **Contacto dérmico**

Contacto con la piel [consultar vía de exposición].

### **Límite de detección**

La concentración más baja de una sustancia química que puede distinguirse de manera confiable de una concentración cero.

### **Dosis**

La cantidad de una sustancia a la que una persona está expuesta durante algún período de tiempo. La dosis es una medición de la exposición. La dosis a menudo se expresa en miligramos (cantidad) por kilogramo (una medida del peso corporal) por día (una medida del tiempo) cuando las personas comen o beben agua, alimentos o tierra contaminados. En general, cuanto mayor sea la dosis, mayor será la probabilidad de un efecto. Una “dosis de exposición” es la cantidad de una sustancia que se encuentra en el medioambiente. Una “dosis absorbida” es la cantidad de una sustancia que en realidad ingresó al cuerpo a través de los ojos, la piel, el estómago, los intestinos o los pulmones.

### **Medios ambientales**

Suelo, agua, aire, biota (plantas y animales) o cualquier otra parte del medioambiente que pueda contener contaminantes.

### **Estudio epidemiológico**

Estudio que evalúa la asociación entre la exposición a sustancias peligrosas y enfermedades mediante la evaluación de hipótesis científicas.

### **Epidemiología**

El estudio de la distribución y los determinantes de la enfermedad o el estado de salud en una población; el estudio de la aparición y las causas de los efectos en la salud en seres humanos.

### **Exposición**

Contacto con una sustancia al tragar, respirar o tocar la piel o los ojos. La exposición puede ser a corto plazo [exposición aguda], de duración intermedia o a largo plazo [exposición crónica].

### **Vía de exposición**

La ruta que toma una sustancia desde su fuente (donde comenzó) hasta su punto final (donde termina) y cómo las personas pueden entrar en contacto con ella (o exponerse a ella). Una vía de exposición tiene cinco partes: una fuente de contaminación (como un negocio abandonado); un mecanismo de medios y transporte ambiental (como el movimiento a través del agua subterránea); un punto de exposición (como un pozo privado); una ruta de exposición (comer, beber, respirar o tocar) y una población de receptores (personas potencialmente o realmente expuestas). Cuando las cinco partes están presentes, la vía de exposición se denomina una vía de exposición completa.

### **Agua subterránea**

Agua debajo de la superficie terrestre en los espacios entre las partículas del suelo y entre las superficies de roca [comparar con agua superficial].

### **Datos de resultados de salud**

Información de instituciones privadas y públicas sobre el estado de salud de las poblaciones. Los datos de resultados de salud pueden incluir estadísticas de morbilidad y mortalidad, estadísticas de nacimiento, registros de tumores y enfermedades, o datos de vigilancia de salud pública.

### **Ingestión**

El acto de tragar algo al comer, beber o ponerse objetos en la boca. Una sustancia peligrosa puede ingresar al cuerpo de esta manera [consulte la ruta de exposición].

### **Inhalación**

El acto de respirar. Una sustancia peligrosa puede ingresar al cuerpo de esta manera [consulte la ruta de exposición].

### **Exposición de duración intermedia**

Contacto con una sustancia que ocurre durante más de 14 días y menos de un año [comparar con exposición aguda y exposición crónica].

### **Metabolismo**

Conversión o descomposición de una sustancia de una forma a otra por un organismo vivo.

### **Subproducto metabólico**

Cualquier producto del metabolismo.

### **Nivel de riesgo mínimo (MRL)**

Una estimación de la ATSDR de la exposición humana diaria a una sustancia peligrosa a la cual o por debajo de la cual es poco probable que esa sustancia represente un riesgo medible de efectos no cancerígenos perjudiciales (adversos). Los MRL se calculan para una vía de exposición (inhalación u oral) durante un período de tiempo especificado (agudo, intermedio o crónico). Los MRL no se usan como factores de predicción de efectos perjudiciales (adversos) para la salud [ver dosis de referencia].

### **Morbilidad**

Estado de enfermedad. La morbilidad es la aparición de una enfermedad o afección que altera la salud y la calidad de vida.

### **Mortalidad**

Muerte. Generalmente, se indica la causa (una enfermedad específica, una afección o una lesión).

### **Lista nacional de prioridades para sitios de desechos peligrosos no controlados (NPL)**

Lista de la EPA de los sitios de desechos peligrosos no controlados o abandonados más graves en los Estados Unidos. La NPL se actualiza regularmente.

### **Punto de exposición**

El lugar donde alguien puede entrar en contacto con una sustancia presente en el medioambiente [consulte la vía de exposición].

**Población**

Un grupo o cantidad de personas que viven dentro de un área específica o comparten características similares (como ocupación o edad).

**Prevención**

Acciones que reducen la exposición u otros riesgos, evitan que las personas se enfermen o que la enfermedad empeore.

**Evaluación de salud pública (PHA)**

Un documento de la ATSDR que examina las sustancias peligrosas, los resultados de salud y las preocupaciones de la comunidad respecto de un centro de desperdicios peligrosos a fin de determinar si las personas podrían verse perjudicadas al tener contacto con esas sustancias. La PHA también enumera medidas que deben tomarse para proteger la salud pública.

**Vigilancia de salud pública**

La recopilación sistemática y continua, el análisis y la interpretación de los datos de salud. Esta actividad también implica la difusión oportuna de los datos y el uso de los programas de salud pública.

**Dosis de referencia (RfD)**

Una estimación de la EPA, con factores de incertidumbre o seguridad incorporados, de la dosis diaria de por vida de una sustancia que es poco probable que cause daño a los seres humanos.

**Riesgo**

La probabilidad de que algo cause lesiones o daños.

**Vía de exposición**

La forma en que las personas entran en contacto con una sustancia peligrosa. Tres vías de exposición son la respiración [inhalación], el comer o beber [ingestión] o el contacto con la piel [contacto dérmico].

**Muestra**

Una porción o parte de un entero. Un subconjunto seleccionado de una población o subconjunto de lo que se está estudiando. Por ejemplo, en un estudio de personas, la muestra es una cantidad de personas elegidas de una población más grande [ver población]. Se puede recolectar una muestra ambiental (por ejemplo, una pequeña cantidad de suelo o agua) para medir la contaminación en el medioambiente en un lugar específico.

**Tamaño de la muestra**

La cantidad de unidades elegidas de una población o un entorno.

**Fuentes de contaminación**

Lugar de donde proviene una sustancia peligrosa, como un vertedero, estanque de desechos, incinerador, tanque de almacenamiento o tambor. Una fuente de contaminación es la primera parte de una vía de exposición.

**Sustancia**

Una sustancia química.

**Superfondo** (consulte la Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental de 1980 [CERCLA] y la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo [SARA])

### **Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo (SARA)**

En 1986, la ley SARA modificó la Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA) de 1980 y amplió las responsabilidades relacionadas con la salud de la ATSDR. Las leyes CERCLA y SARA ordenan a la ATSDR analizar los efectos de la exposición a sustancias en sitios de desechos peligrosos y realizar actividades que incluyen educación sobre la salud, estudios de salud, vigilancia, consultas de salud y perfiles toxicológicos.

### **Perfil toxicológico**

Documento de la ATSDR que examina, resume e interpreta la información sobre una sustancia peligrosa para determinar los niveles perjudiciales de exposición y los efectos en la salud asociados. Un perfil toxicológico también identifica brechas significativas en el conocimiento de la sustancia y describe las áreas donde se necesitan más investigaciones.

### **Toxicología**

Estudio de los efectos perjudiciales de las sustancias en seres humanos o animales.

### **Mecanismo de transporte**

Los medios ambientales incluyen agua, aire, suelo y biota (plantas y animales). Los mecanismos de transporte trasladan los contaminantes de la fuente a los puntos donde puede ocurrir la exposición humana. El medio ambiental y el mecanismo de transporte es la segunda parte de una vía de exposición.

### **Compuestos orgánicos volátiles (COV)**

Compuestos orgánicos que se evaporan fácilmente en el aire. Los COV incluyen sustancias como benceno, tolueno, cloruro de metileno y cloroformo de metilo.

Otros glosarios y diccionarios:

Agencia de Protección Ambiental

([https://sor.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do](https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do))

Biblioteca Nacional de Medicina (NIH) (<https://medlineplus.gov/appendixb.html>)

## Apéndice C: Tablas

**Tabla C1. Resumen de los sistemas de suministro de agua en Dorado**

Sistema	Nombre del pozo	PWSID*	Fecha de construcción	Contribución porcentual (2015)	Población a la que abastece (2015)	Estado/Notas
Dorado	San Antonio 1	5607	No disponible	0	0	Fuera de servicio (2006)
	San Antonio 2	5607	1961	0	0	Pozo no operativo (2005)
	San Antonio 3	5607	1978	0	0	Fuera de servicio (2006)
	Higuillar	5607	1942	0	0	Fuera de servicio (2005)
	Dorado Dairy 1	5607	No disponible	0	0	Fuera de servicio (2006)
	Dorado Dairy 2	5607	1994	0	0	Fuera de servicio (2006)
	Santa Rosa	5607	1995	14.95	4644	Operativo
	Nevárez	5607	1996	14.61	4538	Operativo
	Superacueducto		2001	70.44	21 897	Operativo
Maguayo	Maguayo 2	5597	1968	17.15	9158	Fuera de servicio (2019)
	Maguayo 3	5597	1988	0	0	Fuera de servicio (2011)
	Maguayo 4	5597	1979	0	0	Fuera de servicio (2011)
	Maguayo 5	5597	No disponible	0	0	Fuera de servicio (2010)
	Maguayo 6	5597	1988	14.23	9158	Fuera de servicio (2019)
	Maguayo 7	5597	1988	30.52	9158	Fuera de servicio (2019)
	Superacueducto			38.1	9,158	Operativo

\*PWSID: (Public Water System ID) Número de identificación del sistema público de agua

**Tabla C2. Resumen de datos de PRASA**

<b>Sistema</b>	<b>N.º de pozo</b>	<b>Datos disponibles (años)</b>
Dorado (PWSID 5607)	San Antonio 1	
	San Antonio 2	2009, 2015
	San Antonio 3	2015
	Higuillar	2015
	Dorado Dairy 1	
	Dorado Dairy 2	2015
	Santa Rosa	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
	Nevárez	2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Vivoni (PWSID 5616)	Vivoni	2007, 2008, 2009, 2010
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo 2	2002 (solo PCE/TCE), 2003 (solo PCE/TCE), 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
	Maguayo 3	2002 (solo PCE/TCE), 2003 (solo PCE/TCE), 2004 (solo PCE/TCE), 2005 (solo PCE/TCE), 2006 (solo PCE/TCE), 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
	Maguayo 4	2007, 2009, 2010, 2011
	Maguayo 5	2002 (solo PCE/TCE), 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
	Maguayo 6	2002 (solo PCE/TCE), 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
	Maguayo 7	2002 (solo PCE/TCE), 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Superacueducto		

**Tabla C3. Instalaciones para evaluación preliminar/inspecciones del sitio del 2011 al 2013 e instalaciones para reevaluación del sitio en el 2015**

Ubicación	Cantidad de muestras de agua subterránea	Cantidad de muestras de suelo (profundidad)	Cantidad de muestras de gas del suelo	Año de muestreo
Tintorería de Higuillar	2	15 (0.3-31.3')	0	2015
Imprenta de serigrafía y carteles Green Point	2	19 (0.5-31.5')	0	2013
Edificio PRIDCO N.º: L-439-0-97	0	41 (1-39.9')	0	2015
Adriel Auto	6	19 (1-28.5')	0	2013
Metal Machining CO.	0	16 (1-47.5')	0	2013
Tintorería y Sastrería Narvaez	0	16 (1-37.5')	2	2013
Lavandería Espinosa	3	15 (0.6-31.8')	0	2015
Edificio PRIDCO N.º: L\T-0320-0-56	5	15 (1.5-26.7')	0	2011
Edificio PRIDCO N.º: S-0050-0-51	5	16 (1.4-37')	0	2011
Ex Tintorería y Sastrería Narvaez	3	23 (0.5-50')	0	2013
Tintorería Edward's	3	14 (0.5-16')	0	2015
Edificio PRIDCO N.º: L-107-2-64-16/18/19	3	16 (1.5-48')	0	2011
Edificio PRIDCO N.º T-1125-0-73 y T-1125-1-79	2	10 (1.2-46.7')	0	2011

N.º de bloque de PRIDCO: S-0745-0-66	1	16 (1.5-46.7')		2011
Edificio PRIDCO N.º: S-1166-0-74	2	19 (1.5-41.7')		2011
N.º de bloque de PRIDCO: T-1322-088	3	19 (1.5-36.7')		2011
Edificio PRIDCO N.º: T-0638-0-66	4	19 (1.5-20.7')		2.15
N.º de bloque de PRIDCO: T-0957-1-71	6	26 (1.6-46.7')		2011
Edificio PRIDCO N.º: S-0838-0-67	6	25 (1.5-32.5')		2011
Edificio PRIDCO N.º: T-0868-0-67	6	13 (1.5-31.7')		2011
Total	62	373	2	

Nota: PRIDCO = Compañía Industrial de Puerto Rico