



# ATSDR

## Evaluación de salud pública



Evaluación de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el agua potable del sistema público

Dorado, Puerto Rico



Identificación de la instalación de USEPA: PRN000201872

Publicación final  
22 de Junio del 2026



Preparado por

Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU.  
Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)  
Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud Comunitaria

Atlanta, GA 30341



U.S. Department of  
Health and Human Services  
Agency for Toxic Substances  
and Disease Registry

# ATSDR

## Evaluación de salud pública

### Dorado, Puerto Rico

Evaluación de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el agua potable del sistema público

Identificación de la instalación de USEPA: PRN000201872

Publicación final  
22 de Junio del 2026

Preparado por

Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU.  
Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)  
Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud de la Comunidad  
Atlanta, GA 30341

## Contenido

<b>1. Resumen</b> .....	<b>6</b>
1.1. Introducción.....	6
<b>2. Objetivo</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Información general</b> .....	<b>10</b>
3.1. Antecedentes y descripción del sitio .....	10
3.1.1. Sistema de Maguayo (PWSID PR0005597) .....	10
3.1.2. Sistema de Dorado Urbano (PWSID PR0005607) .....	11
3.1.3. Sistema de pozos de Vivoni (PWSID PR0005517) .....	11
3.1.4. Sistema del Superacueducto de la Costa Norte (PWSID PR000) .....	11
<b>4. Visita al sitio</b> .....	<b>11</b>
<b>5. Datos demográficos</b> .....	<b>12</b>
<b>6. Discusión</b> .....	<b>14</b>
6.1. Datos utilizados .....	14
<b>7. Proceso de evaluación</b> .....	<b>15</b>
<b>8. Evaluación de datos ambientales</b> .....	<b>19</b>
<b>9. Implicaciones para la salud pública</b> .....	<b>20</b>
<b>10. Preocupaciones de salud de la comunidad</b> .....	<b>34</b>
<b>11. Incertidumbres y limitaciones de los datos</b> .....	<b>34</b>
<b>12. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>35</b>
<b>13. Autores</b> .....	<b>38</b>
<b>14. Referencias</b> .....	<b>39</b>
Apéndice A: Cálculos de la dosis de exposición .....	45
Apéndice B: Glosario de términos .....	51
Apéndice C: Tablas .....	57

## Lista de tablas

Tabla 1. Vías de exposición para el sitio de contaminación de agua subterránea en Dorado, municipio de Dorado, Puerto Rico.....	17
Tabla 2. Resumen de sustancias químicas a niveles que superan los valores de comparación en el suministro público de agua potable compuesto por los pozos de agua subterránea y el Superacueducto .....	19
Tabla 3. Dosis totales estimadas de exposición al TCE por la exposición al suministro público de agua potable en el área de Dorado .....	23

Tabla 4. Aumento estimado del riesgo de cáncer por la exposición a TCE en agua potable contaminada en el sitio de Dorado .....	26
Tabla 5. Dosis totales estimadas de exposición al PCE por la exposición al suministro público de agua potable en el área de Dorado .....	27
Tabla 6. Aumento estimado del riesgo de cáncer por la exposición a PCE en el suministro público de agua potable proveniente de los sistemas de agua potable de Dorado .....	28
Tabla 7. Supuestos de ingestión de agua contaminada.....	45
Tabla 8. Supuestos sobre inhalación y contacto dérmico de agua contaminada.....	47
Tabla 9. Dosis totales estimadas de exposición a TCE del sitio de contaminación de aguas subterráneas de Dorado .....	48
Tabla 10. Dosis totales estimadas de exposición a PCE del sitio de contaminación de aguas subterráneas de Dorado .....	48
Tabla 11. Cálculo del riesgo excedente de cáncer para los residentes expuestos a TCE en el agua de pozo por ingestión, inhalación y contacto dérmico, a 6.4 µg/L; sistemas de agua potable de Dorado.....	49
Tabla 12. Cálculo del riesgo excedente de cáncer para los residentes expuestos a PCE en el agua de pozo por ingestión, inhalación y contacto dérmico, a 15 µg/L; sistemas de agua potable de Dorado.....	50
Tabla 13. Resumen de los sistemas de agua potable que contribuyen al suministro público de agua potable en el área de Dorado .....	57
Tabla 14. Resumen de datos de la PRASA.....	58
Tabla 15. Instalaciones para evaluación preliminar/inspecciones del sitio del 2011 al 2013 e instalaciones para reevaluación del sitio en el 2015 .....	59

## Lista de figuras

Figura 1: Ubicación de tuberías de agua y pozos de Dorado, Dorado, Puerto Rico .....	13
Figura 2: Concentraciones de dicloramina a lo largo del tiempo en el sistema del Supracueducto, Dorado, Puerto Rico.....	31
Figura 3: Concentraciones de monoclорamina a lo largo del tiempo en el sistema del Supracueducto, Dorado, Puerto Rico.....	31

## Siglas y abreviaturas

ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
VC	Valor de comparación
DBP	Subproductos de desinfección
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
HAA	Ácidos haloacéticos
IARC	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
LOAEL	Concentración mínima con efecto adverso observado
IRIS	Sistema integrado de evaluación de riesgos
MCL	Nivel máximo de contaminantes
mg/L	Miligramos por litro
MLE	Estimación de máxima verosimilitud
MRDLG	Nivel máximo objetivo de desinfectante residual
MRL	Nivel de riesgo mínimo
NCEH	Centro Nacional de Salud Ambiental
NPL	Lista de Prioridades Nacionales
PCB	Bifenilos policlorados
PCE	Tetracloroetileno (o percloroetileno)
PRASA	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico
DSPR	Departamento de Salud de Puerto Rico
PWS	Sistema de agua público
RfD	Dosis de referencia
RMEG	Guía de evaluación de medios de referencia
JCA	Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico
COSV	Compuestos orgánicos semivolátiles
TCE	Tricloroetileno (o tricloroetano)
µg/L	Microgramo por litro
COV	Compuesto orgánico volátil

## Evaluación de salud pública: nota explicativa

Esta evaluación de salud pública fue preparada por la ATSDR en virtud de la Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA, por sus siglas en inglés, también conocida como Superfondo) sección 104 (i)(6) (Título 42 del Código de los Estados Unidos [U.S.C.], sección 9604 (i)(6)), y de acuerdo con las normas que la implementan (Título 42 del Código de Regulaciones Federales [C.F.R.], Parte 90). Para preparar este documento, la ATSDR ha recolectado datos de salud y datos ambientales pertinentes, así como las preocupaciones de salud de la comunidad, procedentes de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), agencias de salud y medioambiente estatales y locales, la comunidad y las partes potencialmente responsables, cuando corresponda. Este documento representa el cumplimiento de la agencia de los criterios legales establecidos en la sección 104 (i)(6) de CERCLA dentro de un plazo limitado según la información disponible al momento. En la medida de lo posible, se presenta una evaluación de los posibles riesgos para la salud humana. Se pueden llevar a cabo las medidas autorizadas por la sección 104 (i)(11) de CERCLA, o de otra manera autorizadas por CERCLA, para prevenir o mitigar la exposición de los seres humanos o los riesgos para la salud humana. El documento revisado fue publicado y tuvo un periodo de consulta pública de 45 días. Después del periodo de consulta pública, la ATSDR abordó todos los comentarios del público y revisó el documento o incorporó anexos según fue necesario. La evaluación de salud pública se ha vuelto a publicar. Con esto finaliza 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 las conclusiones emitidas anteriormente o incorporar anexos.

Puede llamar a la ATSDR de forma gratuita al teléfono 1-800-CDC-INFO

o

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



### Acerca de la ATSDR

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) es una agencia de salud pública federal que forma parte del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU. La ATSDR trabaja con otras agencias y con Gobiernos tribales, estatales y locales para estudiar posibles riesgos para la salud en comunidades donde las personas podrían entrar en contacto con sustancias químicas peligrosas.

# 1. Resumen

## 1.1. 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 (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.

Los sistemas de suministro de agua potable de Dorado que contribuyen al suministro público de agua potable proporcionan agua potable a más de 67,000 personas en Dorado y los municipios cercanos. Dorado tiene cuatro sistemas de suministro de agua potable registrados en la EPA bajo el Sistema de Suministro de Agua Público (PWS, por sus siglas en inglés). El sistema de suministro de agua potable consta de dos sistemas de suministro de aguas subterráneas activos, un sistema de pozos activos y el sistema del Superacueducto (agua superficial) que se mezcla con aguas subterráneas para proporcionar agua potable. Se han detectado algunos compuestos orgánicos volátiles (COV), principalmente tetracloroetileno (PCE) y tricloroetileno (TCE), en niveles bajos en los sistemas de agua potable de Dorado (figura 1) desde la década de 1980. También se detectaron desinfectantes y subproductos de desinfección (DBP, por sus siglas en inglés) como trihalometanos (THM) en niveles bajos.

El propósito de esta Evaluación de Salud Pública (PHA, por sus siglas en inglés) era determinar si la exposición a los COV en los sistemas de agua potable de Dorado que contribuían al suministro público de agua potable en el área de Dorado perjudicó a la comunidad y qué medidas de salud pública era necesario tomar para reducir las exposiciones perjudiciales. Debido a la escasez de datos disponibles, la ATSDR enfocó su evaluación solo en la exposición a los COV de los sistemas de suministro de agua potable de Dorado que contribuyen al suministro público de agua potable en el área de Dorado. La ATSDR halló que algunos de los COV que se encontraban en el agua subterránea estaban **relacionados con el sitio**, mientras que otros COV **no estaban relacionados con el sitio** y tenían su origen en una fuente de agua conectada que estaba contaminada con subproductos de desinfección por el 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 usó supuestos conservadores para proteger la salud de la comunidad. Por lo tanto, las exposiciones reales podrían ser diferentes de las que se describen en este documento.

La ATSDR llegó a las siguientes conclusiones en esta Evaluación de Salud Pública:

### Conclusión 1

No es probable que las personas que han usado el suministro público de agua potable para beber, cocinar y bañarse en el área de Dorado desde 1984 (cuando se descubrió la contaminación inicialmente) hasta la actualidad presenten efectos perjudiciales en la salud debidos a los bajos niveles de sustancias químicas en el agua.

### Fundamentos de la conclusión

La ATSDR encontró algunas sustancias químicas en el suministro público de agua potable relacionadas con la contaminación de aguas subterráneas (relacionadas con el sitio) y otras sustancias químicas relacionadas con la adición de desinfectantes para matar microbios en el agua (no relacionadas con el sitio).

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

#### Tricloroetileno (TCE)

- **Pocas muestras tenían niveles de 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 III de Maguayo, el cual se sacó de servicio en el 2011 [PRASA 2017].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que los niveles que mostraban problemas para la salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando la concentración máxima de TCE de 6.4 ppb, lo que tuvo como resultado dosis totales estimadas de exposición a TCE que oscilaron entre 0.0005 y 0.0022 miligramos por kilogramo por día (mg/kg/día) para diferentes grupos de edad. 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. Por lo tanto, no es probable que los niveles de TCE en el suministro público de agua potable perjudiquen 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 de las 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, respectivamente, se consideran bajos.

## PCE

- **Pocas muestras tenían niveles de PCE por encima de los estándares del agua potable.** Los niveles de PCE variaron de indetectables a 15 ppb. Del 2008 al 2015, alrededor del 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 IV de Maguayo [USEPA 2020].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que los niveles que mostraban problemas para la salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando la concentración máxima de PCE de 15 ppb, lo que tuvo como resultado dosis estimadas que oscilaron entre 0.0015 y 0.0064 mg/kg/día según el grupo de edad. Este rango de dosis estimado es más bajo que los valores de las pautas basadas en la salud de la EPA y la ATSDR (pautas de salud) de 0.006 mg/kg/día y 0.008 mg/kg/día para los efectos no carcinógenos, respectivamente y, por lo tanto, no es probable que sea perjudicial para 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 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)

- **Las sustancias químicas relacionadas con la desinfección no excedieron los estándares del agua potable.** Ninguna de las concentraciones máximas de sustancias químicas relacionadas con la desinfección excedió los estándares del agua potable segura de la EPA y los valores de comparación no carcinógenos de la ATSDR. Por lo tanto, probablemente no se asociarían con efectos no carcinógenos 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 suministro público de agua potable sean inferiores al valor máximo, ya que el agua se mezcla antes de llegar a las llaves 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 desinfección (DBP) en el suministro público de 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 los microbios que podrían causar una enfermedad repentina grave potencialmente mortal superan con creces el potencial aumento leve 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

Todavía se desconoce la fuente de la contaminación del agua subterránea. Las áreas donde se encuentra la fuente podrían tener niveles más altos de contaminación. La ATSDR no puede saber si alguna persona entra en contacto con el suelo o el aire dentro de las edificaciones que podrían estar contaminadas en las áreas donde se encuentra la fuente. Los niveles de contaminantes en o cerca de la fuente o las fuentes de la contaminación podrían ser muy diferentes a los de las ubicaciones muestreadas. No tenemos suficiente información para concluir si las sustancias químicas en el suelo o el aire dentro de las edificaciones podrían perjudicar la salud de las personas. Estamos trabajando con el estado y la EPA para recopilar esta información e identificar la fuente de la contaminación.

- **La EPA no ha encontrado la fuente de la 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, por sus siglas en inglés) de la EPA y todas estuvieron por debajo de los niveles de detección usados para las edificaciones residenciales. Pueden encontrarse más detalles en la Evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA, por sus siglas en inglés) de la EPA.

### Próximos pasos

#### La EPA y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA):

- 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):

- Continuará realizando el monitoreo de rutina del agua, como lo exige la Ley de Agua Potable Segura, con la ayuda de la EPA.

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

- Evaluará los datos adicionales recopilados por la EPA y el Departamento de Salud de Puerto Rico y actualizará los hallazgos de este informe, si se solicita.

## 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.

## 2. 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 relevancia del sitio para la salud pública.

## 3. Información general

### 3.1. Antecedentes y descripción del sitio

El sitio está ubicado en un área de uso combinado residencial, comercial e industrial, en la zona centro norte de Puerto Rico, en el municipio de Dorado. Las aguas subterráneas del sitio se han contaminado con disolventes orgánicos. La fuente de la contaminación todavía está bajo investigación y la EPA ha evaluado algunas ubicaciones en busca de las posibles partes responsables.

Dorado tiene cuatro sistemas de suministro de agua potable registrados con la EPA bajo el Sistema de Suministro de Agua Público (PWS): dos sistemas de suministro de aguas subterráneas activos, Maguayo (31,061 personas) y Dorado Urbano (36,630 personas); un sistema de pozos inactivo (Vivoni), ubicado al sur (en dirección ascendente) de otros pozos; y el sistema del Superacueducto (agua superficial de la costa noroeste de la isla que se usa para complementar el suministro de agua desde el 2001). Más de 67,000 personas se abastecen de agua potable de estos sistemas combinados de agua subterránea y agua superficial [WESTON 2015]. La Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (PRASA) opera los sistemas de agua de Dorado.

La Figura 1 más adelante muestra la ubicación de las tuberías de agua de los pozos. La Tabla 13 del Apéndice C muestra un resumen de los sistemas de pozos de Dorado.

#### 3.1.1. Sistema de Maguayo (PWSID PR0005597)

El sistema activo de Maguayo 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 II- Maguayo VII) que se construyeron de 1968 a 1988. Históricamente, los pozos del sistema de Maguayo se desactivaban y reactivaban de manera periódica.

Según los registros de la PRASA, los pozos de Maguayo II, Maguayo VI y Maguayo VII estaban activos en el 2015. Los pozos III y IV de Maguayo han estado fuera de servicio desde el 2011 y el pozo V de Maguayo 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].

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

El sistema combinado de Dorado Urbano también extrae agua del acuífero superior del sistema de acuíferos de roca caliza de la costa norte. Hay ocho pozos en este sistema. Dos pozos activos, Santa Rosa y Nevarez, se construyeron 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, los pozos de San Antonio 2 e Higuillar han estado fuera de servicio desde el 2005. Los pozos de San Antonio 1, San Antonio 3, Dorado Dairy 1 y Dorado Dairy 2 han estado fuera de servicio desde el 2006.

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

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

### **3.1.4. Sistema del Superacueducto de la Costa Norte (PWSID PR000)**

El sistema del Superacueducto de la Costa Norte es el proyecto de transporte de agua más grande que se ha 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 del Lago Dos Bocas, en Utuado. El sistema del Superacueducto se conectó a los sistemas de aguas subterráneas de Dorado en el 2001 a fin de complementar el suministro de agua ya existente.

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

## **4. 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 Departamento de Salud de Puerto Rico, la División de Protección Ambiental del Caribe de la EPA (CEPD) y la PRASA para visitar el sitio. La ATSDR visitó el sistema público de distribución de agua potable y los pozos de agua subterránea del municipio de Dorado y sus alrededores. La ATSDR se comunicó con la CEPD para recibir actualizaciones adicionales sobre el sitio. En el 2019, la CEPD realizó una investigación correctiva y estudio de viabilidad (RI/FS, por sus siglas en inglés), que incluyó también una evaluación inicial de riesgos para la salud de los seres humanos y una evaluación de riesgos

ecológicos en niveles de detección. Durante este evento, se realizó un muestreo ambiental de aguas subterráneas de pozos públicos y privados, y de aguas superficiales y sedimentos del Río 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.

## **5. Datos demográficos**

El sitio se encuentra en la ciudad de Dorado. Según los datos del censo de los EE. UU. del 2010, el total de la población que vivía dentro de los límites de la ciudad de Dorado era 38,165. La mayoría de la población es de origen hispano o latino (98 %). Las estadísticas demográficas del censo de los EE. UU. del 2010 muestran también que la población que vivía en los alrededores de los sistemas de pozos incluía a grupos potencialmente sensibles, entre estos, aproximadamente 9.5 % de niños de 6 años o menos, 21 % de mujeres en edad reproductiva y 12 % de adultos de 65 años o mayores [Censo de los EE. UU. 2010].

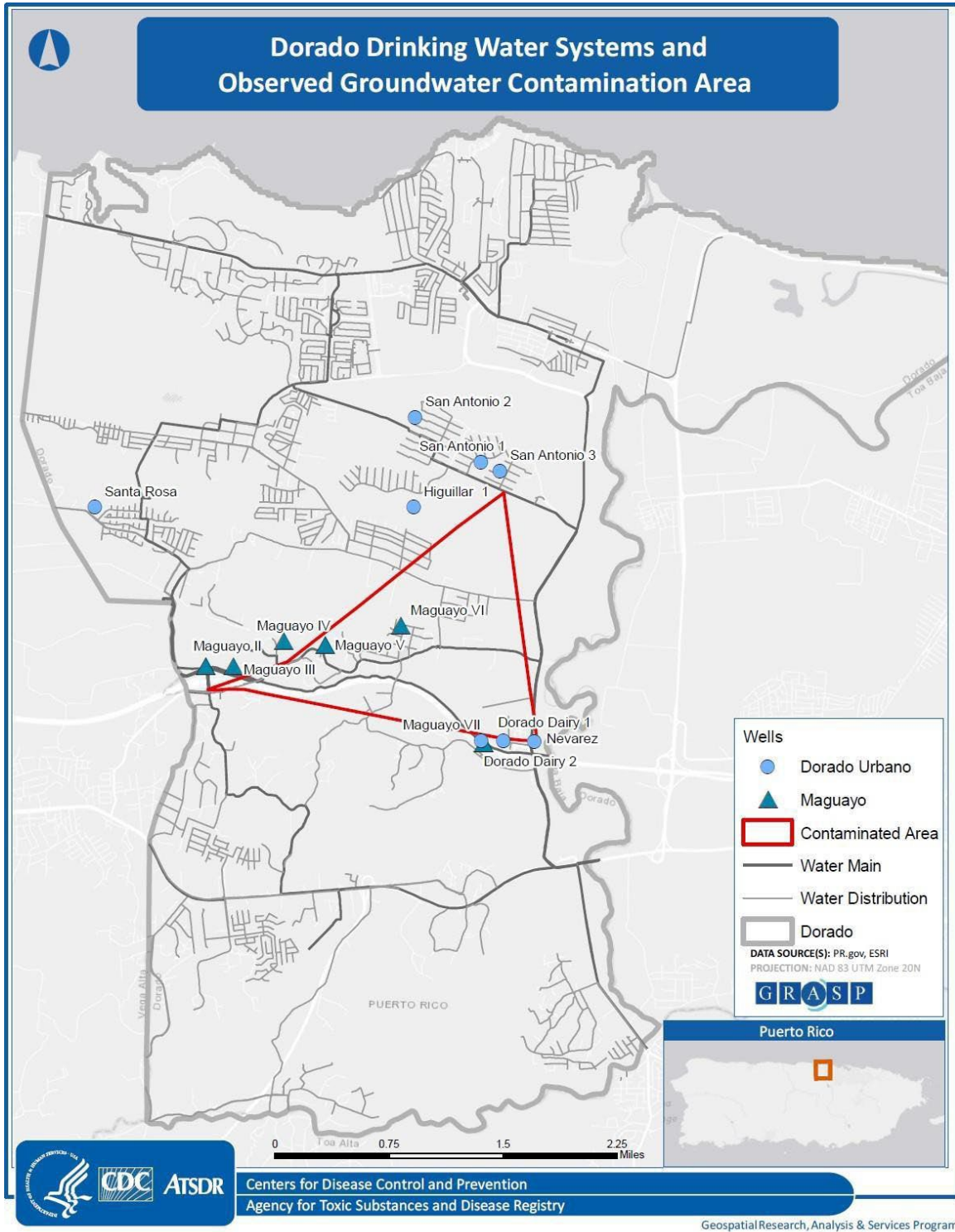


Figura 1: Ubicación de tuberías de agua y pozos de Dorado. Dorado, Puerto Rico

## 6. Discusión

### 6.1. 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 de los documentos. Además, las muestras ambientales (aguas subterráneas y suelo) recolectadas por la EPA y PRASA (a solicitud de la JCA) 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, 2008: En el 2008, durante el evento de muestreo de la Iniciativa de Descubrimiento del Sitio de Maguayo, la EPA recolectó muestras de aguas subterráneas (6) de 4 pozos de Maguayo (Maguayo III, V, VI y VII) y del pozo de Vivoni [WESTON 2008].

Datos de la EPA, 2009: En el 2009, durante la segunda fase del evento de muestreo de la Iniciativa de Descubrimiento del Sitio de Maguayo, la EPA recolectó muestras adicionales de aguas subterráneas (7) de 3 pozos de Maguayo (Maguayo II, VI y VII), un pozo de Dorado Urbano (Santa Rosa) y el pozo de Vivoni [WESTON 2010].

Datos de la EPA, 2011 y 2013: La EPA llevó a cabo una evaluación preliminar/inspecciones del sitio (PA/SI, por sus siglas en inglés) y reevaluación del sitio (SR, por sus siglas en inglés) en 21 instalaciones para identificar posibles fuentes de 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]. Vea un resumen de las muestras en la Tabla 2 del Apéndice C.

Datos de la EPA, 2015: En septiembre del 2015, la EPA recolectó 19 muestras de aguas subterráneas de pozos de suministro de agua tanto activos como inactivos. Los cinco pozos activos muestreados fueron Nevarez, Santa Rosa, y los pozos II, VI y VII de Maguayo. Los pozos inactivos muestreados fueron San Antonio 2, San Antonio 3, Higuillar, Dorado Dairy 2, Nevarez, Vivoni y Maguayo III-V [USEPA 2015].

Datos de la PRASA, 2002-2015: La PRASA proporcionó los datos de muestreo del 2002 al 2015 disponibles para los pozos en los sistemas de Dorado [WESTON 2015a-b]. Vea un resumen de las muestras en la Tabla 3 del Apéndice C.

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 todas subproductos de la cloración; no se detectaron TCE/PCE [PRASA 2017].

Datos de la EPA, 2019: Como parte de una investigación correctiva/estudio de 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 garantía de calidad (QA, por sus siglas en inglés) y control de calidad (QC, por sus siglas en inglés) para la calidad de los datos de campo y laboratorio a fin de 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 validados.

## 7. Proceso de evaluación

La ATSDR proporciona recomendaciones de salud pública específicas para el 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 podrían entrar en contacto con medios contaminados que podrían dar lugar a 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 fuente de contaminación: aún no se ha identificado la fuente de contaminación del sitio, pero se presume que existe debido 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 obtenían agua potable del suministro público de agua potable. Este suministro incluía agua de pozos contaminados.
4. Una ruta de exposición: los residentes de Dorado bebieron el agua y se bañaron en ella, y es posible que hayan inhalado vapores del contaminante en el agua.

5. Población expuesta: Aproximadamente 67,000 personas se abastecían del suministro público de agua potable compuesto por varios sistemas de agua potable de Dorado, algunos con pozos contaminados.
6. El análisis de la vía de exposición (Tabla 1) indica que existía una vía de exposición completa de aguas subterráneas (pasada y actual) para aquellos que usaban el suministro público de agua potable del sitio.

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

Vía de exposición	Fuentes de contaminación	Destino y transporte	Punto de exposición	Poblaciones expuestas	Ruta de exposición	Clasificación de la vía
Suministro público de agua potable	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	Llave residencial	Residentes de la zona que usan el suministro público de agua potable	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasada (completa) Actual (completa) Futura (completa)
Aguas subterráneas de los sistemas de agua potable de Dorado; pozos de agua subterránea privados	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Migración de aguas subterráneas contaminadas a áreas con pozos privados	Agua de llave residencial; otras llaves de agua potable	Personas que usan pozos privados	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasada (eliminada) Actual (eliminada) Futura (potencial)
Intrusión de vapores	Emanaciones de operaciones desconocidas en el sitio	Migración de vapores subsuperficiales al aire interior	Estructuras cerradas sobre aguas subterráneas o suelos contaminados	Personas que viven o trabajan en casas o edificaciones construidas sobre una subsuperficie contaminada	Inhalación	Pasada (potencial) Actual (potencial) Futura (potencial)
Suelos de la superficie	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	Pasada (potencial) Actual (potencial) Futura (potencial)
Suelos subsuperficiales	Emanaciones de operaciones desconocidas en los alrededores 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	Pasada (potencial) Presente (potencial) Futura (potencial)
Agua superficial	Emanaciones de operaciones desconocidas en los alrededores del sitio	Migración de agua subterránea y suelo contaminados al Río La Plata	Río La Plata	Personas que entran en contacto con agua superficial contaminada	Ingestión Dérmica Inhalación	Pasada (potencial) Presente (potencial) Futura (potencial)

Las sustancias químicas que contaminan las aguas subterráneas y el suelo también podrían convertirse en gas y migrar al aire de las casas y las edificaciones comerciales. La migración de gases y sustancias químicas volátiles de cualquier fuente de la subsuperficie al aire interior se conoce como intrusión de vapor. La ATSDR no puede evaluar en más detalle las vías de exposición de la intrusión de vapor y el suelo superficial porque no se han identificado las fuentes de contaminación, y las muestras de suelo superficial y vapor de suelo son escasas. 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 del contaminante en o cerca de la fuente podrían ser muy diferentes a las de las ubicaciones muestreadas. 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 aún más la vía de exposición completa del suministro público de agua potable en el área de Dorado para determinar si algún efecto potencial en la salud podría 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 frente a 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 los 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 la pauta basada en la salud (pauta de 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 pautas de salud se consideran dosis seguras; es decir, si la dosis calculada es igual o inferior a la pauta de salud, no se esperan efectos adversos para la salud.

- Si la dosis de exposición en el “peor de los casos” a una sustancia química es mayor que la pauta de salud, entonces la dosis de exposición puede refinarse para reflejar más estrechamente las exposiciones reales 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 peligro para la salud.

## 8. Evaluación de datos ambientales

Para evaluar la vía de exposición completa del suministro público de agua potable, 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 presenta un resumen de las sustancias químicas.

**Tabla 2. Resumen de sustancias químicas a niveles que superan los valores de comparación en el suministro público de agua potable compuesto por los pozos de agua subterránea y el Superacueducto**

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

Bromodiclorometano	8.4	15.8	0.39 – CREG	Sí	67
Dióxido de cloro	No analizado	3.5	210 – RMEG	No	2
Di(2-etilhexil)ftalato	5	4.8	1.7 – CREG	No	1
Dicloramina	No analizado	1.3	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 ver las definiciones y otra información adicional acerca de 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

\*\* La 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 que los datos son escasos y 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 (bromodiclorometano, 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.

## 9. Implicaciones 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 carcinógenos y no carcinógenos para la salud. Para calcular las dosis de exposición, la ATSDR hizo varios supuestos.

Los supuestos 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] y el Manual de factores de exposición específicos para niños [USEPA 2008], y el criterio profesional. Cada dosis de exposición calculada se compara con el valor de la pauta basada en la salud (pauta de salud) correspondiente. Consulte el Apéndice A para ver un análisis detallado del proceso de evaluación de la ATSDR, los supuestos de los cálculos 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 podían 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 volatilizarse 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 en el aire, las personas pueden absorber las sustancias químicas 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, por sus siglas en inglés), 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 en la ducha, la bañera, la lavadora de ropa y el lavaplatos automático. 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 agua potable que combinan agua subterránea y agua superficial para proporcionar el suministro público de agua potable al área de Dorado. Por los motivos que se enumeran a continuación, la ATSDR usó los valores máximos (suposición del peor escenario posible) de las sustancias químicas detectadas para calcular las dosis de exposición para la población de Dorado:

- (1) Los pozos de agua subterránea se desactivan y reactivan periódicamente. Sin embargo, no se dispuso de un cronograma completo (p. ej., contribución porcentual anual de pozos operativos) para el uso de pozos. La única información disponible era del año 2015, como se indica en la Tabla 13 del Apéndice C.
- (2) El agua del Superacueducto se mezcla con el agua subterránea para su distribución. El Superacueducto está conectado al sistema de aguas subterráneas de Dorado desde el 2001. Solo tenemos información del porcentaje de contribución del sistema del año 2015. Supusimos que la contribución porcentual es la misma del 2001 al 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 II se construyó en 1968 y todavía está activo actualmente, pero nos faltan datos de 1984 al 2001. Solo tenemos datos de PCE y TCE en los años 2002 y 2003. Faltan datos de los años 2004, 2005, 2006 y 2008. También faltan datos de otros pozos, como se indica en la Tabla 15 del Apéndice C. Presumimos que la exposición comenzó en 1984 y que los niveles de contaminación de 1984 al 2001 fueron similares a los de los años de los que 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 usa como disolvente 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 periodos prolongados. Cuando está presente en las aguas subterráneas, el TCE de fase libre tiende a sedimentarse formando una capa en el fondo del acuífero y luego se disuelve continuamente en el agua subterránea [ATSDR 2014].

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

Los efectos adversos no carcinógenos para la salud asociados con la exposición oral crónica al TCE incluyen disminución del peso corporal, efectos en el hígado y los riñones, y efectos en el desarrollo, el sistema inmunitario y el aparato reproductor, documentados en estudios en animales y seres humanos. Estudios epidemiológicos anteriores de mujeres que vivían en las áreas donde el agua potable estaba contaminada con TCE, así como con otros COV, han indicado un mayor riesgo de varios tipos de defectos de nacimiento. Algunos estudios en Arizona y Nueva Jersey indicaron una asociación entre la contaminación con TCE en los pozos públicos de agua potable y los defectos cardíacos, y el estudio de Nueva Jersey también halló un mayor riesgo de hendiduras orofaciales y defectos del tubo neural [Bove et al., 1995, Goldberg et al., 1990]. Estudios de mujeres expuestas a agua potable contaminada con TCE han mostrado indicios de mayores riesgos 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]. En enero del 2013, la ATSDR adoptó la RfD de 0.0005 mg/kg/día de la EPA como su nivel mínimo de riesgo crónico oral [ATSDR 2013].

Hubo datos disponibles del TCE en las aguas subterráneas de Dorado de ocho pozos del 2002 al 2015. 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 0.5 µg/L. Solo tres muestras de los pozos III y VI de Maguayo tienen niveles por encima del MCL de 5.0 µg/L de la EPA. La concentración más alta de 6.4 µg/L se registró en febrero del 2006 del pozo III de Maguayo.

El uso de la concentración más alta de TCE medida (6.4 µg/L) da como resultado dosis totales estimadas que oscilan entre 0.0007 y 0.003 mg/kg/día (Tabla 3). Este es el supuesto del “peor de los casos”, que daría como resultado la dosis más alta esperada. Además de usar la concentración máxima de TCE, usamos la exposición máxima razonable (RME, por sus siglas en inglés), que es la exposición máxima razonablemente esperada para una población. Por ejemplo, usamos a la persona más expuesta en el escenario del modelo SHOWER; es decir, supusimos que la persona vive en un hogar de 4 personas y se ducha después de que las otras personas toman duchas matutinas consecutivas sin ventilador, y se queda 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 tanto, la ATSDR comparó las dosis de exposición estimadas con los niveles que causan efectos según 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 cocríticos de malformaciones cardiacas (ratas), efectos en el sistema inmunitario 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. Niveles de bajos a muy bajos de evidencia indican la posibilidad de cardiotoxicidad del desarrollo en niños de madres expuestas durante el embarazo, pero los estudios disponibles no tienen suficiente calidad para proporcionar una dosis de exposición o concentración del aire en la que podría ocurrir una cardiotoxicidad del desarrollo, si la hubiese [ATSDR 2025]. La EPA seleccionó la dosis de referencia crónica de 0.0005 mg/kg/día porque era el punto medio de las posibles RfD luego de redondear a una cifra significativa. La ATSDR usó la misma metodología al determinar el MRL crónico oral del TCE. Respecto al peso de la evidencia, y la pertinencia para el ser humano, de las malformaciones cardiacas fetales observadas en ratas, se remite al lector a las conclusiones actualizadas reportadas en el informe Targeted Systematic Evidence Map (SEM) and Rapid Systematic Review for Trichloroethylene and Developmental Cardiotoxicity (Mapa de evidencia sistemático [SEM] dirigido y revisión sistemática rápida del tricloroetileno y la cardiotoxicidad del desarrollo). (ATSDR 2025). Todas las dosis estimadas para los residentes de Dorado son mucho más bajas que las dosis más bajas con efectos adversos observados.

**Tabla 3. Dosis totales estimadas de exposición al TCE por la exposición al suministro público de agua potable en el área 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 crónico oral de la ATSDR de 0.0005 mg/kg/día (Sí/No)
0 - <1	0.0009	0.00098	0.000036	0.0010	Sí
1 - <2	0.0005	0.0025	0.000024	0.0030	Sí
2 - <6	0.0004	0.0017	0.000021	0.0021	Sí
6 - <11	0.0003	0.00096	0.000017	0.0013	Sí

11 - <16	0.0002	0.00065	0.000014	0.0009	Sí
16 - <21	0.0002	0.00051	0.000013	0.0007	Sí
> 21	0.0002	0.00045	0.000012	0.0007	Sí
Mujeres embarazadas (16-45)	0.0002	0.0006	0.000013	0.0008	Sí

MRL: nivel de riesgo mínimo

### Posibles efectos carcinógenos en 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 hodgkiniano [ATSDR 2014]. La evidencia adicional de los estudios ocupacionales apunta a posibles relaciones entre la exposición al TCE y a un mayor riesgo de linfoma 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 disolventes presentes en el lugar de trabajo.

El Programa Nacional de Toxicología (NTP, por sus siglas en inglés) del Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS, por sus siglas en inglés) clasifica al TCE como un carcinógeno razonablemente previsible para los seres humanos en función de evidencia limitada de carcinogenicidad de estudios en seres humanos, evidencia suficiente de carcinogenicidad de estudios en animales de laboratorio 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 hodgkiniano, 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, por sus siglas en inglés) ha determinado que el TCE es un carcinógeno reconocido para los seres humanos. La evidencia de cáncer se basa en el cáncer de riñón, datos limitados de linfoma no hodgkiniano 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 hodgkiniano y el cáncer de hígado. La EPA publicó un factor de pendiente de cáncer oral para el TCE de 0.046 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día y un riesgo

unitario por inhalación de 0.0000041 por microgramo por metro cúbico de aire que refleja la incidencia total de cáncer de riñón, linfoma no hodgkiniano y cáncer de hígado [USEPA 2011b]. La EPA usó una extrapolación de vía a vía basada en el modelado farmacocinético de base fisiológica (PBPK, por sus siglas en inglés) de la estimación del riesgo unitario por inhalación para el cáncer de riñón, con un factor de 5 aplicado para incluir los riesgos de linfoma no hodgkiniano y cáncer de hígado, para obtener un factor de pendiente oral para el riesgo de cáncer combinado de 0.046 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día. 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 0.00933 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día; para el linfoma no hodgkiniano, el factor de pendiente de cáncer oral es de 0.0216 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día; y para el cáncer de hígado, el factor de pendiente de cáncer oral es de 0.0155 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día.

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 (ADAF, por sus siglas en inglés) 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 riesgo mayor 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 adecuado. Los valores de la EPA se pueden encontrar en <http://www.epa.gov/iris>, los factores de ajuste dependientes de la edad (ADAF) adecuados, y considerando la fracción de una vida de 78 años. Usando los factores anteriores, la ATSDR calculó el riesgo excedente de cáncer a lo largo de la vida por la exposición a las concentraciones máximas de TCE en el agua de pozo. El riesgo excedente de cáncer es la cantidad de casos de cáncer en una población a lo largo de la vida por encima de la cantidad de referencia, que puede ser el resultado de la exposición a un contaminante en particular bajo las condiciones de exposición supuestas. Por ejemplo, un riesgo estimado de cáncer de uno en un millón (0.000001) representa un posible caso excedente de cáncer en una población de un millón de personas. 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 riesgo excedente de cáncer para las personas expuestas a 6.4 µg/L de TCE en el agua usando las dosis totales de exposición en 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 estimado de cáncer a 6.4 µg/L
Niños: desde el nacimiento hasta <21 años (21 años de exposición)	6 casos adicionales por cada 100,000 personas expuestas
Adultos: +21 años (33 años de exposición)	1 caso adicional por cada 100,000 personas expuestas

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 leve aumento del riesgo de efectos carcinógenos en la salud. Dicho de otra manera, la exposición a 6.4 µg/L de TCE en el agua potable daría como resultado 1 y 6 casos adicionales de cáncer por cada 100,000 adultos y niños expuestos, respectivamente. El cáncer es una enfermedad común, y el riesgo a lo largo de la vida de recibir un diagnóstico de cualquier tipo de cáncer es aproximadamente 38.5 % (alrededor de 38,500 de cada 100,000 personas) [Howlander et. al 2017]. Esto se considera un leve 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 medidas de salud pública para proteger la salud; no es una estimación real de casos de cáncer en una comunidad.

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

El PCE también se conoce como percloroetileno. Es un disolvente industrial ampliamente usado para el desengrasado, la limpieza en seco y otros usos similares [ATSDR 2019]. Las personas que están expuestas durante largos periodos 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 al PCE han mostrado efectos en el hígado y los riñones, y cambios en la química del cerebro.

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

De febrero del 2002 a mayo del 2015, se recolectaron más de 200 muestras de agua subterránea de los pozos y se analizaron en busca de PCE. En el 2019, la EPA tomó muestras de 19 pozos de agua subterránea de los sistemas de agua potable de Dorado que contribuyen al suministro público de agua potable durante abril-mayo (Ronda 1) y agosto del 2019 (Ronda 2), como parte de la investigación correctiva/estudio de viabilidad (RI/FS) y la Evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA). Las concentraciones de PCE oscilaron de no detectado a 15 µg/L. La concentración más alta (15 µg/L) se registró en el 2019 en el pozo IV de Maguayo [USEPA 2020].

El MRL de la ATSDR para la exposición crónica oral al 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 de la pérdida de la 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 al 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, usamos la concentración máxima de PCE de 15 µg/L y los supuestos de exposición usados también para el TCE. La Tabla 6 muestra las dosis de exposición estimadas. Las dosis totales de PCE para todos los grupos de edad son más bajas que la RfD oral de la EPA y el MRL crónico oral de la ATSDR. La ATSDR concluye que no se prevén efectos no carcinógenos para esta exposición al PCE por lo siguiente: (1) se usaron supuestos de exposición conservadores (supuestos de exposición en el “peor de los casos”) para la estimación de las dosis; y (2) las dosis totales estimadas de exposición para todos los grupos de edad estuvieron por debajo de la RfD y el MRL.

**Tabla 5. Dosis totales estimadas de exposición al PCE por la exposición al suministro público de agua potable en el área 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 crónico oral de la ATSDR de 0.0008 mg/kg/día (Sí/No)
0 - <1	0.0021	0.0039	0.0003	0.0064	No
1 - <2	0.0012	0.0049	0.0002	0.0062	No
2 - <6	0.0009	0.0031	0.0002	0.0042	No
6 - <11	0.0006	0.0017	0.0002	0.0025	No
11 - <16	0.0005	0.0012	0.0001	0.0018	No
16 - <21	0.0005	0.0009	0.0001	0.0015	No
> 21	0.0005	0.0008	0.0001	0.0015	No
Mujeres embarazadas (16-45)	0.0006	0.0011	0.0001	0.0018	No

MRL: nivel de riesgo mínimo

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

En cuanto a los efectos carcinógenos, hay estudios en seres humanos que indican que la exposición al PCE podría producir un riesgo mayor de presentar cáncer de vejiga, mieloma múltiple o linfoma no hodgkiniano. En animales, se ha observado que el PCE causa cáncer de hígado, de riñón y del sistema sanguíneo. El NTP del DHHS clasifica al PCE como un carcinógeno razonablemente previsible para los seres humanos y la IARC ha determinado que el PCE es un carcinógeno probable para los seres humanos. Estas determinaciones se basan en estudios epidemiológicos limitados en seres humanos que indican riesgos elevados de cáncer de esófago, linfoma no hodgkiniano, cáncer de cuello uterino, y suficientes estudios en animales que muestran leucemia causada por PCE en ratas y cáncer de hígado en ratones [NTP 2011, IARC 1995]. La EPA considera que el PCE es posiblemente un carcinógeno para los seres humanos en función de la evidencia epidemiológica que muestra asociaciones entre el PCE y el

cáncer de vejiga, el linfoma no hodgkiniano 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 disolventes presentes en el lugar de trabajo.

El factor de pendiente de cáncer oral de la EPA es de 0.0021 por miligramo por kilogramo de peso corporal por día [USEPA 2012b]. Usando este valor, y suponiendo que los niños y los adultos bebieran agua con un contenido de 15 µg/L de PCE todos los días hasta por 21 años y 33 años, respectivamente, calculamos un riesgo estimado de cáncer para las personas que usan el suministro público de agua potable contaminado en el sitio.

El Apéndice A brinda detalles sobre el cálculo de riesgo de cáncer.

**Tabla 6. Aumento estimado del riesgo de cáncer por la exposición a PCE en el suministro público de agua potable proveniente de los sistemas de agua potable de Dorado**

Grupo de edad	Riesgo estimado de cáncer a 15 µg/L
Niños: desde el nacimiento hasta <21 años (21 años de exposición)	Menos de 2 casos adicionales por cada 100,000 personas expuestas
Adultos: +21 años (33 años de exposición)	1 caso adicional por cada 1,000,000 personas expuestas

Según el riesgo de cáncer de la exposición a largo plazo, los niños y adultos expuestos a los niveles máximos (15 µg/L) de PCE en el agua potable no tienen mayor riesgo de presentar efectos carcinógenos en la salud. El cáncer es una enfermedad común, y el riesgo a lo largo de la vida de recibir un diagnóstico de cualquier tipo de cáncer es aproximadamente 38.5 % (alrededor de 38 500 de cada 100,000 personas) [Howlander et. al 2017]. La exposición a 15 µg/L de PCE en el agua potable daría como resultado menos de dos casos adicionales de cáncer por cada 100,000 adultos y niños expuestos. Esto se considera un aumento muy leve 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 medidas 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, por sus siglas en inglés)**

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

## Desinfectantes

La dicloramina y la monocloramina son cloraminas que se forman durante una reacción entre el cloro y el amoníaco. Las cloraminas (también denominadas desinfección secundaria) son desinfectantes usados para tratar el agua potable. Cuando las cloraminas se usan 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 usan 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 empresas de servicio público de agua en los Estados Unidos han usado cloraminas desde la década de 1930 [USEPA 2017].

Posibles efectos no carcinógenos en la salud de la exposición a monocloramina y dicloramina en el agua potable

La EPA estableció una RfD oral de 0.1 mg/kg/día para la monocloramina 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 neoplásicas después del tratamiento de 2 años. Se estableció una concentración sin efectos adversos observados (NOAEL, por sus siglas en inglés) de 200 miligramos por litro (mg/L) o 9.5 mg de cloramina/kg/día para los 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 una RMEG de 0.7 mg/L para la monocloramina y la dicloramina usando los supuestos de RfD y exposición predeterminada de la EPA.

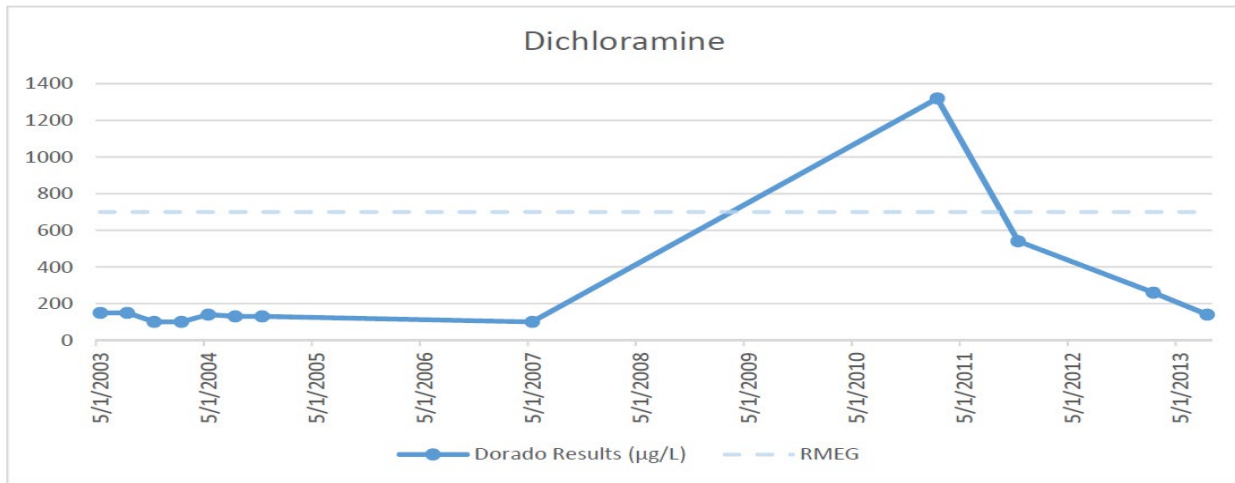
Para los sistemas públicos de agua potable, el nivel máximo objetivo de desinfectante residual (MRDLG) de la EPA para la cloramina es 4 mg/L [lo cual es 4,000 µg/L o 4 partes por millón]. Las concentraciones por debajo de este nivel se consideran seguras y no es probable que ocurran efectos perjudiciales 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 ha sido vinculada a 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 microorganismos preocupantes para la salud que son transmitidos por el agua.

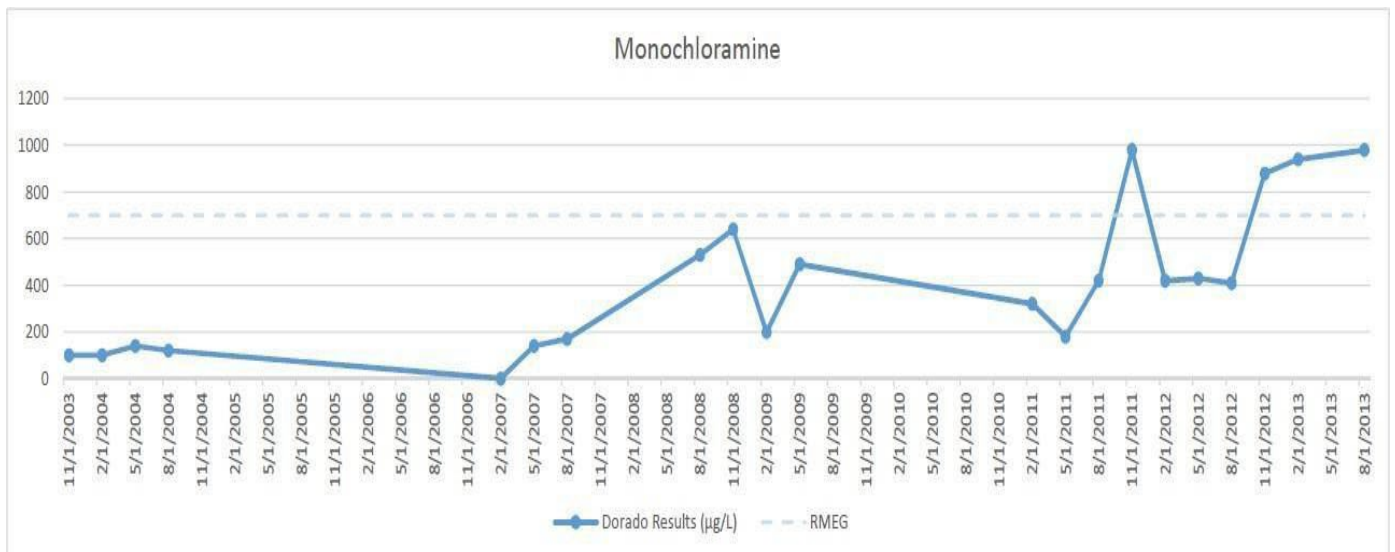
Según los estudios, beber agua con niveles de cloramina menores de 50 mg/L (50,000 µg/L) no produce efectos observables en la salud. Los niveles normales que se encuentran en la desinfección pueden variar de 1 a 4 mg/L [CDC 2018].

En el sitio de Dorado, la mayoría de los niveles detectados de monocloramina y dicloramina estaban por debajo de la RMEG (Figura 2 y Figura 3). Aunque los niveles máximos de

monocloramina y dicloramina que se detectaron estaban por encima de la RMEG, estuvieron muy por debajo del MRDLG de 4 mg/L, el nivel de notificación de los CDC de 50 mg/L y la NOAEL de 200 mg/L. Por lo tanto, en función de los supuestos de exposición del “peor de los casos”, no se esperan efectos no carcinógenos en la salud por esta exposición a la monocloramina y la dicloramina.



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



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

**Potenciales efectos carcinógenos en la salud de la exposición a monoclорamina y dicloramina en el agua potable**

La EPA considera que la monoclорamina no es clasificable como un carcinógeno para los seres humanos en función de datos insuficientes 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*, no arrojaron evidencia de genotoxicidad. No hay estudios epidemiológicos de la monocloramina sola. Se ha estudiado principalmente junto con otros DBP o la calidad del agua. La EPA no ha establecido un factor de pendiente de cáncer (CSF, por sus siglas en inglés) oral para las cloraminas [USEPA 2005].

Debe tenerse en cuenta que los estudios en animales usaron concentraciones muy altas de cloraminas para inducir actividad de cáncer, y la evidencia de carcinogenicidad de los estudios en animales no es uniforme.

Sin un CSF para calcular el riesgo de cáncer, más las limitaciones de datos como se describe en la sección “Evaluación de datos ambientales”, la ATSDR no puede concluir si las exposiciones a los niveles de monocloramina y dicloramina en el suministro público de agua potable en el sitio de Dorado podrían ocasionar un incremento del riesgo de cáncer.

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

Cuando el cloro se usa 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 y forma subproductos de cloración llamados trihalometanos (THM). Los THM incluyen cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo.

Cuando se usa 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 (bromodiclorometano, dibromoclorometano, DCA y TCA) a niveles por encima de sus respectivos VC y se investigaron más a fondo (Tabla 2).

### **Posibles efectos no carcinógenos 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 podrían presentar lesión hepática y renal en un periodo 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 indican que las exposiciones típicas al bromoformo o dibromoclorometano no representan un alto riesgo de afectar la posibilidad de quedar embarazada o de causar daño a un bebé en gestación. Hasta donde se sabe, el bromodiclorometano no 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 irritación 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 no carcinógenos en la salud. 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 carcinógenos por la exposición a DBP.

### **Posibles efectos carcinógenos en la salud de la exposición al DBP en el agua potable**

Aunque las concentraciones de DBP en el suministro público de agua potable son bajas, las personas están expuestas a ellas diariamente y durante periodos 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 como carcinógeno para los seres humanos [IARC 1991]. La EPA clasificó el dibromoclorometano y el bromodichlorometano como posibles carcinógenos para los seres humanos en función de estudios de cáncer de hígado, riñón e intestino en animales. 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 en la categoría de probable carcinógeno para los seres humanos. Sin embargo, esta clasificación se basa en estudios realizados en animales y los datos que respaldan su carcinogenicidad en seres humanos son escasos. Los experimentos en ratones expuestos a niveles variables (hasta 5 g/L) de ácido tricloroacético en el 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 público de agua potable) de las actividades para esta evaluación. Además, la falta de datos del punto de exposición (agua de la llave) aumenta la incertidumbre de evaluar con precisión el efecto 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 aumento del riesgo de cáncer. Los beneficios de usar sustancias químicas desinfectantes para matar los microbios que podrían causar una enfermedad repentina grave potencialmente mortal, como el cólera, la fiebre tifoidea y la disentería, superan con creces el potencial aumento leve del riesgo de cáncer.

## 10. Preocupaciones de salud de la comunidad

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 sus empleados. 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 la 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 devastación e inundaciones generalizadas. La infraestructura de agua potable del sitio estuvo no operativa y mayormente fuera de servicio debido a la falta de energía eléctrica y a daños importantes en la infraestructura. El 14 de octubre del 2017, se informó en las noticias de la CNN que las personas en Puerto Rico estaban bebiendo agua de un sitio de desechos peligrosos ubicado en Dorado [Sutter, 2017]. El Departamento de Salud de Puerto Rico y la PRASA clasifican algunos de estos pozos como aptos para el consumo (p. ej., los pozos Santa Rosa y Nevarez). Estos pozos se usaban para suministrar agua potable a los camiones cisterna para su distribución. Los otros pozos a los que el público tuvo acceso, Maguayo II y VI, no tenían niveles de TCE/PCE por encima de los MCL. Las personas también estaban llenando cisternas en Maguayo IV. 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 del muestreo se explicaron en un comunicado de prensa de la EPA que indicaba que los resultados de las muestras de agua de la EPA no excedían 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.

## 11. Incertidumbres y limitaciones de los datos

El propósito de nuestra evaluación es estudiar el posible impacto que la contaminación ambiental podría tener en la salud de la comunidad, pero existen limitaciones en los datos ambientales disponibles. En particular, la ATSDR no pudo obtener datos ambientales cruciales sobre el sitio. 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 cronograma 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 de un año (2015).
- Los documentos históricos indicaron que se han detectado COV en los sistemas de agua desde 1984 [USGS 1986]. No hubo datos históricos de 1984-2001 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, se encontraron DBP en el sistema del Superacueducto y no se encontraron en los datos disponibles de los pozos. Consulte la Tabla 15 del Apéndice C para ver la información sobre los datos faltantes.

- Falta de datos sobre el agua de la llave: La mayoría de las muestras se recolectaron de pozos de agua subterránea y del Superacueducto antes de que el agua se mezclara y llegara a la llave de las residencias particulares. Por lo tanto, los niveles de contaminantes probablemente fueron mucho más bajos en el punto de exposición (agua de la llave).
- Debido a que no existen factores de pendiente del cáncer para algunos de los desinfectantes y DBP detectados, además de las limitaciones de los datos mencionadas anteriormente, la ATSDR no puede concluir si la exposición a los niveles de desinfectantes y DBP en el suministro público de agua potable podría ocasionar un aumento del riesgo de cáncer. Debido a la detección relativamente baja de estos compuestos, la ATSDR considera que los beneficios de usar sustancias químicas desinfectantes para matar los microbios que podrían causar una enfermedad repentina grave potencialmente mortal superan con creces el potencial aumento leve 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.

## 12. Conclusiones y recomendaciones

La ATSDR llegó a las siguientes conclusiones en esta Evaluación de Salud Pública:

### Conclusión 1

No es probable que las personas que han usado el suministro público de agua potable para beber, cocinar y bañarse en el área de Dorado desde 1984 (cuando se descubrió la contaminación inicialmente) hasta la actualidad presenten efectos perjudiciales en la salud debidos a los bajos niveles de sustancias químicas en el agua.

### Fundamentos de la conclusión

La ATSDR encontró algunas sustancias químicas en el suministro público de agua potable relacionadas con la contaminación de aguas subterráneas (relacionadas con el sitio) y otras sustancias químicas relacionadas con la adición de desinfectantes para matar microbios en el agua (no relacionadas con el sitio).

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

### Tricloroetileno (TCE)

- **Pocas muestras tenían niveles de 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 III de Maguayo, el cual se sacó de servicio en el 2011 [PRASA 2017].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que los niveles que mostraban problemas para la salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando la concentración máxima de TCE de 6.4 ppb, lo que tuvo como resultado dosis totales estimadas de exposición a TCE que oscilaron entre 0.0005 y 0.0022 miligramos por kilogramo por día (mg/kg/día) para diferentes grupos de edad. 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. Por lo tanto, no es probable que los niveles de TCE en el suministro público de agua potable perjudiquen 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 de las 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, respectivamente, se consideran bajos.

### PCE

- **Pocas muestras tenían niveles de PCE por encima de los estándares del agua potable.** Los niveles de PCE variaron de indetectables a 15 ppb. Del 2008 al 2015, alrededor del 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 IV de Maguayo [USEPA 2020].
- **Las dosis estimadas fueron más bajas que los niveles que mostraban problemas para la salud.** La ATSDR estimó las dosis de exposición usando la concentración máxima de PCE de 15 ppb, lo que tuvo como resultado dosis estimadas que oscilaron entre 0.0015 y 0.0064 mg/kg/día según el grupo de edad. Este rango de dosis estimado es más bajo que los valores de las pautas basadas en la salud de la EPA y la ATSDR (pautas de salud) de 0.006 mg/kg/día y 0.008 mg/kg/día para los efectos no carcinógenos, respectivamente y, por lo tanto, no es probable que sea perjudicial para 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 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)

- **Las sustancias químicas relacionadas con la desinfección no excedieron los estándares del agua potable.** Ninguna de las concentraciones máximas de sustancias químicas relacionadas con la desinfección excedió los estándares del agua potable segura de la EPA y los valores de comparación no carcinógenos de la ATSDR. Por lo tanto, probablemente no se asociarían con efectos no carcinógenos 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 suministro público de agua potable sean inferiores al valor máximo, ya que el agua se mezcla antes de llegar a las llaves 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 desinfección (DBP) en el suministro público de 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 los microbios que podrían causar una enfermedad repentina grave potencialmente mortal superan con creces el potencial aumento leve 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

Todavía se desconoce la fuente de la contaminación del agua subterránea. Las áreas donde se encuentra la fuente podrían tener niveles más altos de contaminación. La ATSDR no puede saber si alguna persona entra en contacto con el suelo o el aire dentro de las edificaciones que podrían estar contaminadas en las áreas donde se encuentra la fuente. Los niveles de contaminantes en o cerca de la fuente o las fuentes de la contaminación podrían ser muy diferentes a los de las ubicaciones muestreadas. No tenemos suficiente información para concluir si las sustancias químicas en el suelo o el aire dentro de las edificaciones podrían perjudicar la salud de las personas. Estamos trabajando con el estado y la EPA para recopilar esta información e identificar la fuente de la contaminación.

- **La EPA no ha encontrado la fuente de la 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, por sus siglas en inglés) de la EPA y todas estuvieron por debajo de los niveles de detección usados para las edificaciones residenciales. Pueden encontrarse más detalles en la Evaluación de riesgos para la salud humana (HHRA, por sus siglas en inglés) de la EPA.

### **Próximos pasos**

#### **La EPA y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA):**

- 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):**

- Continuará realizando el monitoreo de rutina del agua, como lo exige la Ley de Agua Potable Segura, con la ayuda de la EPA.

#### **La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR):**

- Evaluará los datos adicionales recopilados por la EPA y el Departamento de Salud de Puerto Rico y actualizará los hallazgos de este informe, si se solicita.

### **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.

## **13. Autores**

Jane Zhu, DMD, MPH (retirada)

Científica de salud ambiental

Sección Este

Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud de la Comunidad (OCHHA)

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

Luis O. Rivera-González, PhD, MS

Toxicólogo

Región 2, Sección Este

Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud de la Comunidad (OCHHA)

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

## 14. Referencias

- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2005a. Public health assessment guidance manual (update). Atlanta: US Department of Health and Human Services; Jan. Available at URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/pha-guidance>
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2005b. Public Health Statement for Bromoform and Dibromochloromethane. Atlanta: US Department of Health and Human Services; Available at URL: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/PHS/PHS.aspx?phsid=711&toxid=128>
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2019. Toxicological Profile for Trichloroethylene. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, June 2019.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016a. Exposure Dose Guidance for Water Ingestion. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, October 2016.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016b. Exposure Dose Guidance for Soil and Sediment Ingestion. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, October 2016.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016c. Exposure Dose Guidance for Body Weight. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. October 2016.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016d. 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. October 2016.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2019. Toxicological Profile for Tetrachloroethylene. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, June 2019.
- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2025. Targeted systematic evidence map (SEM) and rapid systematic review for trichloroethylene and developmental cardiotoxicity. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services; Available at URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/SEM-for-Trichloroethylene-508.pdf>.
- Bove FJ, Fulcomer MC, Klotz JB, et al., 1995. Public Drinking Water and Birth Outcomes. American Journal of Epidemiology 1995;41(9):850–86.
- Centers for Disease Control and Prevention. About Water Disinfection with Chlorine and Chloramine. Available at URL: <https://www.cdc.gov/drinking-water/about/about-water-disinfection-with-chlorine-and-chloramine.html> Webpage accessed February 2, 2018.

- Sutter, 2017 Desperate Puerto Ricans are drinking water from a hazardous-waste site. CNN News. Available at URL: <https://www.cnn.com/2017/10/13/us/puerto-rico-superfund-water/index.html>
- Giardino N.J. and 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 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.
- Howlander 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): April 2017. Available at: [https://seer.cancer.gov/csr/1975\\_2014/](https://seer.cancer.gov/csr/1975_2014/). Accessed on October 10, 2017.
- [IARC] 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] 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] 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. 2014.
- 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 J, Howard-Reed C, and Corsi RL, 1999. Volatilization of chemicals from tap water to indoor air from contaminated water used for showering. *Environm Sci Technol* 33:2321-2327.
- [NTP] National Toxicology Program. 1992. 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] National Toxicology Program. 15th report on carcinogens. Research Triangle Park: National Toxicology Program, US Department of Health and Human Services. June 2016. Available at URL: <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc>.
- [PRASA] North Coast Super Aqueduct System data. 2017. Quarterly test results from 2001 to 2016. Email from Emma Blanco Rivera to Luis Rivera González dated January 20, 2017.
- Siegel Scott C and Chiu W. 2006. Trichloroethylene cancer epidemiology: a consideration of select issues. *Environ Health Perspect*. Sept; 114(9): 1471-8.

- 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. June 8(7): 102.
- Wartenberg D, Reyner D, Scott CS. 2000. Trichloroethylene and cancer: epidemiologic evidence. Environ Health Perspect. May; 108 Suppl 2:161-76.
- 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] American Fact Finder. 2010. Dataset from 2010 summary file 1. Washington, DC: US Department of Commerce. Available at URL: <https://censo.estadisticas.pr/censo-decenal>
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 1998. National primary drinking water regulations; disinfection; disinfectants and disinfection by-products; Final rule. Federal Registry. 1998:69390-69476 [USEPA] US Environmental Protection Agency.
- [USEPA]. United States Environmental Protection Agency. 2003. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Dichloroacetic Acid; CASRN 79-43-6. Available at URL: [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] United States Environmental Protection Agency. 2005. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Monochloramine; CASRN 10599-90-3. Available at 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); Webpage accessed February 2, 2018.
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2008. Child-Specific Exposure Factors Handbook (Final Report). Washington, DC, EPA/600/R-06/096F, 2008. Available at URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=199243>
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2011a. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition (Final). Oct. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. USEPA/600/R-09/052A. Available at URL: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
- [USEPA]. United States Environmental Protection Agency. 2011b. Integrated Risk Information System. Trichloroethylene (CASRN 79-01-6), including the Toxicological Review for Trichloroethylene (TCE) and its appendices. Available at URL: [https://iris.epa.gov/static/pdfs/0199\\_summary.pdf](https://iris.epa.gov/static/pdfs/0199_summary.pdf)
- [USEPA]. United States Environmental Protection Agency. 2011c. Integrated Risk Information System. Chemical Assessment Summary Trichloroacetic acid; CASRN 76-03-9 Available at 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] US Environmental Protection Agency. 2012. Integrated Risk Information System. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Available at URL: <http://www.USEPA.gov/iris>.

- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2015. EPA Region 2 Hazardous Waste Support Branch (HWSB). Dorado GW Contamination; Case 45651; SDG BCJQ1 [and BCJR4] -- Regionally Assessed Data. November 13, 2015.
- [USEPA ] US Environmental Protection Agency. 2016. Hazard ranking system documentation package, Dorado Groundwater Contamination, Dorado, Puerto Rico. New York, NY: US Environmental Protection Agency, Region 2. Jun 2 2016.
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2017a. Chloramines in Drinking Water. Webpage accessed February 2, 2018. Available at URL: <https://www.epa.gov/dwreginfo/chloramines-drinking-water>
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2017b. News Release: EPA Hurricane Maria Update for Sunday, October 15, 2017. Available at URL: <https://www.epa.gov/newsroom>
- [USEPA] US Environmental Protection Agency. 2020. Dorado Groundwater Contamination Site Final Human Health Risk Assessment. August 13, 2020
- 
- [USGS] Guzmán-Ríos, Senén, René García, and Ada Avilés, USGS. 1986. Reconnaissance of Volatile Synthetic Organic Chemicals at Public Supply Wells Throughout Puerto Rico, November 1984 – May 1985. Open-File Data Report 86-63.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2008. Summary Letter Report, Maguayo Site Discovery, Maguayo Ward, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 478-2A-ACVO. Prepared for EPA. October 2008.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2010. Pre-CERCLIS Screening Report, Maguayo Site Discovery, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 478-2A-AFOE. Prepared for EPA. January 2010.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011a. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: T-0320-0-56, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1220- 2A-ANPL. Prepared for EPA. June 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011b. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: S-0050-0-51, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1221- 2A-ANOX. Prepared for EPA. June 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011c. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Lot Nos: L-107-2-64-16/18/19, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1227- 2A-ANRG. Prepared for EPA. June 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011d. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No: S-0745-0-66, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1219- 2A-AOKN. Prepared for EPA. July 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011e. 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. Prepared for EPA. August 2011.

- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011f. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, PRIDCO Building No. T-1322-0-88, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1218- 2A-AOKG. Prepared for EPA. July 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011 g. 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. Prepared for EPA. June 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011h. 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. Prepared for EPA. August 2011.
- [WESTON] Chavan, Dipanjali, WESTON. 2011i. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Former Edward's Dry Cleaners Facility Dorado, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 1309-2A-AOZV. Prepared for EPA. September 2011.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2011j. 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.
- [WESTON] Snyder, Scott, WESTON. 2012. 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. Prepared for EPA. February 2012. Prepared for EPA. August 2011.
- [WESTON] Carlson, Daniel, WESTON. 2014a. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Green Point Sign & Screen Printing, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2022- 2A-BDXQ. Prepared for EPA. April 2014.
- [WESTON] Gilliland, Gerald V., WESTON. 2014b. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Adriel Auto, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2026-2A-BDXU. Prepared for EPA. June 2014.
- [WESTON] Carlson, Daniel, WESTON. 2014c. P Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Metal Machining Co. Inc, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2025-2A- BDXT. Prepared for EPA. January 2014.
- [WESTON] Gilliland, Gerald V., WESTON. 2014d. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Narvaez Cleaners and Tailoring, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2024-2A-BDXS. Prepared for EPA. March 2014.
- [WESTON] Capriglione, Michele, WESTON. 2014e. Preliminary Assessment/Site Inspection Report, Former Narvaez Cleaners and Tailoring Facility, Dorado, Puerto Rico, Document Control No. 2023-2A-BDXR. Prepared for EPA. February 2014.
- [WESTON] Gilliland, Gerry, WESTON. 2015a. Project Note to Dorado Ground Water Contamination site file, Subject: Well Information and Ground Water Population Apportionment. November 13, 2015.

[WESTON] Gilliland, Gerry, WESTON. 2015b. Project Note to Dorado Ground Water Contamination site file, Subject: PRASA Analytical Results, Dorado Area Wells, 2002–2015. November 13, 2015.

## 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 usó 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 los supuestos de exposición y el cálculo de las dosis de exposición al agua por las vías de ingestión, 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 usó la ecuación y los supuestos siguientes para estimar la exposición a TCE y PCE a través de la ingestión de agua de pozo contaminada:

$$\text{Exposure dose} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \text{chemical concentration} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{ingestion rate} \left( \frac{\text{L}}{\text{day}} \right) \div \text{bodyweight} (\text{kg}) \quad \text{Ecuación 1}$$

**Tabla 7. Supuestos de ingestión de agua contaminada**

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	3.100
Mujeres embarazadas (16 a 45)	73	2.589

[ATSDR 2014b]. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2014. Guía de dosis de exposición por ingestión de agua. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU., Servicio de Salud Pública. Noviembre de 2014.

RME = exposición máxima razonable que se espera para una población

## EJEMPLO DE CÁLCULO DE INGESTIÓN

Usando la ecuación anterior y los valores en la Tabla 7 para calcular la cantidad de TCE ingerida al beber agua potable que contenga la concentración máxima de TCE (6.4 µg/L) para un adulto (21 años o más):

### Dosis de exposición por ingestión

$$\frac{0.0064 \frac{mg}{L} \times 3.1 \frac{L}{day}}{80kg} = \frac{0.00025 \frac{mg}{kg}}{d} \quad \text{Ecuación 2}$$

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

El modelo SHOWER produce dosis dérmicas y por inhalación para cada grupo de exposición en función de la concentración máxima en el agua de TCE y PCE de 6.4 µg/L y 15 µg/L, respectivamente. Los modelos de dosis se basan en muchos supuestos del modelo SHOWER. Consulte la Tabla 8 para ver algunos de los supuestos usados para calcular las dosis de exposición dérmica, por ingestión o inhalación a TCE y PCE a través del uso del agua para beber, ducharse, lavarse las manos y otros usos en electrodomésticos en espacios interiores.

**Tabla 8. Supuestos sobre inhalación y contacto dérmico de agua contaminada**

<b>Grupo de exposición (años)</b>	<b>Peso corporal (kg)</b>	<b>Frecuencia respiratoria diaria (L/min)</b>	<b>Tasa respiratoria en la ducha y el baño (L/min)</b>	<b>Área total de superficie de la piel (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área de superficie de la mano (cm<sup>2</sup>)</b>
<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>Adultos</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 usó 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 ventilador, 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.

#### Ingesta total de TCE/PCE a través del agua potable

La ATSDR combinó las exposiciones dérmicas, de inhalación y de ingestión (oral) para derivar una dosis de exposición total porque el TCE y el PCE tienen los mismos criterios de valoración tóxicos a través de la ruta oral y la ruta de inhalación. Niveles de bajos a muy bajos de evidencia indican la posibilidad de cardiotoxicidad del desarrollo en niños de madres expuestas durante el embarazo, pero los estudios disponibles no tienen suficiente calidad para proporcionar una dosis de exposición o concentración del aire en la que podría ocurrir una cardiotoxicidad del desarrollo, si la hubiese [ATSDR 2025].

Para estimar la ingesta total de TCE, la ATSDR sumó la exposición dérmica, por ingestión e inhalación: Dosis de exposición total = dosis de ingestión + dosis de inhalación + dosis dérmica

Las Tablas 9 y 10 a continuación son el resultado de ese cálculo de la dosis.

**Tabla 9. Dosis totales estimadas de exposición a TCE del sitio de contaminación de aguas subterráneas 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 10. Dosis totales estimadas de exposición a PCE del sitio de contaminación de aguas subterráneas 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 estimados de cáncer

El riesgo estimado de presentar cáncer como resultado de la exposición a los contaminantes del agua subterránea se calculó multiplicando la dosis de exposición estimada específica del sitio por un factor de pendiente de cáncer (CSF) adecuado de la EPA. El riesgo excedente de cáncer a lo largo de la vida indica el potencial carcinogénico de los contaminantes. Las estimaciones de cáncer generalmente se expresan en términos de exceso de casos de cáncer en una población expuesta, además de la incidencia de fondo de cáncer.

Para calcular el riesgo excedente de cáncer a lo largo de la 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 considerando la fracción correspondiente a la fracción de una vida de 78 años.

### CÁLCULOS DE RIESGO DE CÁNCER:

**Tabla 11. Cálculo del riesgo excedente de cáncer para los residentes expuestos a TCE en el agua de pozo por ingestión, inhalación y contacto dérmico, a 6.4 µg/L; sistemas de agua potable de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis total estimada de exposición (mg/kg/día)	Duración (años)	Fracción de la vida	ADAF	Riesgo total de cáncer: (ajustado para riñón y no ajustado para hígado y NHL)
0 a <1	0.0010	1	1/78	10	0.0000059
1 a <2	0.0030	1	1/78	10	0.000018
2 a <6	0.0021	4	4/78	3	0.000015
6 a <11	0.0001	5	5/78	3	0.000012
11 a <16	0.0009	5	5/78	3	0.000008
16 a <21	0.0009	5	5/78	1	0.0000021
Total de años - niños		21	21/78		0.000006

Grupo de edad (años)	Dosis total estimada de exposición (mg/kg/día)	Duración (años)	Fracción de la vida	ADAF	Riesgo total de cáncer: (ajustado para riñón y no ajustado para hígado y NHL)
Adultos mayores de 21 años	0.0007	33	33/78		0.000014

NHL: linfoma no hodgkiniano

**Tabla 12. Cálculo del riesgo excedente de cáncer para los residentes expuestos a PCE en el agua de pozo por ingestión, inhalación y contacto dérmico, a 15 µg/L; sistemas de agua potable de Dorado**

Grupo de edad (años)	Dosis total estimada de exposición (mg/kg/día)	Duración (años)	Fracción de la vida	Factor de pendiente del cáncer de por vida (por mg/kg/día)	Riesgo de cáncer
0 a <1	0.0064	1	1/78	0.0021	0.00000017
1 a <2	0.0062	1	1/78	0.0021	0.00000017
2 a <6	0.0042	4	4/78	0.0021	0.00000045
6 a <11	0.0025	5	5/78	0.0021	0.00000034
11 a <16	0.0018	5	5/78	0.0021	0.00000024
16 a <21 años	0.0015	5	5/78	0.0021	0.00000024
Total de años - niños	-	21	-	-	0.00000016
Adultos mayores de 21 años	0.0015	33	33/78	0.0021	0.00000098

## 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), la cual se encarga de formular y hacer cumplir leyes para la protección del medioambiente y la salud de los seres humanos. Este glosario define las palabras usadas 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 periodo breve [comparar con crónico].

### **Exposición aguda**

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

### **Efecto adverso en la salud**

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

### **Cáncer**

Cualquier enfermedad, dentro de un grupo de enfermedades, que se produce cuando las células del cuerpo se vuelven anormales y crecen o se multiplican sin 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 está compuesta por 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 valor de comparación se usa como nivel de detección durante el proceso de evaluación de salud pública. Las sustancias encontradas en cantidades superiores a sus valores de comparación 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 (CERCLA) de 1980**

La ley CERCLA, también conocida como Superfondo, es la ley federal que se encarga de la eliminación o limpieza de sustancias peligrosas en el medioambiente y en sitios de desechos peligrosos. La ATSDR, que fue 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 y otras emisiones ambientales de sustancias peligrosas. La Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo (SARA, por sus siglas en inglés) posteriormente modificó esta ley.

**Concentración**

La cantidad de una sustancia que está presente en ciertas cantidades en el suelo, el agua, el aire, los alimentos, el cabello, la orina, el aire exhalado o en 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.

**Dérmica**

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 ruta 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 un tiempo determinado. Una 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 consumen o entran en contacto con agua, alimentos o suelo contaminados. En general, cuanto mayor sea la dosis, mayor será la probabilidad de que tenga 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 ingresa 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 las enfermedades mediante la comprobación 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 sigue una sustancia desde su fuente (donde comenzó) hasta su punto final (donde termina) y la manera en que 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 medio ambiental y un mecanismo de transporte (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 potencial 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 llevarse objetos a 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 carcinógenos perjudiciales (adversos).

Los niveles de riesgo mínimo de una ruta de exposición (inhalación u oral) se calculan durante un tiempo específico (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 condición médica que altera la salud y la calidad de vida.

## **Mortalidad**

Muerte. Generalmente, se indica la causa (una enfermedad específica, una condición médica 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 lista NPL se actualiza periódicamente.

## **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 efectos en la salud y las preocupaciones de la comunidad respecto de un sitio de desechos peligrosos a fin de determinar si el contacto con esas sustancias podría perjudicar a las personas. 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 incluye la difusión oportuna de los datos y su uso en 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.

## **Ruta de exposición**

La forma en que las personas entran en contacto con una sustancia peligrosa. Tres rutas 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.

**Fuente de la 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 [CERCLA] de 1980 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 componen 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 (en inglés) [https://sor.epa.gov/sor\\_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/se\\_arch.do](https://sor.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/se_arch.do)

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

## Apéndice C: Tablas

**Tabla 13. Resumen de los sistemas de agua potable que contribuyen al suministro público de agua potable en el área de Dorado**

Nombre del sistema	Nombre del pozo y Superacueducto	PWSID*	Fecha de construcción	Contribución porcentual (2015)	Población a la que abastece (2015)	Estado/Notas
Dorado	San Antonio 1	5607	No está disponible	0	0	Fuera de servicio (2006)
Dorado	San Antonio 2	5607	1961	0	0	Pozo no operativo (2005)
Dorado	San Antonio 3	5607	1978	0	0	Fuera de servicio (2006)
Dorado	Higuillar	5607	1942	0	0	Fuera de servicio (2005)
Dorado	Dorado Dairy 1	5607	No está disponible	0	0	Fuera de servicio (2006)
Dorado	Dorado Dairy 2	5607	1994	0	0	Fuera de servicio (2006)
Dorado	Santa Rosa	5607	1995	14.95	4644	Operativo
Dorado	Nvarez	5607	1996	14.61	4538	Operativo
Dorado	Superacueducto	n/a	2001	70.44	21 897	Operativo
Maguayo	Maguayo II	5597	1968	17.15	9158	Fuera de servicio (2019)
Maguayo	Maguayo III	5597	1988	0	0	Fuera de servicio (2011)
Maguayo	Maguayo IV	5597	1979	0	0	Fuera de servicio (2011)
Maguayo	Maguayo V	5597	No está disponible	0	0	Fuera de servicio (2010)
Maguayo	Maguayo VI	5597	1988	14.23	9158	Fuera de servicio (2019)
Maguayo	Maguayo VII	5597	1988	30.52	9158	Fuera de servicio (2019)
Superacueducto	Superacueducto	n/a	No está disponible	38.1	9158	Operativo

\*PWSID: Número de identificación del sistema público de agua

**Tabla 14. Resumen de datos de la PRASA**

Sistema	Pozo #	Datos disponibles (años)
Dorado (PWSID 5607)	San Antonio 1	Ninguno
Dorado (PWSID 5607)	San Antonio 2	2009, 2015
Dorado (PWSID 5607)	San Antonio 3	2015
Dorado (PWSID 5607)	Higuillar	2015
Dorado (PWSID 5607)	Dorado Dairy 1	Ninguno
Dorado (PWSID 5607)	Dorado Dairy 2	2015
Dorado (PWSID 5607)	Santa Rosa	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Dorado (PWSID 5607)	Nevarez	2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Vivoni (PWSID 5616)	Vivoni	2007, 2008, 2009, 2010
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo II	2002 (solo PCE/TCE), 2003 (solo PCE/TCE), 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo III	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 (PWSID 5597)	Maguayo IV	2007, 2009, 2010, 2011
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo V	2002 (solo PCE/TCE), 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo VI	2002 (solo PCE/TCE), 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015
Maguayo (PWSID 5597)	Maguayo VII	2002 (solo PCE/TCE), 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015

**Tabla 15. 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
Higuillar Dry Cleaner	2	15 (0.3-31.3')	0	2015
Green Point Sign and Screen Printing	2	19 (0.5-31.5')	0	2013
Edificio PRIDCO No: 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
Narvaez Cleaner and Tailoring	0	16 (1-37.5')	2	2013
Laundry 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
Antiguo Narvaez Cleaner and Tailoring	3	23 (0.5-50')	0	2013
Edward's Dry Cleaners	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')	0	2011
Edificio PRIDCO N.º: S-1166-0-74	2	19 (1.5-41.7')	0	2011
N.º de bloque de PRIDCO: T- 1322-088	3	19 (1.5-36.7')	0	2011

<b>Ubicación</b>	<b>Cantidad de muestras de agua subterránea</b>	<b>Cantidad de muestras de suelo (profundidad)</b>	<b>Cantidad de muestras de gas del suelo</b>	<b>Año de muestreo</b>
Edificio PRIDCO N.º: T-0638-0-66	4	19 (1.5-20.7')	0	2.15
N.º de bloque de PRIDCO: T-0957-1-71	6	26 (1.6-46.7')	0	2011
Edificio PRIDCO N.º: S-0838-0-67	6	25 (1.5-32.5')	0	2011
Edificio PRIDCO N.º: T-0868-0-67	6	13 (1.5-31.7')	0	2011
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>373</b>	<b>2</b>	<b>nulo</b>

Tenga en cuenta: PRIDCO = Compañía Industrial de Puerto Rico

MLS-364315-B  
Professionally Verified Translation (PVTr)