



Agua de lluvia recolectada de las azoteas de Arizona: ¿Qué tan limpia está?

Kunal Palawat, Dr. Leif Abrell, Chris Jones, Dr. Aminata Kilungo, Dr. Jean E.T. McLain, Dr. Rob Root, Dr. Mónica Ramírez-Andreotta

**La copia final de este documento fue preparado por Kunal Palawat. La Dra. Mónica D. Ramírez-Andreotta es la IP principal y preparó el primer borrador. Los demás autores se enumeran alfabéticamente*

1. ¿ Por qué es importante el agua de lluvia recolectada de las azoteas?

1.1. El agua de lluvia recolectada de las azoteas puede ayudar a hacerle frente a la escasez de agua

El informe de progreso de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible afirma que 2.3 millones de personas viven en países con estrés hídrico y que la escasez de agua podría obligar a la migración de más de 700 millones de personas para el 2030 (Naciones Unidas, 2021). A medida que el cambio climático empeora la escasez de agua (Schewe et al., 2014), los Estados Unidos e incluso los arizonenses dependerán más de fuentes alternativas de agua (Pearson et al., 2015; Tamaddun et al., 2018), como el agua de lluvia recolectada de las azoteas (RHRW por sus siglas en inglés). En Arizona (AZ), el residente promedio usa 120 galones (454.2 L) de agua por día; este uso municipal contribuye al 20% del presupuesto de agua del estado. En comparación, el 78% se asigna para usos agrícolas y el 1% para usos industriales (Departamento de Recursos Hídricos de Arizona, s.f.). Hasta el 70% del agua residencial se utiliza para actividades al aire libre como la jardinería y el llenado de piscinas, y ese número aumenta durante los meses más cálidos (Departamento de Recursos Hídricos de Arizona, s.f.). Además, para hacer frente al efecto de isla de calor urbano, que afecta de manera desproporcionada a las

comunidades de justicia ambiental, se están desarrollando intervenciones de bajo costo y adaptaciones al cambio climático, incluida la recolección activa de agua de lluvia para apoyar el aumento de la copa de los árboles en estas comunidades (Sandhaus et al., 2018). La recolección de agua de lluvia se ha vuelto muy importante en muchas comunidades de Arizona, hasta el punto de que municipios en Tucson, han comenzado a ofrecer incentivos fiscales y programas de reembolso (Ciudad de Tucson, s.f.) para propietarios de viviendas y empresas que instalan sistemas de recolección (Radonic, 2019). Los sistemas de RHRW mejoran la disponibilidad de agua para diversos usos, como la jardinería, el riego de espacios verdes y plantas de sombra, el riego de cultivos, el llenado de piscinas y la producción ganadera (Mbilinyi et al., 2005). La Figura 1 muestra varios sistemas de recolección de agua de lluvia en Tucson, AZ.

1.2. Tratando de hacer lo correcto para la conservación del agua y la justicia climática, pero ¿qué pasa con la contaminación ambiental?

Los riesgos de usar sistemas de agua de lluvia recolectada de las azoteas no están claros; la contaminación ambiental podría afectar negativamente la calidad y seguridad del RHRW. Se estima que la contaminación ambiental fue responsable de nueve millones de muertes prematuras



Figura 1. Imágenes seleccionadas de los sistemas de agua de lluvia recolectada de los techos o azoteas de los científicos de la comunidad. Créditos de imagen: Flor Sandoval y Ann Marie Wolf, Instituto de Investigación Ambiental de Sonora, Inc.

en todo el mundo en el 2015 (Landrigan et al., 2018). El Programa de Inventario de Emisiones Tóxicas (TRI por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) requiere que la industria informe sobre el almacenamiento, uso y liberación de sustancias peligrosas reguladas (USEPA, 2024). En el 2018 (alrededor del inicio de Project Harvest, véanse los detalles en la sección 2.2), Arizona tenía 263 sitios TRI reportados, que suelen ser instalaciones a gran escala que manejan productos químicos peligrosos que se sabe que tienen efectos adversos para la salud humana y/o salud ambiental (US EPA, 2023, 2024). De estos sitios, las cinco instalaciones con las mayores emisiones son sitios de minería y fundición (US EPA, 2023, 2024). En el 2022, el total de liberaciones, eliminación u otras emisiones dentro y fuera de las instalaciones del TRI ascendió a más de 30,000 toneladas en Arizona, siendo el cobre, el plomo y el zinc los principales productos químicos (US EPA, 2023, 2024). También hay contaminantes no regulados que podrían afectar la calidad del agua de lluvia recolectada.

En el 2020, Arizona tenía 401 minas activas (Richardson et al., 2020), que aportan contaminantes como el arsénico y el plomo al medio ambiente. La minería se ha relacionado con el cambio climático, el aumento de la industrialización y la destrucción de los ecosistemas (Csavina et al., 2012). A partir del 2023, hay 13 sitios o emplazamientos de limpieza designados por el gobierno federal en Arizona gobernados y financiados por la Ley Federal de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental Integral de 1980 (CERCLA por sus siglas en inglés), comúnmente conocida como Superfund (ADEQ, s.f.-b). Estos sitios están en la Lista de Prioridades Nacionales porque son fuentes de desechos peligrosos no controlados, en base al sistema de clasificación de peligros de la US EPA, representan la mayor amenaza potencial para la salud pública y el medio ambiente. Arizona también tiene 38 sitios de limpieza financiados por el estado y 12 sitios del

Departamento de Defensa (ADEQ, s.f.-b, s.f.-a), además de sitios de emergencia regulados por el estado, instalaciones de desechos médicos biopeligrosos y sitios industriales abandonados (ADEQ, s.f.-a, s.f.-b; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2023, 2024).

A pesar de los posibles resultados negativos para la salud (Ahmed et al., 2016; Csavina et al., 2012; Entwistle et al., 2019; Patra et al., 2016; Phillips, 2016; Urkidi y Walter, 2011; Velicu, 2020; White, 2013), las instalaciones industriales siguen liberando productos químicos tóxicos en las comunidades de Arizona y sus alrededores (US EPA, 2023, 2024).

2. ¿Es segura el agua de lluvia recolectada de mi azotea?

2.1. Los programas y regulaciones de monitoreo de agua de lluvia recolectada de azoteas no existen para garantizar la seguridad del agua en Arizona

En Arizona se fomenta el uso de agua de lluvia recolectada, pero en el 2024 falta en gran medida información sobre la calidad del agua de lluvia recolectada. En Australia, Taiwán, Jordania y Brasil existen normas para el uso doméstico del agua de lluvia recolectada de los tejados de edificios residenciales y comerciales (Aziz et al., 2020). Con la excepción de las directrices o pautas no exigibles de la US EPA para E. coli y coliformes totales para el uso en interiores del agua de lluvia recolectada, no se han establecido recomendaciones o reglamentaciones nacionales para el uso de RHRW de edificios residenciales y comerciales en los Estados Unidos.

2.2. Project Harvest: ciencia comunitaria co-creada para comprender la calidad del agua de lluvia

Project Harvest (PH) de la Universidad de Arizona (UArizona) (Figura 2) fue creado en colaboración con el Instituto de Investigación Ambiental de Sonora, Inc. (SERI por sus siglas en inglés) y trabajó con tres comunidades



Figura 2. Logotipo de Project Harvest

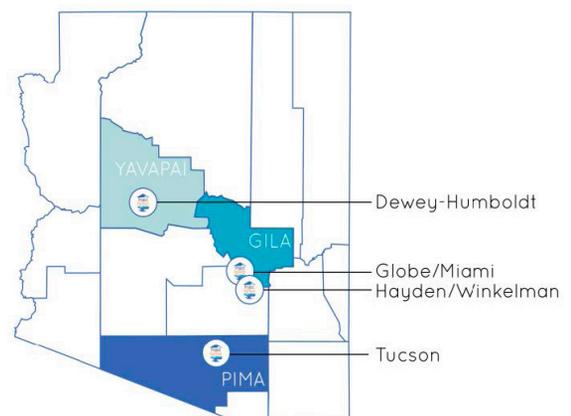


Figura 3. Mapa de las comunidades colaboradoras con Project Harvest Arizona

rurales cercanas a la minería activa y heredada: Dewey-Humboldt, Globe/Miami, Hayden/Winkelman; y una comunidad urbana: Tucson (Figura 3) (Project Harvest, s.f.). Utilizando un modelo de educación entre pares, las promotoras (trabajadoras de salud comunitarias) capacitaron a científicos comunitarios sobre cómo recolectar adecuadamente muestras de monitoreo ambiental, que luego se analizaron en busca de contaminantes y patógenos en la Universidad de Arizona. Consulte la Tabla 1 para obtener una descripción de los productos orgánicos, inorgánicos y contaminantes microbianos preocupantes y sus efectos en la salud de los seres humanos. Juntos, el equipo académico-comunitario evaluó la contaminación de casi 600 muestras de agua de lluvia recolectadas, en suelos irrigado y las plantas cultivadas, de 184 participantes; desarrollando la capacitación y salud ambiental individual y a nivel comunitario del conocimiento de los datos. Para más información dirigirse a Davis et al., 2018, 2020; Kaufmann et al., 2023; Moisés et al., 2022, 2023; Palawat et al., 2023b, 2023a; Project Harvest, s.f.; Ramírez-Andreotta et al., 2019, 2023; Villagómez-Márquez et al., 2023. Los miembros de la comunidad querían saber la calidad de su RHRW y si era seguro usarla. Después de 2.5 años y casi 600 muestras analizadas de HRRW en Arizona para detectar contaminación, Project Harvest de la Universidad de Arizona tiene algunas respuestas.

2.3. Adaptando las normas reglamentarias, recomendaciones, pautas y/o avisos existentes en función del uso

Para alguien que desee utilizar el agua de lluvia recolectada, una buena regla general sería hacer coincidir sus necesidades de agua con las pautas existentes (FDA, 2023; Nappier y Bone, 2012; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2015). La Tabla 2 muestra un resumen de las superaciones de las normas/recomendaciones/pautas / avisos existentes documentados en AZ RHRW, por uso para 12 contaminantes orgánicos, 11 contaminantes inorgánicos y 2 contaminantes microbianos. El número de muestras analizadas y el porcentaje de esas muestras que superan determinados estándares/recomendaciones/pautas/avisos se muestran en la tabla, divididos a su vez por comunidad cuando corresponda.

De las 577 muestras de RHRW de PH de Arizona analizadas para metales, solo 2 superaron la concentración máxima de riego recomendada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) para uso continuo en todos los suelos para aluminio, 1 para arsénico, 4 para cadmio, 1 para cromo, 35 para cobre, 17 para manganeso, 2 para níquel, 25 para zinc y 0 para berilio y plomo (Tabla 2). Cada uno de estos valores representa menos del 7% del número total de muestras.

En todas las comunidades de AZ donde se tomaron muestras durante tres años, solo el 2.9% de las muestras de RHRW superaron los criterios de riego agrícola de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (US FDA por sus siglas en inglés) para E. coli con una media geométrica de 126 UFC/100 mL (Tabla 2) (Moses et al., 2023). Este criterio de riego se aplica técnicamente a la media geométrica de 5 muestras recogidas en un lugar; Sin embargo, aquí, con fines comparativos, lo aplicamos a cada muestra individualmente. Si tuviéramos que calcular la media geométrica de todas las muestras enviadas a lo largo de todo el proyecto desde cada hogar, solo una superaría las 126 UFC/100 mL. Pero solo se tomó una muestra de agua de lluvia recolectada en la azotea de ese lugar, no cinco.

Al momento de escribir este boletín, no existían estándares/recomendaciones/límites de riego para contaminantes orgánicos.

3. ¿De dónde viene la contaminación?: Principales hallazgos de Project Harvest

Las figuras 4 a 7 visualizan los resultados del estudio que muestran las frecuencias de detección de varios contaminantes (Figura 4) y gráficas resumidas de contaminantes inorgánicos de arsénico y plomo (Figura 5), contaminantes microbianos (Figura 6) y contaminantes orgánicos (Figura 7). La conclusión principal de la Figura 4 es que el RHRW no es "puro" y contiene niveles detectables de contaminantes, pero las detecciones por sí solas no nos informan sobre la seguridad. La Figura 5 muestra que el arsénico y el plomo son más altos en Hayden/Winkelman, una comunidad con una fundidora de cobre que estaba activa en el momento que se realizó el estudio; Pero también muestra que no hay una división clara en la contaminación entre los lugares rurales y urbanos. En la Figura 6 se observa que hubo mayores concentraciones de coliformes totales en el RHRW que E. coli. Y las comunidades rurales tenían niveles más altos de coliformes totales que Tucson, pero Tucson tenía concentraciones más altas de E. coli que las comunidades rurales. La Figura 7 muestra que, en las cuatro comunidades, se encontraron concentraciones más altas de contaminantes orgánicos industriales en el RHRW en comparación con los plaguicidas.

3.1. Consideraciones generales sobre la contaminación

La contaminación por el RHRW puede ocurrir cuando el agua de lluvia asimila productos químicos y patógenos de la atmósfera, de las azoteas y de los sistemas de recolección, o durante el almacenamiento. La calidad del RHRW puede verse afectada por factores que escapan al control de un residente/propietario, como las condiciones climáticas

Tabla 2. Las muestras de agua de lluvia recolectadas superan nueve estándares de calidad del agua, recomendaciones y niveles máximos

Contaminante	Estándar/recomendación/ nivel máximo	Dewey-Humboldt (inorgánico n = 53; microbiano n = 52; orgánico especificado en paréntesis)	Globo/Miami (inorgánico n = 124; microbiano n = 118; orgánico especificado entre paréntesis)	Hayden/Winkelman (inorgánico n = 93; microbiano n = 100; orgánico especificado entre paréntesis)	Tucson (inorgánico n = 307; microbiano n = 317; orgánico especificado entre paréntesis)	En general (inorgánico n = 577; microbiano n = 587; orgánico especificado entre paréntesis)	
Los datos muestran el porcentaje de muestras que superan el nivel							
Atrazina	3.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)	
Simazina	4.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)	
PCP	1.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (504)	
2,4-D	70.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (452)	
PFNA*	10 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (97)	
PFNA + PFBS*	Índice de peligrosidad de 1*	--	--	--	--	0.0% (97)	
PFOA*	4 (ng L-1)	46.7% (15)	38.7% (31)	54.3% (35)	60.2% (108)	54.5% (189)	
PFOS*	4 (ng L-1)	68.2% (22)	61.0% (41)	41.4% (29)	54.5% (110)	55.4% (202)	
Aluminio	Norma primaria de agua potable de la US EPA (nivel máximo del contaminante/nivel de acción/ estándar secundario)	50 (µg L-1)	23.0%	2.0%	34.0%	9.0%	4.0%
Arsénico		10 (µg L-1)	3.8%	0.0%	17.0%	0.7%	3.5%
Bario		2000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Berilio		4 (µg L-1)	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.2%
Cadmio		5 (µg L-1)	0.0%	8.1%	0.0%	0.0%	1.7%
Cromo		100 (µg L-1)	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.2%
Cobre		1300 (µg L-1)	0.0%	1.6%	2.2%	0.0%	0.7%
Manganeso		50 (µg L-1)	7.5%	4.0%	7.5%	0.0%	3.0%
Níquel		140 (µg L-1)	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.4%
Plomo		15 (µg L-1)	0.0%	2.4%	5.4%	3.6%	3.3%
Zinc		5000 (µg L-1)	0.0%	0.0%	1.1%	3.3%	1.9%
Coliformes Totales		0 UFC / 100 mL	59.6%	9.5%	5.0%	5.3%	4.7%
<i>E. coli</i>		0 UFC / 100 mL	3.9%	9.3%	1.0%	4.5%	1.9%
Aluminio		5000 (µg L-1)	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.4%
Arsénico		10 (µg L-1)	3.8%	0.0%	17.0%	0.7%	3.5%
Bario		10000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cadmio	Límite superior recomendado de agua potable para ganado y aves	50 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cromo		1000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cobre		500 (µg L-1)	0.0%	3.2%	6.5%	1.0%	2.3%
Manganeso		50 (µg L-1)	7.5%	4.0%	7.5%	0.0%	3.0%
Plomo		100 (µg L-1)	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.4%
Zinc		25000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Atrazina		32.667.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)
Simazina		4.667.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)
Clorpirifos		2.800.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (543)
PCP		12.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (504)
2,4-D		9.333.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (452)
Arsénico		30 (µg L-1)	0.0%	0.0%	3.2%	0.0%	0.5%
Bario		98000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Berilio	Estándar del ADEQ de contacto corporal completo con el agua superficial	1867 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cadmio		700 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cromo		2800 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cobre		1300 (µg L-1)	0.0%	1.6%	2.2%	0.0%	0.7%
Manganeso		130667 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Níquel		28000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Plomo		15 (µg L-1)	0.0%	2.4%	5.4%	3.6%	3.3%
Zinc		280000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
<i>E. coli</i>		235 UFC / 100 mL	0.0%	2.5%	2.0%	1.9%	1.9%
Atrazina		32.667.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)
Simazina		4.667.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)
Clorpirifos		2.800.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (543)
PCP		4.667.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (504)
2,4-D		9.333.000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (452)
Arsénico		280 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Bario	Estándar del ADEQ de contacto corporal parcial con el agua superficial	98000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Berilio		1867 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cadmio		700 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cromo		2800 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cobre		1300 (µg L-1)	0.0%	1.6%	2.2%	0.0%	0.7%
Manganeso		130667 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Níquel		28000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Plomo		15 (µg L-1)	0.0%	2.4%	5.4%	3.6%	3.3%
Zinc		280000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
<i>E. coli</i>		575 UFC / 100 mL	0.0%	1.7%	2.0%	1.3%	1.4%
Aluminio		5000 (µg L-1)	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.4%
Arsénico	Concentración máxima de riego recomendada por el USDA para uso continuo en todos los suelos	100 (µg L-1)	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.2%
Berilio		100 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Cadmio		10 (µg L-1)	0.0%	3.2%	0.0%	0.0%	0.7%
Cromo		100 (µg L-1)	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.2%
Cobre		200 (µg L-1)	0.0%	9.7%	17.0%	2.3%	6.1%
Manganeso		200 (µg L-1)	1.9%	8.1%	2.2%	1.3%	2.9%
Níquel		200 (µg L-1)	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	0.4%
Plomo		5000 (µg L-1)	--	--	--	--	0.0%
Zinc		2000 (µg L-1)	1.9%	4.0%	1.1%	5.9%	4.3%
<i>E. coli</i>	Criterios de riego agrícola de la US FDA	126 UFC / 100 mL (media geométrica)	0.0%	2.5%	4.0%	3.2%	2.9%
Coliformes totales	Estándar de la US EPA para el uso No potable en interiores del agua de lluvia recolectada	500 UFC / 100 mL	21.2%	4.6%	4.0%	2.7%	3.2%
<i>E. coli</i>	Estándar de agua de lluvia recolectada	100 UFC / 100 mL	1.9%	2.5%	4.0%	3.2%	3.1%
Prometon		400,000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (594)
Nonilfenol	Aviso de salud de por vida de la US EPA	20,000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (590)
Clorpirifos		2,000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (543)
PCP		40,000 (ng L-1)	--	--	--	--	0.0% (504)

*Aplicable para los sistemas públicos de agua a partir de 2029.

*Este Nivel Máximo de Contaminantes del Índice de Peligro se aplica a las mezclas de PFAS que contienen al menos dos o más de PFHxS, PFNA, HFPO-DA y PFBS. El índice de peligro se calcula dividiendo la concentración de un compuesto PFAS por el valor basado en la salud informado y luego sumando las proporciones de los compuestos PFAS. Consulte https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/pfas-ncpdwr_fact-sheet_hazard-index_4.8.24.pdf para obtener más detalles.

FRECUENCIA DE DETECCIÓN DE AGUA

Porcentaje de muestras que detectaron cada contaminante por condado

Contaminants	Dewey-Humboldt	Globe-Miami	Hayden-Winkelman	Tucson
E. coli	3.9%	9.3%	11.0%	14.5%
Coliformes	59.6%	69.5%	55.0%	66.3%
Aluminio	100%	100%	100%	100%
Arsénico	77.8%	69.5%	96.8%	74.8%
Bario	100%	100%	100%	100%
Berilio	48.1%	63.3%	51.6%	50.0%
Cadmio	70.4%	94.5%	98.9%	91.3%
Cromo	87.0%	85.2%	92.5%	91.3%
Cobre	100%	100%	100%	100%
Manganeso	100%	100%	100%	100%
Níquel	98.1%	100%	98.9%	99.4%
Plomo	100%	100%	100%	99.7%
Zinc	100%	100%	100%	100%
2,4-D	25.0%	28.3%	11.0%	15.1%
Atrazina	9.1%	12.7%	5.7%	11.4%
Carbarilo	27.5%	16.8%	27.8%	22.0%
Clorpirifos	3.9%	5.6%	4.1%	2.5%
Glyphosate	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Nonilfenol	23.6%	39.1%	34.6%	52.4%
PCP	42.0%	35.0%	25.3%	43.0%
PFBS	50.0%	90.0%	90.9%	79.6%
PFNA	0.0%	10.0%	18.2%	16.7%
PFOA	13.3%	5.9%	8.6%	16.7%
PFOS	72.7%	63.4%	44.8%	60.9%
Prometon	21.8%	12.7%	4.8%	59.4%
Simazina	9.1%	7.6%	0.9%	21.3%

Porcentaje de muestras que detectaron cada contaminante por año

Contaminants	2017-2018	2018-2019	2019-2020
E. coli	19.7%	5.8%	10.1%
Coliformes	73.2%	59.7%	60.1%
Aluminio	100%	100%	100%
Arsénico	99.4%	78.7%	57.8%
Bario	100%	100%	100%
Berilio	91.5%	68.5%	6.2%
Cadmio	100%	83.8%	91.0%
Cromo	98.9%	91.4%	80.6%
Cobre	100%	100%	100%
Manganeso	100%	100%	100%
Níquel	100%	100%	98.1%
Plomo	99.4%	100%	100%
Zinc	100%	100%	100%
2,4-D	14.0%	62.7%	10.6%
Atrazina	3.7%	26.8%	1.4%
Carbarilo	8.6%	47.9%	8.2%
Clorpirifos	0.7%	4.1%	4.8%
Glyphosate	0.0%	NA	NA
Nonilfenol	67.2%	44.4%	22.1%
PCP	41.5%	27.5%	46.2%
PFBS	NA	79.4%	NA
PFNA	NA	13.4%	NA
PFOA	13.0%	NA	NA
PFOS	51.4%	70.1%	NA
Prometon	42.9%	41.2%	27.4%
Simazina	11.5%	25.3%	5.3%

Figura 4. Frecuencia de detección de contaminantes por comunidad y año hidrológico. Figura reproducida de <https://projectharvest.arizona.edu/> (Project Harvest, s.f.). Nota: En 2019-2020 solo se reportan la primera y la última muestra de invierno. Tuvimos que cancelar la primera y la última temporada de muestras del monzón debido al COVID-19. N/A = No medido

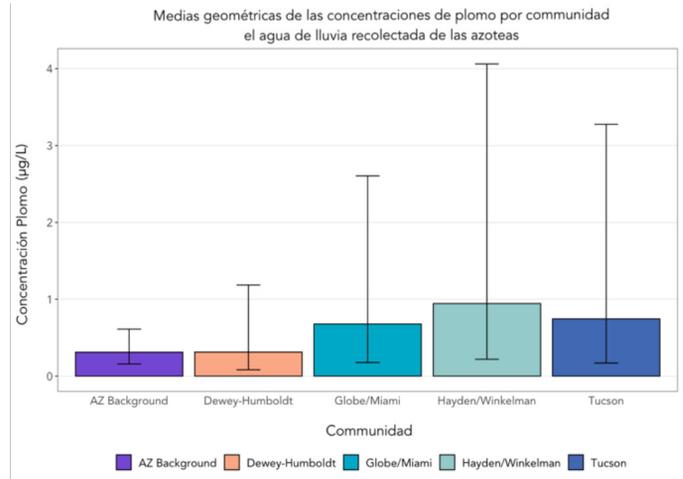
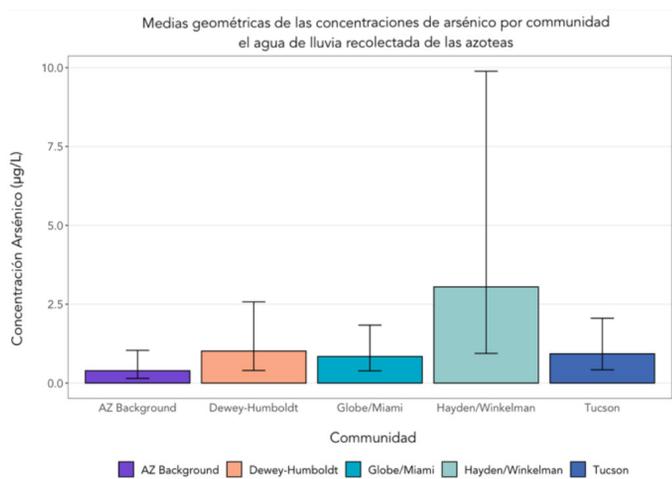


Figura 5. Medias geométricas de las concentraciones de A) arsénico y B) plomo por comunidad para todos los años hidrológicos combinados. Las muestras se comparan con las muestras de agua de lluvia de referencia de Arizona. En el caso del arsénico, todas las comunidades tienen valores significativamente más altos que las muestras de agua de lluvia de referencia de Arizona. Todas las comunidades tuvieron concentraciones significativamente más altas que el de referencia para Arizona y Hayden/Winkelman tuvieron las concentraciones más altas de cualquier comunidad para arsénico. Para plomo, Hayden/Winkelman y Tucson tuvieron concentraciones significativamente más altas que Dewey-Humboldt. Las barras de error muestran la desviación estándar. Véase <https://projectharvest.arizona.edu/> para más visualizaciones (Project Harvest, s.f.)

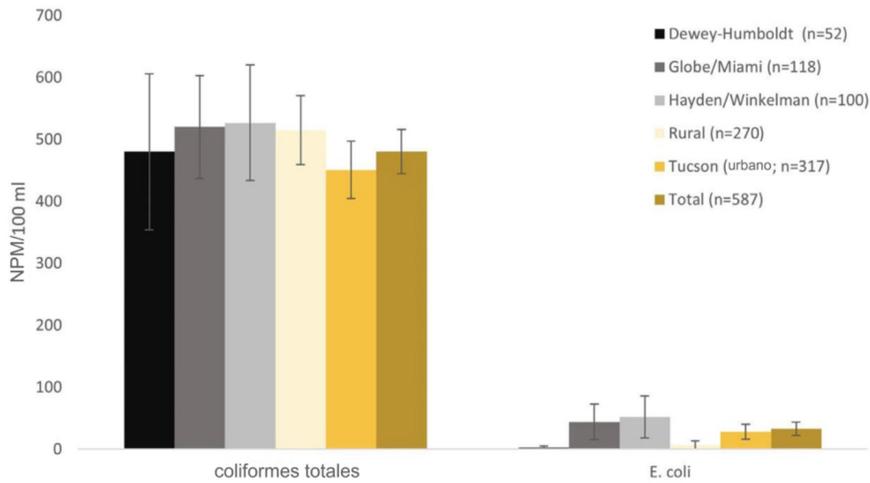


Figura 6. Resultados de agua de lluvia recolectada por comunidad. El NMP promedio de coliformes totales (CT por sus siglas en inglés) y E. coli por 100 mL en agua de lluvia recolectada en cada comunidad asociada. El límite de detección (LOD por sus siglas en inglés) y el límite superior de cuantificación (ULOQ por sus siglas en inglés) se calcularon en 0.5 y 2420, respectivamente. Las barras de error muestran el error estándar de la media. Figura reproducida de Moses et al., 2023.

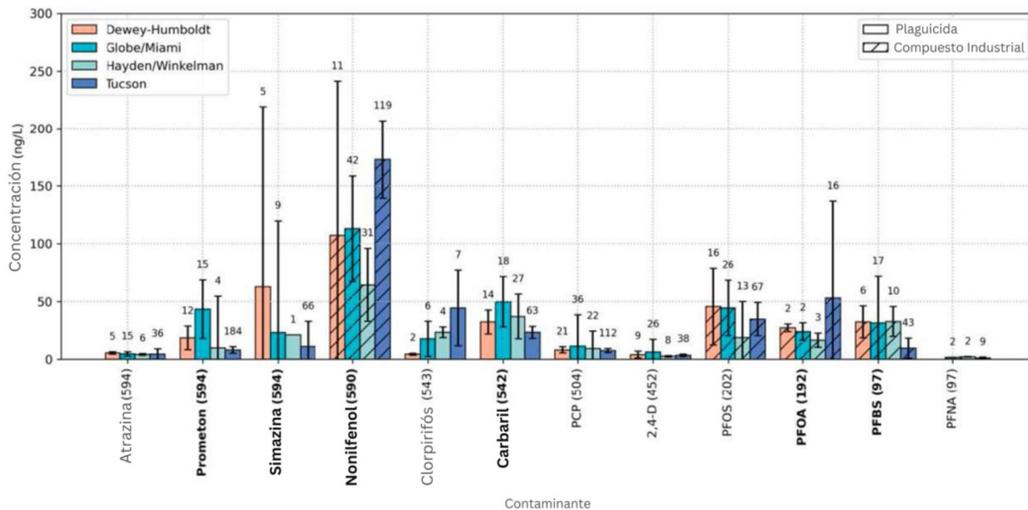


Figura 7. Concentraciones medias de contaminantes orgánicos durante todos los años de agua, organizadas por comunidad. El eje x representa: analito (número de mediciones). Los valores en negrita indican una significación estadística entre la concentración media de analitos de las comunidades. El número encima de cada barra indica las detecciones positivas. Las barras de error indican la desviación estándar. Figura reproducida de Villagómez-Márquez et al., 2023.

y la proximidad a posibles fuentes de contaminantes químicos, como las actividades industriales (por ejemplo, sitios de extracción/minería de recursos y de acumulación de emisiones tóxicas). Es necesario tener en cuenta otras fuentes de contaminación, como el tráfico de automóviles (Huston et al., 2009) y las actividades agrícolas. Nuestros datos muestran que en el RHRW se encontraron contaminantes asociados a la actividad industrial y agrícola (Figuras 5 y 7).

3.2. Cómo afectan las estaciones a la contaminación en Arizona

En general, la contaminación observada en Arizona fue mayor durante la temporada de monzones de verano en comparación con la temporada de invierno. La relación

fue significativa para las concentraciones de arsénico, plomo, coliformes totales, E. coli, prometón, simazina y pentaclorofenol (Moses et al., 2023; Palawat et al., 2023b, Villagómez-Márquez et al., 2023). Esto podría deberse al aumento de la actividad del polvo durante la primavera y el verano (Huang et al., 2015), lo que provoca la acumulación de polvo en los tejados/azoteas, que luego se lava en las cisternas durante las lluvias monzónicas.

3.3. Cómo es que la infraestructura de recolección del agua de lluvia impacta la contaminación en Arizona

La infraestructura, como el material del techo/azotea, la presencia de una criba o maya en la cisterna y los sistemas de primera descarga o desagüe, no fueron significativos con respecto al arsénico y el plomo, pero las cisternas más

antiguas (5+ años) se asociaron con concentraciones más altas de plomo y las casas más antiguas se relacionaron con niveles más altos de arsénico y plomo (Palawat et al., 2023b).

Con respecto a los coliformes totales y *E. coli*, los análisis de PH revelaron que la calidad del agua de lluvia recolectada tiene una asociación con la presencia de animales (mascotas y ganado), el tratamiento o lavado de la cisterna, la edad de la cisterna, la presencia de una maya o criba en la cisterna, el sistema de primer lavado (solo coliformes totales) y el tipo de material del techo o azotea (solo *E. coli*) (Moses et al., 2023).

3.4. Cómo la industria y el entorno construido impactan la contaminación en Arizona

En tres de las cuatro comunidades estudiadas, el arsénico y el plomo fueron mayores en los lugares más cercanos a las fuentes puntuales industriales de contaminación (Globe/ Miami, Hayden/ Winkelman, Tucson- solo plomo). Pero no hubo asociación entre las concentraciones de arsénico y plomo y la proximidad de una casa a un camino o carretera (Palawat et al., 2023b). Hubo una asociación entre los coliformes totales y *E. coli* y la proximidad a una instalación de eliminación de residuos o instalación de incineración (Moses et al., 2023). Estos resultados indican que las actividades industriales como la minería son impulsores influyentes de la contaminación ambiental, liberando contaminantes al medio ambiente, que luego son asimilados en el RHRW (Moses et al., 2023; Palawat et al., 2023b).

Los arizonenses que recolectan agua de lluvia pueden esperar una exposición pequeña, pero continua, a los pesticidas debido a aplicaciones comunes y no industriales en hogares, parques, campos de golf, campos deportivos y centros turísticos. Se encontraron tanto plaguicidas como contaminantes industriales en el RHRW (Figura 7). Pero los plaguicidas medidos en el RHRW no se correlacionaron significativamente con los centros de población de baja o alta densidad.

3.5. Cómo afecta la contaminación vivir en zonas rurales de Arizona

En PH, la ruralidad no influyó consistentemente en la contaminación. En general, observamos concentraciones más altas de arsénico, plomo, coliformes totales, prometón, simazina, carbarilo y PFBS en al menos una comunidad rural (Dewey-Humboldt, Globe/ Miami o Hayden-Winkelman) en comparación con la comunidad urbana de Tucson. Pero también vimos al menos una comunidad rural con menor contaminación en comparación con Tucson (Figuras 5 a 7). La contaminación suele ser mayor en las comunidades rurales con actividad industrial activa, como Globe/ Miami y Hayden/ Winkelman, aunque no hay tendencias consistentes en todos los analitos y comunidades (Moses et al., 2023; Palawat et al., 2023b; Villagómez-Márquez et al., 2023). La

investigación muestra que la contaminación es compleja y que se deben realizar análisis y comparaciones específicas de contaminantes para comprender mejor la contaminación.

4. ¿Qué podemos hacer al respecto?

4.1. Sitio y local

Para las características del hogar y la recolección de agua de lluvia, algunas opciones, como los materiales del techo/ cisterna y la edad, son difíciles de cambiar. La contaminación también puede continuar acumulándose en el sistema de recolección a medida que pasa el tiempo.

Por lo tanto, recomendamos centrarse en cambios más pequeños como:

- Limpiar la cisterna y la azotea
- Añadir un sistema de primera descarga o desviador
- Instalar una maya o filtro sobre la abertura del dispositivo de recolección
- Mantener a las mascotas y animales de ganado fuera del área de la cisterna

Las aves y los pequeños mamíferos son fuentes probables de *E. coli* en las azoteas. Si es verdad que reducir el número de animales cercanos ayudará específicamente a reducir la contaminación microbiana del agua de lluvia, Prevenir que los contaminantes ingresen a través de la práctica de una primera descarga o desagüe, desviadores o mayas / filtros, probablemente tendrá un mayor impacto en la calidad del RHRW. Un dispositivo de primera descarga o desagüe puede desviar los primeros 10 galones (40 litros) de precipitación de una tormenta lejos de la cisterna, lo que podría reducir la cantidad de materiales depositados en el techo acumulados desde la última tormenta. El artículo titulado "Preparación del agua de lluvia para uso potable" describe en detalle muchas opciones de precaución y tratamiento (Capehart et al., 2021).

Sin embargo, es posible que la contaminación sustancial provenga de fuentes no relacionadas con la infraestructura (por ejemplo, industriales), que los propietarios individuales no pueden controlar de inmediato.

4.2. La toma de decisiones sociopolíticas puede afectar el cambio a muchas escalas

Las personas de comunidades marginadas y de ingresos limitados en gran medida no causan contaminación, pero a menudo son ellos los que más tienen que aguantar. (Bullard, 2011; Lerner, 2010). En las zonas rurales, se ha demostrado que la industria minera influye significativamente en la calidad del RHRW (Palawat et al., 2023b), pero eso no significa que las personas sean impotentes. Hay muchas maneras para tomar medidas.

La mayoría de los cambios ocurren primero con la educación y creando conciencia. Al apoyar la justicia ambiental y la educación para la conservación en el distrito escolar y la comunidad local, uno puede ayudar a

informar a otros sobre los problemas ambientales que los afectan. Con respecto a la recolección de agua de lluvia, se podría involucrar a las empresas de agua locales y solicitar apoyo para los programas de recolección de agua de lluvia. Además se puede participar en los consejos asesores de la comunidad, en la política local y en proyectos de investigación basados en la comunidad, como PH, cuyo objetivo es empoderar y desarrollar la capacidad de los miembros de la comunidad científica no académica para estudiar y defender su medio ambiente.

También hay un precedente importante de acción política en Arizona en apoyo de la justicia ambiental y climática con ejemplos como “United Farm Workers”, “Defend Black Mesa” y “Protect Quitobaquito Springs”. Los activistas han utilizado con éxito prácticas como marchas, mítines, boicots, bloqueos, huelgas, arte público, redes sociales, ayuda mutua, recaudación de fondos, política electoral, escritura de libros y artículos de opinión, etc., para responsabilizar a los gobiernos y las empresas de la salud de las personas e incitar a un cambio sistémico. Por ejemplo, debido a prácticas laborales injustas, en octubre del 2019, la huelga de ASARCO Hayden cerró las operaciones de fundición (Kailey Broussard, 2019; Termina la huelga de nueve meses para los trabajadores del Local 627 de ASARCO, 2020). Este tipo de acciones podrían tener impactos positivos en la calidad ambiental (Palawat et al., 2023b).

El ecologismo se cruza con todos los movimientos de justicia social, por lo que uno podría unirse a una organización que haga trabajo ambiental popular o de base que le interese, como CHISPA AZ, Poder in Action, o el grupo local de Black Lives Matter, como BLM Phoenix Metro (Black Lives Matter Phoenix Metro, s.f.; CHISPA AZ, s.f.; Poder en Acción, 2018). También se puede reunir a su comunidad y decidir formar su propio grupo para fomentar el cambio.

Además, se ha demostrado que la gestión indígena de la tierra cultiva un ecosistema más resiliente en comparación con la gestión no indígena (Garnett et al., 2018), y podría conducir a la reducción de la contaminación del RHRW en el medio ambiente al alejar el uso de la tierra de la actividad industrial extractiva. Se podría apoyar la gestión indígena de la tierra y el agua en Arizona devolviendo el cuidado del medio ambiente a sus pueblos originarios a través de vías como las donaciones, sujeciones, fideicomisos de tierras, reparaciones, intercambios de tierras y/o ventas de tierras. Este proceso se denomina “Land Back” y podría beneficiar la salud interconectada del medio ambiente y los seres humanos al reducir la contaminación del RHRW (Hill et al., 2024; Pieratos et al., 2021).

Hay varios ejemplos recientes de “Land Back” (devolución de tierras) en Arizona que podrían beneficiar

la calidad de RHRW, como la ciudad de Tucson que devolvió la tierra en la base de Sentinel Peak a la Nación Tohono O'odham, la tribu Pascua Yaqui que recuperó 30 acres en Tucson, el programa de recompra de tierras del gobierno federal y el intercambio de tierras de la Nación Yavapai-Apache con el Servicio Forestal de los Estados Unidos (Alam, 2016; Silversmith et al., 2022; Tucson está devolviendo un tramo de tierra ancestral a la Nación Tohono O'odham, 2023; Nación Yavapai-Apache, 2024). Se pueden encontrar más lecturas sobre el retorno o devolución de la tierra y el agua en el artículo “Water Back: a Review Centering Rematriation and Indigenous Water Research Sovereignty” (Leonard et al., 2023).

Por último, al construir una cultura de reciprocidad en la propia comunidad, se puede gestionar un cambio cultural para proteger mejor la salud humana y de los ecosistemas, lo que conduce a una mayor calidad del agua de lluvia.

5. Conclusiones

A medida que el cambio climático exagera la escasez de agua en todo el mundo y en Arizona, nos estamos volviendo más dependientes de fuentes alternativas de agua, como el agua de lluvia recolectada de las azoteas. Project Harvest mostró que, en gran medida en el momento del estudio y según la definición del USDA, esta agua de lluvia es segura para el riego de cultivos (Moses et al., 2023; Palawat et al., 2023b, 2023a; Villagómez-Márquez et al., 2023), pero es importante hacer coincidir el uso específico de agua de lluvia recolectada de las azoteas con las normas reglamentarias, recomendaciones, pautas y/o avisos existentes como una forma de determinar la seguridad. Project Harvest también observó que, en su mayor parte, las concentraciones de contaminantes eran más altas durante la temporada de monzones. La infraestructura de captación o recolección de agua de lluvia se asoció con concentraciones de coliformes totales y E. coli; la proximidad a fuentes industriales se asoció con mayores concentraciones de arsénico, plomo, coliformes totales y E. coli (Moses et al., 2023; Palawat et al., 2023b, 2023a). Esto indica que las personas no son las únicas causantes, y, por lo tanto, no son totalmente responsables de esa contaminación. Si bien puede ser útil para las personas cambiar su infraestructura de recolección de agua de lluvia para que coincida con las mejores prácticas, es crucial que también nos centremos en la toma de decisiones a nivel institucional y político (es decir, industria, gobierno). Para instigar un cambio efectivo para aumentar la salud pública ambiental, debemos conectarnos con organizaciones comunitarias, esfuerzos educativos o instituciones científicas. La contaminación del agua de lluvia recolectada de las azoteas puede provenir de muchos lugares; Nuestras soluciones también deben incluir muchas estrategias

diversas para el cambio.

6. Agradecimientos

Estamos increíblemente agradecidos y nos gustaría reconocer a todos los científicos de la comunidad de Project Harvest por su tiempo y la cogeneración de datos. Nos gustaría agradecer a todas las promotoras, incluidas Armida Boneo, Luz Imelda Cortez, Margaret Dewey, Theresa Foley, Palmira Henríquez, Miriam Jones, Lisa Ochoa y Aviva O'Neil, por facilitar el reclutamiento de participantes, la capacitación y el compromiso continuo con el proyecto y la comunidad. Un agradecimiento especial a la coordinadora del programa/gerente de laboratorio, Shana Sandhaus, por el apoyo a las múltiples actividades del proyecto que permitieron esta investigación. Gracias a los estudiantes graduados AJ Moses y Norma Villagómez-Márquez por sus increíbles esfuerzos preparando y analizando muestras y preparando publicaciones. Gracias a Sanlyn Buxner, Leona Davis y Dorsey Kaufmann por su apoyo en la investigación sobre el aprendizaje. Agradecemos al Instituto de Investigación Ambiental de Sonora, Inc. por su alcance comunitario y apoyo de las promotoras. Agradecemos a Mary Kay Amistadi en el Laboratorio de Contaminantes Emergentes de AZ por los análisis de ICP-MS. Nos gustaría agradecer y reconocer a María Del Rocío Estrella Sánchez por proporcionar la traducción al español de todos los materiales de Project Harvest y productos de intercambio de datos. También reconocemos que estas muestras fueron recolectadas y analizadas en las tierras tradicionales de los Tohono O'odham, Pascua Yaqui, Chiricahua Apache, Apaches del Oeste, Yavapai Apache, San Carlos Apache, Pueblo, Havasupai, Hualapai, Hopi, Zuni, Diñe y otros, que han administrado desde tiempos inmemoriales (NativeLand. Ca, 2024).

Referencias

- ADEQ. (n.d.-a). *Learn About the Waste Programs Division*. Retrieved January 31, 2024, from <https://www.azdeq.gov/WPD>
- ADEQ. (n.d.-b). *Superfund Sites*. Retrieved November 15, 2023, from <https://www.azdeq.gov/node/1813>
- Ahmed, I. M., Nayl, A. A., & Daoud, J. A. (2016). Leaching and recovery of zinc and copper from brass slag by sulfuric acid. *Journal of Saudi Chemical Society*, 20, S280–S285. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.11.003>
- Alam, A. (2016, November 2). Feds' land buyback program has paid \$175 million to Arizona tribes so far. *Cronkite News*. <https://cronkitenews.azpbs.org/2016/11/01/feds-landbuyback-program-has-paid-175-million-to-arizona-tribes-so-far/>
- Arizona Department of Water Resources. (n.d.). *Public Resources*. Retrieved November 15, 2023, from <https://new.azwater.gov/conservation/public-resources>
- Aziz, F., El Achaby, M., Ouazzani, N., El-Kharraz, J., & Mandi, L. (2020). Rainwater Harvesting: A Challenging Strategy to Relieve Water Scarcity in Rural Areas. In S. Patnaik, S. Sen, & M. S. Mahmoud (Eds.), *Smart Village Technology: Concepts and Developments* (pp. 267–290). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37794-6_13
- Black Lives Matter Phoenix Metro*. (n.d.). Black Lives Matter Phoenix Metro. Retrieved January 31, 2024, from <https://www.blmphxmetro.org/>
- Bullard, R. D. (2011). Sacrifice Zones: The Front Lines of Toxic Chemical Exposure in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 1.
- Capehart, M. A., Artiola, J. F., & Eden, S. (2021). Preparing Rainwater for Potable Use. *University of Arizona Cooperative Extension*.
- CHISPA AZ. (n.d.). CHISPA AZ. Retrieved January 31, 2024, from <https://www.chispaaz.org/>
- City of Tucson. (n.d.). *Conservation*. Retrieved January 31, 2024, from <https://www.tucsonaz.gov/Departments/Water/Conservation>
- Csavina, J., Field, J., Taylor, M. P., Gao, S., Landázuri, A., Betterton, E. A., & Sáez, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *The Science of the Total Environment*, 433, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.013>
- Davis, L. F., Ramírez-Andreotta, M. D., & Buxner, S. R. (2020). Engaging Diverse Citizen Scientists for Environmental Health: Recommendations from Participants and Promotoras. *Citizen Science: Theory and Practice*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.5334/cstp.253>
- Davis, L. F., Ramirez-Andreotta, M. D., McLain, J., Kilungo, A., Abrell, L., & Buxner, S. (2018). Increasing Environmental Health Literacy through Contextual Learning in Communities at Risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2203. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102203>
- Entwistle, J. A., Hursthouse, A. S., Marinho Reis, P. A., & Stewart, A. G. (2019). Metalliferous Mine Dust: Human Health Impacts and the Potential Determinants of Disease in Mining Communities. *Current Pollution Reports*, 5(3), 67–83. <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00108-5>
- FDA. (2023). *Full Text of the Food Safety Modernization Act (FSMA)*. <https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma/full-text-food-safety-modernization-act-fsma>
- Garnett, S. T., Burgess, N. D., Fa, J. E., Fernández-Llamazares, Á., Molnár, Z., Robinson, C. J., Watson, J. E. M., Zander, K. K., Austin, B., Brondizio, E. S., Collier, N. F., Duncan, T., Ellis, E., Geyle, H., Jackson, M. V., Jonas, H., Malmer, P., McGowan, B., Sivongxay, A., & Leiper, I. (2018). A spatial overview of the global importance of Indigenous lands for conservation. *Nature Sustainability*, 1(7), 369–374. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0100-6>

- Hill, K. X., Johnston, L. J., Blue, M. R., Probst, J., Staecker, M., & Jennings, L. L. (2024). Rematriation and climate justice: Intersections of indigenous health and place. *The Journal of Climate Change and Health*, 18, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2024.100314>
- Huang, M., Tong, D., Lee, P., Pan, L., Tang, Y., Stajner, I., Pierce, R. B., McQueen, J., & Wang, J. (2015). Toward enhanced capability for detecting and predicting dust events in the western United States: The Arizona case study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(21), 12595–12610. <https://doi.org/10.5194/acp-15-12595-2015>
- Huston, R., Chan, Y. C., Gardner, T., Shaw, G., & Chapman, H. (2009). Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks. *Water Research*, 43(6), 1630–1640. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.045>
- Kailey Broussard. (2019, October 26). *Two weeks into strike against Asarco, contract talks at a standstill*. Cronkite News - Arizona PBS. <https://cronkitenews.azpbs.org/2019/10/25/twoweeks-into-strike-against-asarco-contract-talks-at-a-standstill/>
- Kaufmann, D. B., Palawat, K., Sandhaus, S., Buxner, S., McMahon, E., & Ramírez-Andreotta, M. D. (2023). Communicating environmental data through art: The role of emotion and memory in evoking environmental action. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02459-3>
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. (Nil), Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J. I., Breyse, P. N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A. M., Cropper, M. L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., ... Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
- Leonard, K., David-Chavez, D., Smiles, D., Jennings, L., Alegado, R. 'Anolani, Maniowabi, J., Arsenault, R., Begay, R. L., & Davis, D. D. (2023). Water Back: A Review Centering Rematriation and Indigenous Water Research Sovereignty. 16(2).
- Lerner, S. (2010). *Sacrifice Zones: The Front Lines of Toxic Chemical Exposure in the United States*. MIT Press.
- Mbilinyi, B. P., Tumbo, S. D., Mahoo, H. F., Senkondo, E. M., & Hatibu, N. (2005). Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(11–16), 792–798. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.022>
- Moses, A., McLain, J. E. T., Kilungo, A., Root, R. A., Abrell, L., Buxner, S., Sandoval, F., Foley, T., Jones, M., & Ramírez-Andreotta, M. D. (2022). Minding the gap: Sociodemographic factors linked to the perception of environmental pollution, water harvesting infrastructure, and gardening characteristics. *Journal of Environmental Studies and Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s13412-022-00769-7>
- Moses, A., Ramírez-Andreotta, M. D., McLain, J. E. T., Cortez, L. I., & Kilungo, A. (2023). Assessing the impact of rainwater harvesting infrastructure and gardening trends on microbial indicator organism presence in harvested rainwater and garden soils. *Journal of Applied Microbiology*, 134(6), lxad110. <https://doi.org/10.1093/jambio/lxad110>
- Nappier, S., & Bone, T. (2012). 2012 Recreational Water Quality Criteria. US EPA.
- NativeLand.ca. (2024). Native-Land.ca - Our Home on Native Land. <https://native-land.ca/>
- Nine-month strike ends for Local 627 ASARCO workers. (2020, August 25). International Brotherhood of Boilermakers. <https://boilermakers.org/news/headlines/nine-month-strike-ends-for-local-627-asarco-workers>
- Palawat, K., Root, R. A., Cortez, L. I., Foley, T., Carella, V., Beck, C., & Ramírez-Andreotta, M. (2023a). Dissolved arsenic and lead concentrations in rooftop harvested rainwater: Community generated dataset. *Data in Brief*, 48, 109255. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109255>
- Palawat, K., Root, R. A., Cortez, L. I., Foley, T., Carella, V., Beck, C., & Ramírez-Andreotta, M. D. (2023b). Patterns of contamination and burden of lead and arsenic in rooftop harvested rainwater collected in Arizona environmental justice communities. *Journal of Environmental Management*, 337, 117747. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117747>
- Patra, A. K., Gautam, S., & Kumar, P. (2016). Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation—A review. *Environmental Technology & Innovation*, 5, 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.04.002>
- Pearson, A. L., Mayer, J. D., & Bradley, D. J. (2015). Coping with Household Water Scarcity in the Savannah Today: Implications for Health and Climate Change into the Future. *Earth Interactions*, 19(8), 1–14. <https://doi.org/10.1175/EI-D-14-0039.1>
- Phillips, J. (2016). Climate change and surface mining: A review of environment-human interactions & their spatial dynamics. *Applied Geography*, 74, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.07.001>
- Pieratos, N. A., Manning, S. S., & Tilsen, N. (2021). Land Back: A meta narrative to help indigenous people show up as movement leaders. *Leadership*, 17(1), 47–61. <https://doi.org/10.1177/1742715020976204>
- Poder in Action*. (2018, June 25). Poder in Action. <https://www.poderinaction.org>
- Project Harvest. (n.d.). *Be Informed. Grow Smarter*. Retrieved January 31, 2024, from <https://projectharvest.arizona.edu/>
- Radonic, L. (2019). Becoming with rainwater: A study of hydrosocial relations and subjectivity in a desert city. *Economic Anthropology*, 6(2), 291–303. <https://doi.org/10.1002/sea2.12146>

- Ramírez-Andreotta, M. D., Abrell, L., Kilungo, A., McLain, J., & Root, R. (2019). Partnering for Action: Community monitoring of harvested rainwater in underserved, rural and urban Arizona communities. *Water Resources IMPACT*, 21(2), 12–15.
- Ramírez-Andreotta, M. D., Buxner, S., & Sandhaus, S. (2023). Co-created environmental health science: Identifying community questions and co generating knowledge to support science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(8), 1657–1696. <https://doi.org/10.1002/tea.21882>
- Richardson, C. A., Swartzbaugh, L., Evans, T., & Michael, F. (2020). *Directory of Active Mines in Arizona*:
- Sandhaus, S., Ramírez-Andreotta, M. D., Kilungo, A., Wolf, A. M., Sandoval, F., & Henriquez, P. (2018). Combating Climate Injustices: An Informal Science and Popular Education Approach to Addressing Environmental Health Disparities. *Pedagogy in Health Promotion*, 4(4), 260–269. <https://doi.org/10.1177/2373379917751476>
- Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colón-González, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., ... Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245–3250.
- Silversmith, S., December 27, A. M., & 2022. (2022, December 27). Pascua Yaqui Tribe to get cultural land back. *Arizona Mirror*. <https://www.azmirror.com/2022/12/27/pascua-yaquitribe-to-get-cultural-land-back/>
- Tamaddun, K., Kalra, A., & Ahmad, S. (2018). Potential of rooftop rainwater harvesting to meet outdoor water demand in arid regions. *Journal of AridLand*, 10(1), 68–83. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0110-7>
- Tucson is giving a stretch of ancestral land back to the Tohono O'odham Nation*. (2023, April 20). *Fronteras*. <https://fronterasdesk.org/content/1844698/tucson-giving-stretch-ancestralland-back-tohono-oodham-nation>
- United Nations. (2021). *Summary Progress Update 2021: SDG 6—Water and sanitation for all | UN-Water* (p. 58) [Progress Report]. <https://www.unwater.org/publications/summaryprogress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>
- Urkidi, L., & Walter, M. (2011). Dimensions of environmental justice in anti-gold mining movements in Latin America. *Geoforum*, 42(6), 683–695. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.06.003>
- US EPA. (2015, November 30). *National Primary Drinking Water Regulations* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primarydrinking-water-regulations>
- US EPA. (2023, October). TRI Toxics Tracker. <https://edap.epa.gov/public/extensions/TRIToxicsTracker/TRIToxicsTracker.html#continue>
- US EPA, O. (2024, January 9). *Toxics Release Inventory (TRI) Program* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program>
- Velicu, I. (2020). Prospective environmental injustice: Insights from anti-mining struggles in Romania and Bulgaria. *Environmental Politics*, 29(3), 414–434. <https://doi.org/10.1080/09644016.2019.1611178>
- Villagómez-Márquez, N., Abrell, L., Foley, T., & Ramírez-Andreotta, M. D. (2023). Organic micropollutants measured in roof-harvested rainwater from rural and urban environmental justice communities in Arizona. *Science of The Total Environment*, 876, 162662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162662>
- White, R. (2013). Resource Extraction Leaves Something Behind: Environmental Justice and Mining. *International Journal for Crime, Justice and Social Democracy*, 2(1), 50–64. <https://doi.org/10.5204/ijcsd.v2i1.90>



THE UNIVERSITY OF ARIZONA

Cooperative Extension

AUTHORS

KUNAL PALAWAT

Ph.D. Candidate, Environmental Science

DR. LEIF ABRELL

Associate Research Professor, Environmental Science

CHRIS JONES

Interim Director, Coconino County Extension
Agent, Agriculture Natural Resources, Gila County

DR. AMINATA KILUNGO

Associate Professor of Practice, Mel and Enid Zuckerman College of Public Health

DR. JEAN E.T. McLAIN

Associate Dean, Faculty Advancement
Professor, Environmental Science
Specialist, Environmental Science

DR. ROB ROOT

Associate Research Professor, Environmental Science

DR. MÓNICA RAMÍREZ-ANDREOTTA

Associate Professor, Environmental Science and Mel and Enid Zuckerman College of Public Health

CONTACT

DR. MÓNICA RAMÍREZ-ANDREOTTA

mdramire@arizona.edu

This information has been reviewed

by University faculty.

extension.arizona.edu/pubs/az2112S-2025.pdf

SPANISH TRANSLATIONS PROVIDED BY

Maria Del Rocio Estrella Sanchez

Other titles from Arizona Cooperative Extension

can be found at:

extension.arizona.edu/pubs