



# Presencia de plaguicidas en agua potable y subterránea en la península de Azuero

## Occurrence of pesticides in drinking water and groundwater in the Azuero Peninsula

Yovelis Sandoval-Moreno<sup>1\*</sup>, Stephanie Espinosa<sup>2</sup>, Rosa Elena Caballero<sup>3</sup>, Heriberto Franco<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad Alimentaria, Universidad Autónoma de Chiriquí, David, Panamá.

<sup>2</sup> Promoción Médica, S.A, Panama City, Panama.

<sup>3</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Autónoma de Chiriquí.

<sup>4</sup> Instituto interdisciplinario de investigación e innovación (i-4), Parque Científico y Tecnológico, Universidad Autónoma de Chiriquí, David, Panama.

\*Autor de correspondencia: [yovelis.sandoval@unachi.ac.pa](mailto:yovelis.sandoval@unachi.ac.pa)

**RESUMEN.** La agricultura moderna se apoya en el uso de plaguicidas para incrementar la producción de alimentos y satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento. Sin embargo, el uso inadecuado de plaguicidas puede tener un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos, ya que pueden ingresar a las aguas superficiales o filtrarse en las aguas subterráneas. Esto plantea un riesgo para la salud pública, puesto que estos compuestos son persistentes y móviles en las fuentes de agua utilizadas para la producción de agua potable. En este contexto, se realizó una investigación en la península de Azuero, con el objetivo de analizar muestras de agua potable y subterráneas que son utilizadas para consumo. Las muestras se recolectaron durante la temporada de lluvias en septiembre de 2022 y la temporada seca en abril de 2023. Se aplicó el Método EPA 525.2 para detectar 17 plaguicidas utilizando extracción en fase sólida (SPE) y cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Los resultados indicaron la presencia de pendimetalina, atrazina y su metabolito atrazina-desetil en concentraciones bajas en muestras de agua potable en los distritos de La Villa de Los Santos y Parita, así como en aguas subterráneas en Santa María. Sin embargo, las concentraciones detectadas estuvieron por debajo de los límites permitidos según la normativa panameña (Reglamento Técnico DGNTI – COPANIT 21-2019) para el agua potable.

**Palabras clave.** Abastecimiento de agua, calidad ambiental, cromatografía de gases, extracción en fase sólida, recursos hídricos, residuos de plaguicidas.

**ABSTRACT.** Modern agriculture relies on the use of pesticides to increase food production and meet the needs of a growing population. However, inappropriate use of pesticides can have a significant impact on aquatic ecosystems, as they can enter surface waters or leach into groundwater. This poses a risk to public health since these compounds are persistent and mobile in water sources used for drinking water production. In this context, an investigation was carried out in the Azuero peninsula, to analyze samples of drinking water and groundwater used for consumption. Samples were collected during the rainy season in September 2022 and the dry season in April 2023. EPA Method 525.2 was carried out to detect 17 pesticides using solid phase extraction (SPE) and gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The results indicated the presence of pendimethalin, atrazine, and its metabolite atrazine-desethyl at low concentrations in drinking water samples in the districts of La Villa de Los Santos and Parita, as well as in groundwater in Santa María. However, the concentrations detected were below the permissible limits according to Panamanian regulations (Technical Regulation DGNTI - COPANIT 21-2019) for drinking water.

**Keywords.** Water supply, environmental quality, gas chromatography, solid phase extraction, water resources, pesticide residues.

**Citación:** Y. Sandoval, S. Espinosa, R. Caballero y H. Franco, "Presencia de plaguicidas en agua potable y subterránea en la península de Azuero", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 2, pp. (0), 2024.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 17 de noviembre de 2023. **Recibido con correcciones:** 7 de marzo de 2024. **Aceptado:** 7 de marzo de 2024.

**DOI:** <https://doi.org/10.33412/idt.v20.2.4054>

**Copyright:** 2024 Y. Sandoval, S. Espinosa, R. Caballero y H. Franco. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

## 1. Introducción

Las actividades agrícolas dependen del uso de agroquímicos, que han duplicado la producción de alimentos para satisfacer las crecientes necesidades alimentarias de la población. Esto ha llevado al uso intensivo de diferentes tipos de agroquímicos en los cultivos, incluidos los plaguicidas, para controlar las malas hierbas, los insectos, los hongos y las plagas [1]–[4].

El uso continuo e inadecuado de plaguicidas tiene un riesgo a largo plazo de acumulación de residuos en suelos y cultivos, causando desequilibrios ambientales, contaminando diferentes matrices ecológicas como suelos, aguas subterráneas, aire y aguas superficiales, impactando directamente en la salud animal y humana [5]–[7]. Además, varios procesos pueden movilizar los plaguicidas de las tierras de cultivo a zonas no agrícolas, como las escorrentías, la deriva de la pulverización y el drenaje, lo que puede plantear graves problemas para los procesos de tratamiento del agua, ya que las aguas superficiales y subterráneas cercanas a los asentamientos humanos son las principales fuentes de agua potable [8]–[12].

El tratamiento de agua utilizado para producir agua potable debe garantizar la eliminación de este tipo de sustancias o reducir su concentración por debajo de los niveles máximos permitidos de acuerdo con las normativas vigentes [13].

A medida que el uso de agroquímicos ha ido aumentando, se ha incrementado las investigaciones para determinar las concentraciones de estos en matrices acuosas y sedimentos, con el fin de encontrar el origen de la contaminación [14].

La toxicidad y la liberación de plaguicidas en el ecosistema requieren grandes medidas para evitar riesgos inaceptables en el medio ambiente y la salud humana [11]. La exposición de los seres humanos a los plaguicidas está relacionada con el destino y la distribución de los plaguicidas entre todos los componentes del medio ambiente [15]. A pesar de la gran importancia de los plaguicidas para la protección de los cultivos parte de ellos tienden a bioacumularse en la membrana celular humana, lo que interrumpe el sistema de funcionamiento del organismo [16].

La exposición a plaguicidas a través de la ingestión de agua puede causar efectos gastrointestinales y neurológicos, tener efectos cancerígenos, actuar como

disruptores endocrino alterando el equilibrio hormonal y desencadenando problemas reproductivos [17], [18].

En Latinoamérica diferentes estudios han reportado la presencia de plaguicidas en cuencas de la región. Por citar solo algunos ejemplos, en Argentina se ha encontrado la presencia residuos de los plaguicidas glifosato, AMPA, atrazina, tebuconazol y dietiltoluamida, como resultado de actividades agrícolas como la horticultura [19]–[21]. En Chile los compuestos que se ha reportado en cuerpos de aguas son la atrazina, atrazina-2-hidroxi, ciprodinil, el pirimetanil y el tebuconazol [22]. En Costa Rica se han detectado concentraciones considerables de dimetoato, propanil, diurón, terbutrina, carbendazim y endosulfán en muestras de agua provenientes de zonas de cultivo de arroz y caña de azúcar [23].

Panamá no se escapa de esta problemática, uno de los casos más recordados es el ocurrido con el herbicida atrazina en la Región de Azuero. En 2014, durante 10 días, las autoridades prohibieron el consumo de agua de grifo a los pobladores de los distritos de Chitré, Las Tablas, Guararé y La Villa, y debido a que se encontró que la presencia de atrazina era de aproximadamente 40 ppb, en ese momento era una concentración muy por encima de los valores permitidos según OMS (2 ppb) y EPA (3 ppb) [24], [25].

Alrededor del mundo se han estado incorporando regulaciones con la finalidad de proteger a las personas de los riesgos para la salud producto del agua contaminada con plaguicidas, de modo que se han establecido niveles máximos de concentración que especifican la concentración máxima permitida de plaguicidas en el agua potable [7]. En Panamá se cuenta con el Reglamento Técnico DGNTI – COPANIT 21-2019 sobre definiciones y requisitos generales del agua potable, que establece los valores permitidos para la lista de plaguicidas mostrados en la tabla 3. En el reglamento mencionado, la frecuencia de muestreo para el monitoreo de plaguicidas en agua potable está dado en función de la cantidad de habitantes que se abastecen de la fuente, siendo una vez por año la frecuencia mínima [26].

**Tabla 1.** Parámetros establecidos para plaguicidas en el Reglamento Técnico DGNT – COPANIT 21-2019 y las Guías para la calidad del agua de consumo humano.

Plaguicida	VP (mg/L)	Plaguicida	VP (mg/L)
Aldicarb <sup>†‡</sup>	0.01	Clorotolurón <sup>‡</sup>	0.03

Atrazina y sus metabolitos clorotriazina <sup>†‡</sup>	0.1	Carborán <sup>‡</sup>	0.007
Hidroxiatrazina <sup>†‡</sup>	0.2	Molinato <sup>‡</sup>	0.006
Clorpirifos <sup>†‡</sup>	0.03	Simazina <sup>‡</sup>	0.002
DDT y metabolitos <sup>†</sup>	0.001	Lindano <sup>‡</sup>	0.002
Dimetoato <sup>†‡</sup>	0.006	Alaclor <sup>‡</sup>	0.02
Pendimetalina <sup>†‡</sup>	0.02	Endrín <sup>‡</sup>	0.0006
Metoxiclor <sup>‡</sup>	0.02	Terbutilazina <sup>‡</sup>	0.007
Isoproturón <sup>‡</sup>	0.009	Metolaclor <sup>‡</sup>	0.01

VP: valor máximo permitido

Fuente: (†) Plaguicidas dentro del Decreto No. 28777-B sobre La Normativa COPANIT 21-2019 [26]. (‡) Plaguicidas dentro de las Guías para la calidad del agua de consumo [27].

Para comprender mejor la situación actual de la contaminación del agua debido al uso de plaguicidas, es esencial generar información sobre su presencia real [28]. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la presencia de plaguicidas en muestras de agua potable y subterránea en La Península de Azuero.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Reactivos, estándares y materiales

Los patrones analíticos de atrazina-desetil, carbofurán, molinato, simazina, endrín, metoxiclor, clortolurón, isoproturón, atrazina-desisopropil, metolaclor, dimetoato, y los materiales de referencia certificados de terbutilazina, clorpirifos, atrazina, lindano, alaclor y pendimetalina se obtuvieron de Sigma-Aldrich. Todos los estándares tenían una pureza superior al 97,0% y se utilizaron tal como se recibieron.

El metanol y el acetato de etilo de grado cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC); y el diclorometano de grado cromatografía de gases MS se suministraron de Merck (Darmstadt, Alemania). Las disoluciones madre de cada plaguicida (1000 mg/L) se prepararon individualmente en acetato de etilo y se almacenaron a 4 °C. Las disoluciones de trabajo se prepararon diluyendo las disoluciones madre con acetato de etilo y se conservaron a 4 °C.

Otros reactivos (ácido clorhídrico, sulfito de sodio y sulfato de sodio anhidro) utilizados en la recolección de muestras y en los procedimientos de extracción en fase sólida se obtuvieron de Merck (Darmstadt, Alemania). Los cartuchos de extracción en fase sólida Supelclean™ ENVI™-18 SPE (6 mL, 1 g) se adquirieron de Sigma-Aldrich. El agua purificada se obtuvo mediante un

sistema de purificación Milli-Q Plus (Millipore, Billerica, MA, EE. UU.).

### 2.2 Condiciones instrumentales del GC – MS

Los plaguicidas multiresiduo se analizaron utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu QP2010 (Kyoto, Japón) acoplado a un espectrómetro de masas de cuadrupolo simple con un autoinyector AOC-20i. Las separaciones cromatográficas óptimas se realizaron en una columna capilar de sílice fundida Restek Rtx-5MS (5% difenil 95% dimetil polisiloxano, 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm).

Se utilizó helio como gas portador con un flujo de 0,85 mL/min. El volumen de inyección fue de 1 µL en el modo sin división con una relación de división de 50:10. La temperatura del inyector fue de 225 °C. El programa de temperatura del horno de la columna comenzó a 85 °C, aumentó a 140 °C a una velocidad de 4 °C/min, luego aumentó a 160 °C durante 1 minuto a 3 °C/min y, por último, a 260 °C durante 4 min a 4 °C/min.

Los espectros de impacto de electrones (EI) se obtuvieron a +70 eV de m/z 60 a 400. Las temperaturas de la fuente de iones y de la interfase se fijaron en 200 y 250 °C, respectivamente. Cada plaguicida se analizó en modo de monitoreo selectivo de iones (SIM) utilizando un ion m/z objetivo para la cuantificación y dos iones m/z calificadores como iones de confirmación, los iones seleccionados para cada plaguicidas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Iones seleccionados para cada analito y el tiempo de retención de los plaguicidas de interés.

Plaguicida	Ion objetivo	Iones calificadores	Tiempo de retención (min)
Isoproturón	146.00	128/161	9.022
Clorotolurón	132.00	167/104	9.312
Molinato	126.00	83/187	18.427
Atrazina-desisopropil	145.00	173/158	22.577
Atrazina-desetil	172.00	187/104	23.025
Dimetoato	87.00	93/125	25.148
Simazina	201.00	186/158	25.608
Carbofurán	164.00	149/131	25.763
Atrazina	200.00	215/92	26.018
Lindano	181.00	109/219	26.248
Terbutilazina	214.00	173/229	26.83

Alaclor	160.00	188/146	30.65
Metolaclor	162.00	238/146	32.625
Clorpirifós	97.00	197/314	32.927
Pendimetalina	252.00	162/191	34.638
Endrín	81.00	67/263	38.783
Metoxiclor	227.00	113/152	44.375

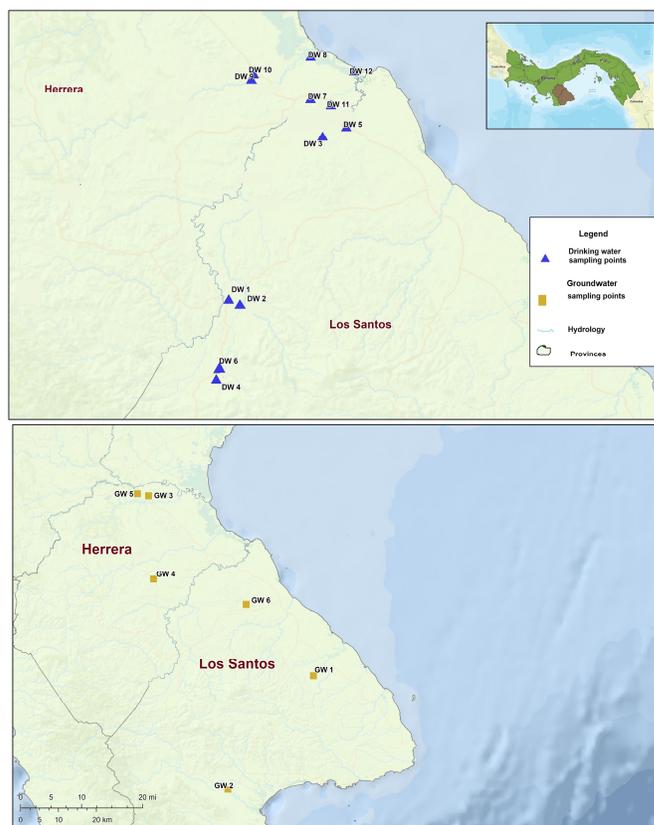
### 2.3 Área de estudio y recolección de las muestras

Panamá es un país tropical situado en la zona intertropical, cerca del Ecuador. Tiene dos estaciones bien diferenciadas en ausencia de fenómenos climáticos: la estación lluviosa (mayo - noviembre) y la estación seca (diciembre - abril) [29].

La Península de Azuero (7°40'00"N; 80°35'00"O) es la Península más extensa del país. Abarca las provincias de Herrera, Los Santos y parte de Veraguas. La Península de Azuero tiene una precipitación total anual, moderadamente baja inferiores a 2.500 mm y es conocida como el arco seco de Panamá [30]. Los cultivos más importantes en el área de estudio son el tomate industrial, granos básicos (arroz y maíz), calabaza y melón, produciéndose también en menor proporción caña de azúcar y sandía [31].

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, tomando como área de estudio la Península de Azuero abarcando solo las provincias de Herrera y Los Santos por sus antecedentes en la detección de plaguicidas. Se realizaron campañas de monitoreo para la recolección de muestras de agua potable y subterránea para analizar los plaguicidas objetivos. Se eligieron puntos para el muestreo de agua subterránea en pozos con autorización de entrada para la toma de muestras y puntos de agua potable que abarcara la red de distribución. En esta investigación se realizaron dos campañas de muestreo, una por cada: septiembre de 2022 y abril 2023.

Se tomaron muestras de agua potable en doce puntos de muestreo pertenecientes a las redes de distribución de las cinco plantas potabilizadoras de la Península, ubicadas en los distritos de Chitré, Parita, La Villa, Macaracas y Llano de Piedra [32]. Para el estudio de las aguas subterráneas se tomaron muestras de seis pozos que son utilizados para proveer agua de consumo en la zona, las ubicaciones específica de cada sitio de muestreo se observan en la figura 1.



**Figura 1.** Localización de la zona de estudio en la Península de Azuero (Panamá), incluidos los sitios de muestreo y la hidrología. DW: agua potable; GW: agua subterránea.

Las muestras de agua (1 L) se recogieron en botellas de vidrio ámbar. En las muestras con cloro residual, se añadieron 45 mg de sulfito sódico. Las muestras se ajustaron a un pH < 2 con ácido clorhídrico 6M. Las muestras se transportaron en hielo al laboratorio y se refrigeraron a 4 °C hasta su análisis.

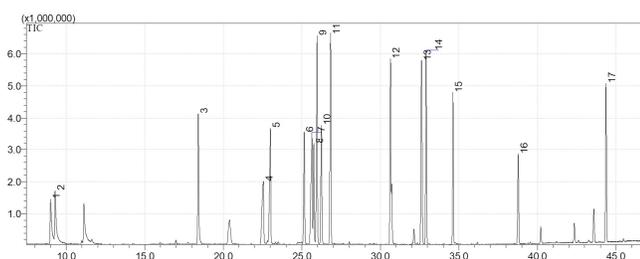
### 2.4 Preparación de las muestras y extracción de plaguicidas

La preparación y extracción de las muestras se basó en el método EPA 525.2 [33]. Para la extracción simultánea de residuos de plaguicidas, los cartuchos SPE se colocaron en un colector Vac Elut SPS 24 de Agilent (Santa Clara, CA, EE.UU.) conectado a una bomba de vacío. El cartucho de SPE Supelclean™ ENVI™-18 se acondicionó con 5 mL de metanol, seguido de 5 mL de acetato de etilo y 5 mL de agua Milli-Q. A continuación, se cargaron 500 mL de las muestras de agua en el cartucho. Después de hacer pasar toda la muestra de agua, el cartucho se secó durante 25 minutos. Los analitos se eluyeron con 5 mL de acetato de etilo y 5 mL de diclorometano. Los extractos recogidos se

concentraron, evaporando el disolvente con nitrógeno a sequedad y se resuspendieron en 1 mL de acetato de etilo. Por último, cada muestra se transfirió a viales de vidrio ámbar para su identificación y cuantificación mediante GC – MS.

### 3 Resultados y discusión

En la figura 2 se observa el cromatograma de iones totales (TIC) por GC – MS para los 17 plaguicidas de interés en un blanco de matriz de agua potable fortificado.



**Figura 2.** Cromatograma de iones totales (TIC) de los plaguicidas de interés analizados. 1: Isoproturón; 2: Clorotolurón; 3: Molinato; 4: Atrazina-desisopropil; 5: Atrazina-desetil; 6: Dimetoato; 7: Simazina; 8: Carbofurán; 9: Atrazina; 10: Lindano; 11: Terbutilazina; 12: Alaclor; 13: Metolaclor; 14: Clorpirifós; 15: Pendimetalina; 16: Endrín; 17: Metoxiclor.

A lo largo de las campañas de monitores solo se detectó la presencia de tres de los analitos de interés. En los muestreos realizados en la época lluviosa de septiembre de 2022, se detectaron en agua potable atrazina, atrazina-desetil y pendimetalina como se muestra en la tabla 3, mientras que en muestras de agua subterránea no se detectó la presencia de ningún plaguicida de interés. La atrazina-desetil se detectó en una sola muestra ubicada en el punto DW5, correspondiente a agua potable tomada en el distrito de La Villa. La pendimetalina se identificó en una muestra de agua potable obtenida del punto DW2 en el distrito de Macaracas. Se detectaron dos puntos con presencia del herbicida atrazina, uno ubicado en el sitio DW5 y en el sitio DW10 localizado en el distrito de Parita.

**Tabla 3.** Datos resumidos de las concentraciones de plaguicidas detectadas en muestras de agua (n=18) en la campaña de monitoreo de la Región de Azuero en la estación lluviosa.

Plaguicida	Número de detecciones en estación lluviosa		Cmax detectada (µg/L)
	Agua potable (n=12)	Agua subterránea (n=6)	
Isoproturón	nd	nd	<LOD

Clorotolurón	nd	nd	<LOD
Molinato	nd	nd	<LOD
Atrazina-desisopropil	nd	nd	<LOD
Atrazina-desetil	1	nd	0.28
Dimetoato	nd	nd	<LOD
Simazina	nd	nd	<LOD
Carbofurán	nd	nd	<LOD
Atrazina	2	nd	1.63
Lindano	nd	nd	<LOD
Terbutilazina	nd	nd	<LOD
Alaclor	nd	nd	<LOD
Metolaclor	nd	nd	<LOD
Clorpirifós	nd	nd	<LOD
Pendimetalina	1	nd	1.52
Endrín	nd	nd	<LOD
Metoxiclor	nd	nd	<LOD

nd: No detectado; Cmax: Concentración máxima; LOD: Límite de detección

En los muestreos realizados en la época seca de abril de 2023, solo se detectó la presencia de atrazina-desetil en agua potable y agua subterránea como se observa en la tabla 4. La atrazina-desetil se detectó en los puntos DW9 y DW10 ambos correspondientes a agua potable en el sector de Paritas y el sitio GW 5 de agua subterránea en el sector de Santa María.

**Tabla 4.** Datos resumidos de las concentraciones de plaguicidas detectadas en muestras de agua (n=18) en la campaña de monitoreo de la Región de Azuero en la estación seca.

Plaguicida	Número de detecciones en estación seca		Cmax detectada (µg/L)
	Agua potable (n=12)	Agua subterránea (n=6)	
Isoproturón	nd	nd	<LOD
Clorotolurón	nd	nd	<LOD
Molinato	nd	nd	<LOD
Atrazina-desisopropil	nd	nd	<LOD
Atrazina-desetil	2	1	0.69
Dimetoato	nd	nd	<LOD
Simazina	nd	nd	<LOD
Carbofurán	nd	nd	<LOD

Atrazina	nd	nd	<LOD
Lindano	nd	nd	<LOD
Terbutilazina	nd	nd	<LOD
Alaclor	nd	nd	<LOD
Metolaclor	nd	nd	<LOD
Clorpirifós	nd	nd	<LOD
Pendimetalina	nd	nd	<LOD
Endrín	nd	nd	<LOD
Metoxiclor	nd	nd	<LOD

nd: No detectado; Cmax: Concentración máxima; LOD: Límite de detección

Ocasionalmente, la detección de plaguicidas puede ser el resultado de operaciones inadecuadas, como derrames accidentales, llenado de pulverizadores, lavado de dosificadores, eliminación de envases de plaguicidas y residuos, lo que puede llevar a detecciones ocasionales en agua superficial y potable [34], [35].

En muestras de agua potable tomadas en septiembre, se detectaron atrazina, atrazina-desetil y pendimetalina pero en bajas concentraciones. Se produjeron fuertes lluvias y tormentas en Panamá durante este período, incluso en la Península de Azuero [29]. El efecto de dilución de las lluvias probablemente produjo las bajas concentraciones de estos plaguicidas [23].

Con los resultados de la investigación se puede observar que de forma recurrente, tanto en época seca como en época lluviosa, se han detectado metabolitos de atrazina en el distrito de Parita, lo cual podría indicar que existe algún foco de contaminación en la zona. Los sistemas convencionales de tratamiento para la producción de agua potable no están logrando degradar en su totalidad la presencia de herbicidas. En diversas investigaciones se han incorporado a los sistemas tradicionales un paso extra de ozonización para una degradación eficaz de plaguicidas, de modo que se minimice el riesgo de exposición de las personas [36], [37].

En agua subterránea solo se dio una detección en un solo sitio de muestreo, ubicado en Santa María. Esta zona en específico está caracterizada por la siembra de caña de azúcar. Las contaminaciones en agua subterránea son producto del uso de agroquímicos de manera prolongada en el tiempo, como lo es esta zona agrícola de Santa María. Se han señalado muchos factores importantes que controlan la aparición y el destino de la atrazina en el medio receptor, entre ellos las condiciones del medio receptor en términos de pH, materia orgánica, contenido en arcilla controlan el transporte a través del subsuelo hacia las aguas subterráneas [38].

Con base en las regulaciones panameñas establecidas en el Decreto No. 28777-B, la calidad del agua potable fue buena. Los valores máximos permisibles (VP) para atrazina y atrazina-desetil son de 100 ug/L, y para pendimetalina es de 20 ug/L [26]. En la tabla 5 se observa que en todos los casos de detección, la concentración de plaguicida detectada fue inferior al VP.

**Tabla 5.** Niveles de plaguicidas detectados en comparación con los valores máximos permitidos en agua potable

Plaguicida	Matriz de detección	Cmax. (µg/L)	VP (µg/L)
Atrazina-desetil	Agua potable, agua subterránea	0.69	100
Atrazina	Agua potable	1.63	100
Pendimetalina	Agua potable	1.52	20

La disponibilidad de agua potable es un derecho básico de las personas y es necesario para mantener en equilibrio la salud pública del país. Uno de los mayores retos que tenemos como país es el acceso a la información, entre ellas incluida los parámetros de calidad del agua que la población está consumiendo.

En Panamá el desarrollo de actividades agrícolas se realiza en diferentes regiones del país, cada una de ellas siembra y cosecha diferentes rubros en épocas del año distinta, por lo que el tipo de plaguicidas utilizados y el calendario de aplicación no es el mismo. Un monitoreo con una frecuencia de una muestra por año para cada fuente de abastecimiento podría ser insuficiente para garantizar que la calidad del agua en función de plaguicidas es apta.

## 4 Conclusiones

De los 17 plaguicidas objeto de este estudio, se cuantificaron atrazina, atrazina-desetil y pendimetalina en muestras de agua potable y subterránea. La atrazina fue el plaguicida detectado con más frecuencia y en mayor concentración. En comparación, los niveles de plaguicidas detectados en muestras de agua potable cumplen la regulación panameña para la calidad del agua potable.

El distrito con mayor número de sitios en donde se detectó la presencia de plaguicidas, considerando las dos campañas de monitoreos realizadas, fue Parita, por lo que es recomendable mantener la vigilancia en el sector con una mayor frecuencia de muestreo.

Para obtener un conocimiento más completo de los parámetros de plaguicidas en las cuencas hidrográficas de la Península de Azuero, se recomienda desarrollar un programa de muestreo de mayor duración de tiempo y que incluya los plaguicidas más utilizados en la región, que no solo se limite a lo establecido por el Decreto No. 28777-B.

En futuros trabajos se espera incluir el análisis de sedimentos o lodos en los ríos estudiados, para contar con una perspectiva más amplia de la movilidad y distribución de los plaguicidas estudiados.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la SENACYT que financió este trabajo de investigación a través de su convocatoria para nuevos investigadores (APY-NI-2021-43). El proyecto está desarrollado bajo el programa de Maestría en Ciencias Químicas de la UNACHI, recibiendo el financiamiento de SENACYT. Al Laboratorio del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) por permitirnos el uso del equipo, instalaciones y recursos para la realización de este trabajo.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

**YSM** conceptualización, metodología, recolección de datos, muestreo en campo, análisis de datos, redacción del manuscrito, revisión y edición del manuscrito, visualización.

**SE** verificación del método analítico, revisión del manuscrito, visualización.

**REC** conceptualización, revisión y corrección del manuscrito, supervisión.

**HF** conceptualización, revisión y corrección del manuscrito, supervisión.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] F. P. Carvalho, "Pesticides, environment, and food safety," *Food Energy Secur.*, vol. 6, no. 2, pp. 48–60, May 2017, doi: 10.1002/FES3.108.
- [2] I. El-nahhal and Y. El-nahhal, "Pesticide residues in drinking water, their potential risk to human health and removal options," *J. Environ. Manage.*, vol. 299, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113611.
- [3] E. Papadakis, A. Tسابoula, Z. Vryzas, A. Kotopoulou, K. Kintzikoglou, and E. Papadopoulou-mourkidou, "Pesticides in the rivers and streams of two river basins in northern Greece," *Sci. Total Environ.*, vol. 624, pp. 732–743, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.074.
- [4] M. Tudi *et al.*, "Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 3, pp. 1–23, 2021, doi: 10.3390/ijerph18031112.
- [5] C. Campanale, C. Massarelli, D. Losacco, D. Bisaccia, M. Triozzi, and V. F. Uricchio, "The monitoring of pesticides in water matrices and the analytical criticalities: A review," *Trends Analyt. Chem.*, vol. 144, 2021, doi: 10.1016/j.trac.2021.116423.
- [6] M. Kapsi, C. Tsoutsis, A. Paschalidou, and T. Albanis, "Environmental monitoring and risk assessment of pesticide residues in surface waters of the Louros River (N.W. Greece)," *Sci. Total Environ.*, vol. 650, pp. 2188–2198, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.185.
- [7] Z. Li and A. Jennings, "Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water," *J. Environ. Manage.*, vol. 212, pp. 384–394, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.12.083.
- [8] M. Bundschuh, W. Goedkoop, and J. Kreuger, "Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept - Experiences from long-term measurements," *Sci. Total Environ.*, vol. 484, no. 1, pp. 84–91, 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.015.
- [9] H. Dong *et al.*, "Effective abatement of 29 pesticides in full-scale advanced treatment processes of drinking water: From concentration to human exposure risk," *J. Hazard. Mater.*, vol. 403, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123986.
- [10] N. S. Sulaiman, K. Rovina, and V. M. Joseph, "Classification, extraction and current analytical approaches for detection of pesticides in various food products," *J. Verbrauch. Lebensm.*, vol. 14, no. 3, pp. 209–221, 2019, doi: 10.1007/s00003-019-01242-4.
- [11] Z. Vryzas, C. Ramwell, and C. Sans, "Pesticide prioritization approaches and limitations in environmental monitoring studies: From Europe to Latin America and the Caribbean," *Environ. Int.*, vol. 143, no. April, 2020, doi: 10.1016/j.envint.2020.105917.
- [12] R. M. de Souza, D. Seibert, H. B. Quesada, F. de Jesus Bassetti, M. R. Fagundes-Klen, and R. Bergamasco, "Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 135, pp. 22–37, 2020, doi: 10.1016/j.psep.2019.12.035.
- [13] M. P. Ormad, N. Miguel, A. Claver, J. M. Matesanz, and J. L. Ovelleiro, "Pesticides removal in the process of drinking water production," *Chemosphere*, vol. 71, no. 1, pp. 97–106, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.10.006.

- [14] L. Agost and G. A. Velázquez, "Peri-urban pesticide contamination risk index," *Ecol. Indic.*, vol. 114, 2020, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106338.
- [15] A. Belles *et al.*, "Transfer pathways and fluxes of water-soluble pesticides in various compartments of the agricultural catchment of the Canche River (Northern France)," *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 7, Jul. 2019, doi: 10.3390/w11071428.
- [16] M. Syafrudin *et al.*, "Pesticides in drinking water-a review," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 2. MDPI AG, pp. 1–15, Jan. 02, 2021. doi: 10.3390/ijerph18020468.
- [17] I. Mugudamani, S. A. Oke, T. P. Gumede, and S. Senbore, "Herbicides in Water Sources: Communicating Potential Risks to the Population of Mangaung Metropolitan Municipality, South Africa," *Toxics*, vol. 11, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/toxics11060538.
- [18] J. Guo, W. Chen, M. Wu, C. Qu, H. Sun, and J. Guo, "Distribution, Sources, and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Water from Beiluo River, Loess Plateau, China," *Toxics*, vol. 11, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/toxics11060496.
- [19] L. L. Alonso, P. M. Demetrio, M. Agustina Etchegoyen, and D. J. Marino, "Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina," *Sci. Total Environ.*, vol. 645, pp. 89–96, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.134.
- [20] E. De Gerónimo, V. C. Aparicio, S. Bárbaro, R. Portocarrero, S. Jaime, and J. L. Costa, "Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina," *Chemosphere*, vol. 107, pp. 423–431, Jul. 2014, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2014.01.039.
- [21] T. M. Mac Loughlin, L. Peluso, and D. J. G. Marino, "Pesticide impact study in the peri-urban horticultural area of Gran La Plata, Argentina," *Sci. Total Environ.*, vol. 598, pp. 572–580, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.116.
- [22] M. J. Climent, E. Herrero-Hernández, M. J. Sánchez-Martín, M. S. Rodríguez-Cruz, P. Pedreros, and R. Urrutia, "Residues of pesticides and some metabolites in dissolved and particulate phase in surface stream water of Cachapual River basin, central Chile," *Environ. Pollut.*, vol. 251, pp. 90–101, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.ENVPOL.2019.04.117.
- [23] E. Carazo-Rojas *et al.*, "Pesticide monitoring and ecotoxicological risk assessment in surface water bodies and sediments of a tropical agro-ecosystem," *Environ. Pollut.*, vol. 241, pp. 800–809, 2018, doi: 10.1016/j.envpol.2018.06.020.
- [24] J. A. Espinosa and A. Barba, "Reseña histórica de la problemática de contaminación por agroquímicos y mecanismos de regulación en Panamá," *Visión Antataura*, vol. 2, no. 1, pp. 37–48, 2014, [Online]. Available: <https://revistas.up.ac.pa/index.php/antataura/article/view/154>
- [25] MINSA - Ministerio de Salud de la República de Panamá, "Contaminación del Río La Villa por Atrazina 2014." Accessed: Sep. 24, 2022. [Online]. Available: <https://www.minsa.gob.pa/informacion-salud/contaminacion-del-rio-la-villa-por-atrazina-2014>
- [26] Gaceta Oficial Digital, *Decreto No. 28777-B*. República de Panamá, 2019. [Online]. Available: [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28777\\_B/GacetaNo\\_28777b\\_20190520.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28777_B/GacetaNo_28777b_20190520.pdf)
- [27] OMS - Organización Mundial de la Salud, *Guías para la calidad del agua de consumo humano*, 4ta ed. Ginebra, 2018. [Online]. Available: <http://apps.who.int/>
- [28] D. Ramírez-Morales, M. E. Pérez-Villanueva, J. S. Chinpampillo, P. Aguilar-Mora, V. Arias-Mora, and M. Masís-Mora, "Pesticide occurrence and water quality assessment from an agriculturally influenced Latin-American tropical region," *Chemosphere*, vol. 262, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127851.
- [29] IMHPA - Instituto Meteorológico Hidrológico de Panamá, "Clima y climatología." Accessed: Mar. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.hidromet.com.pa/es/clima-climatologia>
- [30] L. G. de Calzadilla, "Climatología del arco seco en Panamá," *La Estrella*, Panamá, Jun. 08, 2022. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.laestrella.com.pa/cafe-estrella/planeta/220608/climatologia-arco-seco-panama>
- [31] MIDA - Ministerio de Desarrollo Agropecuario, "Cierre agrícola, año 2020-2021. Documento de actividades productivas," Panama, 2021. [Online]. Available: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/10/CIERREAGRICOLA2020-2021-modificado.pdf>
- [32] IDAAN - Instituto de Aguas y Alcantarillados Nacionales, "Plantas potabilizadoras en operación." Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: <https://sig-idaan.hub.arcgis.com/apps/0a722564d72f421798b33b902ebef781/explore>
- [33] EPA - United States Environmental Protection Agency, "Method 525.2, Revision 2.0: Determination of Organic Compounds in Drinking Water by Liquid-Solid Extraction and Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry," 1995. [Online]. Available: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [34] S. Mekonen *et al.*, "Pesticide residues in drinking water and associated risk to consumers in Ethiopia," *Chemosphere*, vol. 162, pp. 252–260, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.07.096.
- [35] X. Tang, B. Zhu, and H. Katou, "A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies," *J. Environ. Sci.*, vol. 24, no. 3, pp. 351–361, Mar. 2012, doi: 10.1016/S1001-0742(11)60753-5.
- [36] W. Hua, E. R. Bennett, and R. J. Letcher, "Ozone treatment and the depletion of detectable pharmaceuticals and atrazine herbicide in drinking water sourced from the upper Detroit River, Ontario, Canada," *Water Res.*, vol. 40, no. 12, pp. 2259–2266, 2006, doi: 10.1016/j.watres.2006.04.033.

- [37] I. M. Verstraeten, E. M. Thurman, M. E. Lindsey, E. C. Lee, and R. D. Smith, "Changes in concentrations of triazine and acetamide herbicides by bank filtration, ozonation, and chlorination in a public water supply," *J. of Hydrology*, vol. 266, 2002, [Online]. Available: [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)
- [38] H. Hertzman, "Atrazine in European groundwater: The distribution of Atrazine and its relation to the geological setting," Umeå University, Department of Ecology and Environmental Sciences, 2017.