

# Determinación de la presencia del fungicida Clorotalonil en agua potable proveniente de comunidades en Costa Rica mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

Determination of the presence of the fungicide Chlorothalonil in drinking water from communities in Costa Rica using High Resolution Liquid Chromatography (HPLC)

Priscilla Rojas-Alvarado<sup>1</sup>, Alexandra Chavarría-Chavez<sup>2</sup>, Britany Jiménez-Carmona<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 30 de mayo, 2024  
Fecha de aprobación: 17 de agosto, 2024*

Rojas-Alvarado, P; Chavarría-Chavez, A; Jiménez-Carmona, B. Determinación de la presencia del fungicida clorotalonil en agua potable proveniente de comunidades en Costa Rica mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Tecnología en Marcha. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 125-138.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7168>

- 1 Docente en Universidad de Costa Rica, Grecia, Costa Rica.  
 [priscilla.rojasalvarado@ucr.ac.cr](mailto:priscilla.rojasalvarado@ucr.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0000-0001-5640-3640>
- 2 Estudiante, Universidad de Costa Rica, Grecia, Costa Rica  
 [alexandra.chavarriachaves@ucr.ac.cr](mailto:alexandra.chavarriachaves@ucr.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0009-0007-2679-2420>
- 3 Estudiante, Universidad de Costa Rica, Grecia, Costa Rica  
 [britany.jimenez@ucr.ac.cr](mailto:britany.jimenez@ucr.ac.cr)  
 <https://orcid.org/0009-0008-9821-351X>

## Palabras Clave

Agua potable; Clorotalonil; plaguicidas; Cromatografía Líquida de Alta Resolución; análisis cualitativo.

## Resumen

En este estudio se llevó a cabo un análisis cualitativo para la determinación de la presencia del compuesto clorotalonil; reconocido por sus propiedades fungicidas, en muestras de agua potable provenientes tanto de las ASADAS o acueductos, así como de hogares ubicados en las comunidades de Cipreses, Cirrí, Palmira, Escobal y San Juan de Grecia en Costa Rica. La investigación se centró en evaluar la posible contaminación de este recurso vital por parte de este compuesto químico. Para realizar este análisis, se implementó la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), basada en la metodología establecida por Gallardo (2020), la cual permitió una detección precisa y cualitativa del clorotalonil en las muestras examinadas. Dentro de los resultados obtenidos, se comprobó la presencia de clorotalonil en cuatro de las muestras analizadas. Sin embargo, es crucial destacar que las concentraciones encontradas no fueron lo suficientemente elevadas como para ser cuantificadas de manera precisa, sugiriendo la existencia únicamente de trazas de este compuesto en el agua potable estudiada. A pesar de que estas trazas no alcanzaron niveles cuantificables, es importante recalcar que incluso pequeñas cantidades de clorotalonil pueden tener implicaciones negativas para la salud humana a largo plazo. Por lo tanto, estos hallazgos evidencian la necesidad de una vigilancia continua y medidas preventivas para garantizar la calidad y seguridad del suministro de agua potable en estas comunidades.

## Keywords

Potable water; Chlorothalonil; pesticides; High Resolution Liquid Chromatography; qualitative analysis.

## Abstract

In this study, a qualitative analysis was carried out to determine the presence of the compound chlorothalonil; recognized for its fungicidal properties, in samples of drinking water coming from both the ASADAS or aqueducts as well as from homes located in the communities of Cipreses, Cirrí, Palmira, Escobal and San Juan de Grecia in Costa Rica. The research focused on evaluating the possible contamination of this vital resource by this chemical compound. To carry out this analysis, high-performance liquid chromatography (HPLC) was implemented, based on the methodology established by Gallardo (2020), which allowed precise and qualitative detection of chlorothalonil in the samples examined. Among the results obtained, the presence of chlorothalonil was verified in four of the samples analyzed. However, it is crucial to highlight that the concentrations found were not high enough to be precisely quantified, suggesting the existence of only traces of this compound in the drinking water studied. Although these traces did not reach quantifiable levels, it is important to emphasize that even small amounts of chlorothalonil can have negative implications for human health in the long term. Therefore, these findings evidence the need for continued surveillance and preventive measures to ensure the quality and safety of the drinking water supply in these communities.

## Introducción

El suministro y disponibilidad de agua potable es fundamental para asegurar el bienestar y desarrollo humano. El agua es un nutriente esencial para la vida, por lo que contar con acceso a fuentes de agua limpia, segura y consumible permite garantizar a la población las condiciones de vida idóneas y el adecuado funcionamiento de diversas actividades; sin embargo, en muchos de los casos el agua potable no siempre cuenta con las condiciones de calidad adecuadas para el consumo humano, siendo de esta forma una amenaza para la salud [1]. La presencia de contaminantes como bacterias patógenas, compuestos químicos tóxicos, metales pesados o pesticidas en el agua potable puede comprometer la salud. La ingestión de agua contaminada y el saneamiento deficiente contribuyen a la transmisión de enfermedades como el cólera, otras enfermedades diarreicas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea, la poliomielitis y otros padecimientos que comprometen la calidad de vida [2].

La calidad y cantidad de agua potable son factores cruciales para la vida humana, haciendo esencial mantener un control adecuado de su calidad y salubridad para el bienestar humano. En Costa Rica, la contaminación del agua potable está directamente vinculada a la utilización de los recursos naturales y la gestión inadecuada de los desechos relacionados con el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y la actividad humana en general [3]. En el contexto de la agricultura, los plaguicidas son sustancias químicas diseñadas para controlar las plagas, de manera que se pueda garantizar la productividad de los cultivos. Estos productos, los cuales incluyen herbicidas, insecticidas y fungicidas, se utilizan extensamente en la industria agrícola para proteger los cultivos de enfermedades y asegurar la obtención de un producto de calidad [4]. Sin embargo, el uso excesivo y desmedido de plaguicidas ha llevado a un problema creciente y preocupante: la contaminación del agua potable como repercusión directa.

Este problema radica en las diversas maneras de aplicación y clasificación que poseen los agroquímicos como, por ejemplo: según el destino de aplicación, aspersión, acción específica, constitución química o grado de peligrosidad que posean. Por lo cual, estos ocasionan serios problemas que comprometen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y ecológicos, la biodiversidad y la calidad de vida de los seres vivos; ocasionando enfermedades, como: cáncer, abortos y malformaciones. Además, debido a su uso desmedido se contaminan los suelos y recursos hídricos allegados a las zonas de aplicación [5].

En la actualidad, el aumento en la demanda global y la producción de alimentos a gran escala ha impulsado el uso intensivo de plaguicidas que aseguren la protección de los cultivos. Este exceso conlleva a la acumulación de residuos agroquímicos, los cuales se degradan lentamente, distribuyéndose en el ambiente, y aún en niveles bajos pueden causar daños a la salud humana y la vida silvestre debido a su naturaleza tóxica, cancerígena, mutagénica y teratogénica [6]. Este problema plantea desafíos significativos no sólo para la conservación del medio ambiente sino también para la sostenibilidad agrícola y la preservación de la salud humana.

Este estudio se centra específicamente en el clorotalonil, el cual se clasifica como un fungicida; los fungicidas son sustancias diseñadas para prevenir el crecimiento o eliminar hongos y mohos perjudiciales para los seres vivos [7]. Por otra parte, los fungicidas “no solamente se refiere a un producto que tiene la capacidad de destruir hongos” [8], puesto que incluye a otros compuestos capaces de ser resistentes a la planta huésped o que adicionalmente transforman el medio ambiente en un lugar inadecuado para el desarrollo y crecimiento del organismo infeccioso.

Ahora bien, los fungicidas se mueven dentro de los tejidos de la planta para afectar los procesos biológicos vitales en el ciclo de vida del fitopatógeno, según esta interacción estos pueden agruparse en: Protectantes (contacto) y Sistémicos (localizados o mesostémicos) [9]. Como se menciona previamente, el fungicida de interés para la presente investigación en

aguas potables es el clorotalonil, perteneciente a la familia de los clorofenoles, que se adhieren a grupos sulfhidrilo y mercaptanos y es clasificado como fungicida de contacto de amplio espectro, el cual puede ocasionar diversas afecciones a los mamíferos, incluyendo mutaciones, toxicidad crónica, reacciones alérgicas y potencial carcinogénico al contacto prolongado [10].

El clorotalonil es un compuesto aromático policlorado con actividad fungicida protectora, de aplicación foliar, de acuerdo con [11] se usa en el control de la Sigatoka negra en cultivos de plátano y banano; sin embargo, también se menciona que se puede utilizar en infestaciones bacterianas en diversos cultivos, esto lo respalda el estudio de [12], en el cual se encontró que el tercer plaguicida más utilizado en el cultivo de papas en Pacayas, Cartago, Costa Rica fue el clorotalonil. Ahora bien, es importante mencionar que este fungicida contiene metabolitos que pueden ser tóxicos lo cual hace que su uso presente efectos adversos en el ambiente [11].

Por tanto, este compuesto se vuelve tóxico para seres vivos en los medios acuáticos, donde al ser un organofosforado presenta una toxicidad aguda [12]. Además, el clorotalonil posee una vida media de 5 a 15 días en suelos inundados y una vida media por fotólisis en superficies de agua de 65 días; presentando baja solubilidad en agua. En humanos, el clorotalonil puede ocasionar irritación (nariz, garganta y pulmones), dermatitis, riesgo de lesión ocular, problemas gastrointestinales y puede considerarse un posible carcinógeno [12] [13]. Por lo cual, su concentración según el Reglamento de la Calidad del Agua no puede sobrepasar los 0,1 µg/L [14].

Para efectos del estudio, se implementará el método de análisis de clorotalonil por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la cual es una de las técnicas de cromatografía más utilizadas en la determinación de plaguicidas debido a su capacidad de separar analitos de distinta naturaleza presentes en una mezcla y su versatilidad. En el método participan la fase móvil, la fase estacionaria y la muestra de interés [15]. La separación se logra al trasladar la muestra inyectada a través de la fase estacionaria utilizando la fase móvil líquida, donde las fuerzas químicas y físicas actúan en la mezcla y las fases, determinando el tiempo de retención y la separación de cada componente. A medida que la muestra se desplaza en la fase estacionaria, los componentes con mayor afinidad a esta fase se desplazarán más lentamente en comparación con aquellos que muestran menor afinidad por la fase estacionaria. La afinidad de cada sustancia desempeña un papel crucial, ya que influyen directamente en la velocidad y el momento en que cada componente se eluye de la fase [15].

En relación con lo mencionado, el objetivo de este estudio es determinar la presencia del clorotalonil en muestras de agua potable en distintas zonas de Costa Rica por medio de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), con la finalidad de establecer la presencia de este fungicida en diferentes áreas de abastecimiento de agua en el país.

## Materiales y Métodos

Se toma como referencia el método utilizado por [16], para la determinación de plaguicidas en aguas por medio de técnicas cromatográficas.

### Muestreo

**Tipo de muestreo:** Muestreo puntual o discreto.

**Localización del muestreo:** Cinco distritos (Escobal de Atenas, Cirrí de Naranjo, Cipreses de Cartago, San Juan de Grecia y Palmira de Zarcero), estas zonas se eligen debido a que se encuentran cercanas a sitios de producción agrícola (Figura 1), se toma una muestra en la

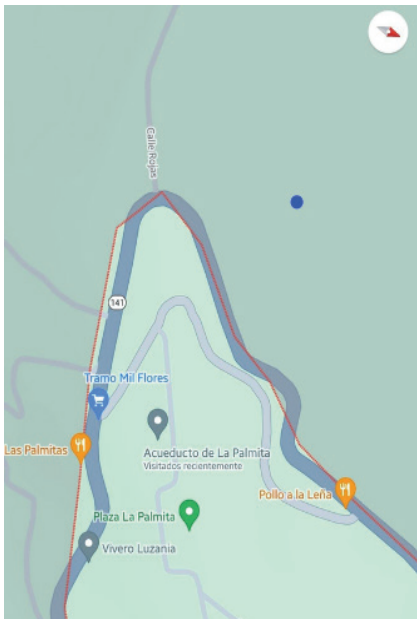
ASADA o en el acueducto y otra muestra en una casa de habitación (al azar) de la comunidad, en la Figura 1 se observan los puntos de las ASADAS o acueductos y se denota con puntos azules para los puntos de recolección en las casas de habitación.

**Recolección de la muestra:** Se realiza la recolección de 10 muestras de 500 mL de agua potable, dos muestras por cada zona de muestreo, en botellas de vidrio oscuros previamente homogeneizadas.

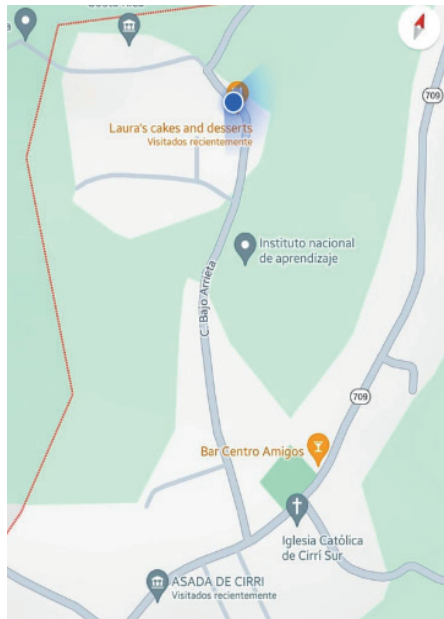
**Preservación de muestra:** Las muestras se colocan en una cámara de frío, manteniendo una temperatura promedio inferior a 4°C hasta el momento de su análisis, para esto se utilizaron hieleras desde el punto de muestreo hasta su transportación al laboratorio de ensayo.

**Localización de los análisis:** Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química del Recinto de Tacares de la Universidad de Costa Rica.

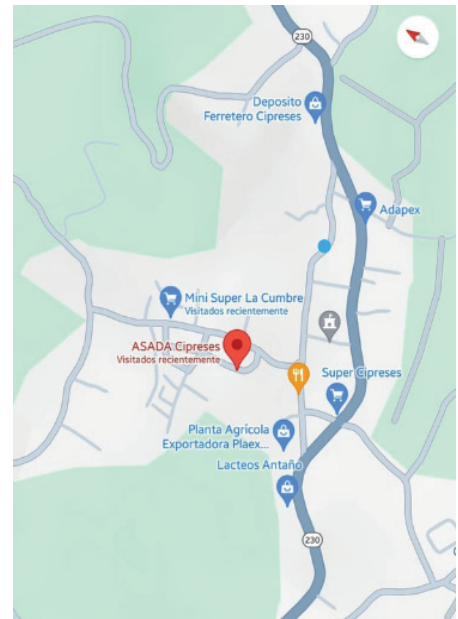
**Instrumento utilizado:** Cromatógrafo HPLC marca Thermo Scientific UltiMate 3000 Series.



(a)



(b)



(c)



**Figura 1.** Disposición geográfica de los puntos de muestreo de aguas potables. (a) Puntos de muestreo en Palmira. (b) Puntos de muestreo en Cirrí. (c) Puntos de muestreo en Cipreses. (d) Puntos de muestreo en Grecia. (e) Puntos de muestreo en Escobal. (f) Puntos de muestreo en Tacares.

#### Procedimiento para la preparación de la curva de calibración de Clorotalonil

Se prepara una solución madre de Clorotalonil a 1000 mg/L a partir de un estándar sólido y se afora con acetonitrilo grado HPLC.

Se prepara una solución intermedia a 10mg/L a partir de la solución madre de 1000 mg/L.

Se prepara, a partir de la solución intermedia, un estándar, cuya concentración es de 0,1 mg/L.

#### Condiciones de trabajo para el equipo (HPLC)

Para esta investigación, se utilizó el equipo HPLC marca Thermo Scientific UltiMate 3000 Series, se utiliza fase reversa bajo las siguientes condiciones:

**Cuadro 1.** Condiciones para el uso del equipo HPLC

Tipo de cromatografía	Fase reversa
Columna	C-18, 250 x 4.6 mm, 5µm
Temperatura	Ambiente
Detector	Arreglo de diodos
Longitud de onda	231 nm
Bomba	Cuaternaria
Fase móvil	Acetonitrilo/Agua 70:30
Flujo	1 mL/min
Volumen de inyección	20 µL
Inyector	Automático



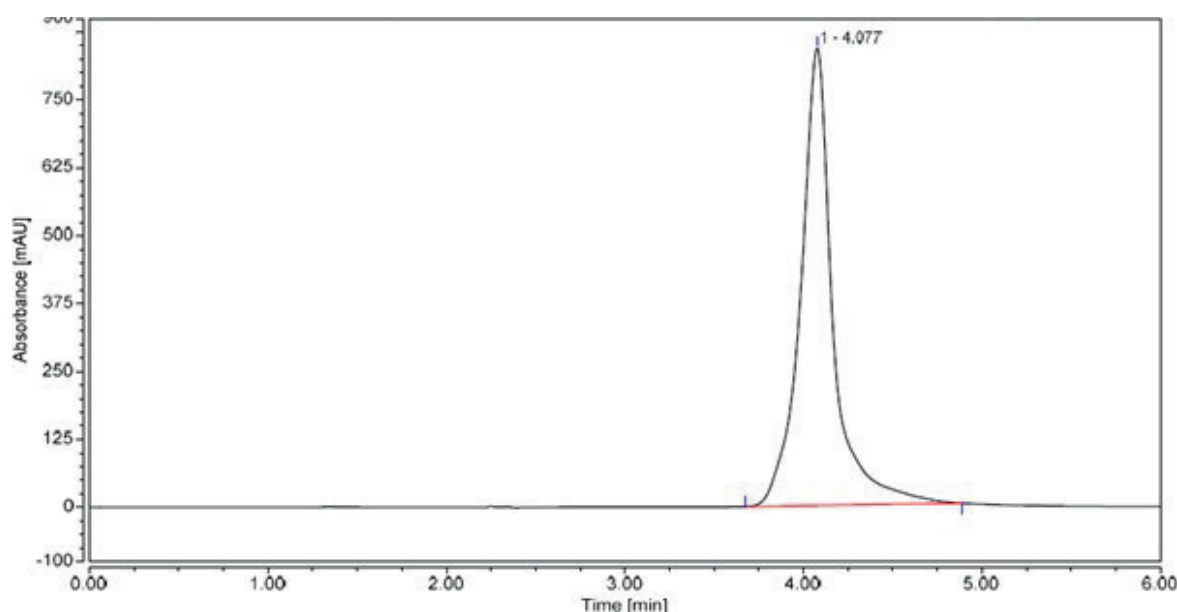
## Análisis de las muestras

Se traspasan las muestras a tubos de ensayo graduados y se realiza un lavado del balón con pequeñas cantidades de metanol, los enjuagues se dejan en tubos de ensayo graduados llegando a un volumen no superior a los 7 mL. Los tubos de ensayos se llevan a baño maría a 30°C y se les pasa nitrógeno gaseoso, esto con el fin de evaporar los restos de solvente orgánico. Las muestras se llevan a un volumen aproximado de 2 mL para luego ser trasvasadas a matraces de aforo de 5 mL, se guardan en viales de vidrio y se inyectan en el equipo.

## Resultados y discusión

El análisis de clorotalonil en aguas potables provenientes de ASADAS se realizó de manera cualitativa mediante una comparación de los cromatogramas realizados con los picos presentados en las muestras, donde un análisis cualitativo como [17] indican, es un sistema de medida de respuesta rápida del tipo SI/NO y puede responder a distintas situaciones: presencia/ausencia de un determinado analito en una muestra. Se analizaron inicialmente cinco patrones para determinar el tiempo de retención del clorotalonil, el promedio obtenido de los tiempos de retención fue de 4.068 min, los valores obtenidos fueron desde 4.060 a 4.077 min.

Ahora bien, este análisis se realizó para comparar adecuadamente mediante la variable del tiempo de retención si existe presencia o no del analito en las muestras analizadas. En la Figura 2 se observa el cromatograma para uno de estos patrones estudiados, en este se observa una señal con un tiempo de retención de 4.077 min. Tal como se mencionó anteriormente, el promedio del tiempo de retención fue de 4.068 min; por tanto, este es el tiempo que se toma de referencia para realizar la comparación con las muestras estudiadas en esta investigación; no obstante, si el tiempo de retención obtenido para las muestras coinciden en los dos primeros dígitos con el tiempo de retención de referencia, se evidencia que la señal corresponde al fungicida.



**Figura 2.** Patrón de comparación del tiempo de retención del clorotalonil.

Con respecto al análisis de las muestras se obtuvieron mayormente señales bajas; razón por la cual el análisis se mantuvo de carácter cualitativo, por tanto, en el Cuadro 2 se presentan los tiempos de retención obtenidos para cada una de las muestras analizadas, en este se puede observar que se encontró la presencia del clorotalonil en cuatro de las muestras estudiadas, específicamente se encontró el analito de interés en la muestra proveniente de una casa en la zona de Cirrí ( $Tr = 4.000$  min), también se encontró en la muestra proveniente de una ASADA en la zona de Grecia ( $Tr = 4.027$  min), seguidamente se encontró en la muestra proveniente de una ASADA en la zona de Palmira ( $Tr = 4.073$ ) y finalmente, se encontró la presencia de clorotalonil en la muestra proveniente de una casa en la zona de Cipreses ( $Tr = 4.037$  min).

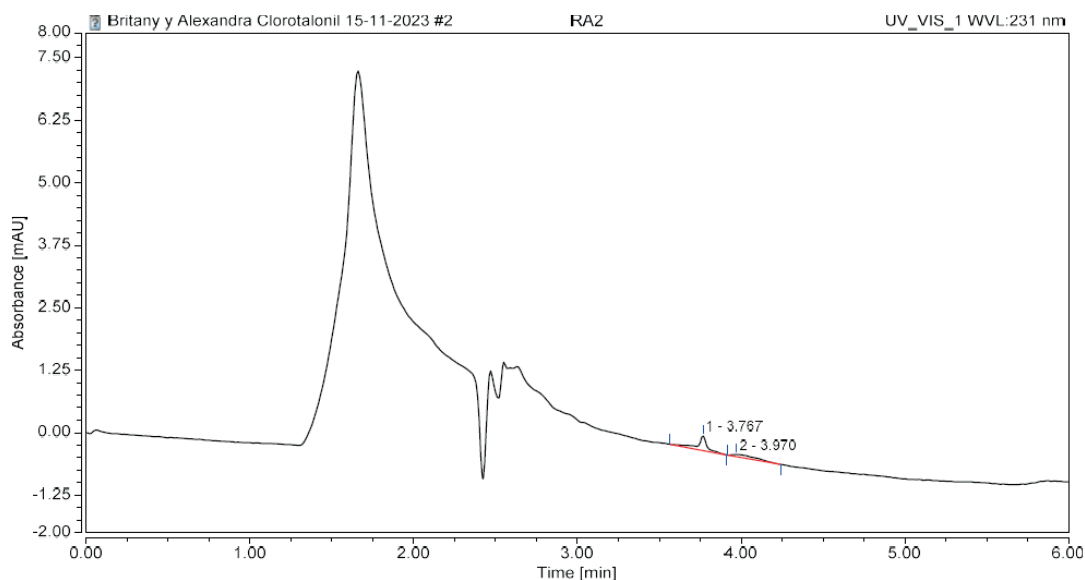
**Cuadro 2.** Tiempo de retención obtenido para las muestras analizadas

Lugar	Zona proveniente	Tiempo de retención (min)
Escobal	ASADA	3.980
Escobal	Casa	3.643
Cirrí	ASADA	3.970
Cirrí	Casa	4.000
Grecia	Acueducto	4.027
Grecia	Casa	3.773
Palmira	Acueducto	3.043
Palmira	Casa	4.073
Cipreses	ASADA	3.997
Cipreses	Casa	4.037

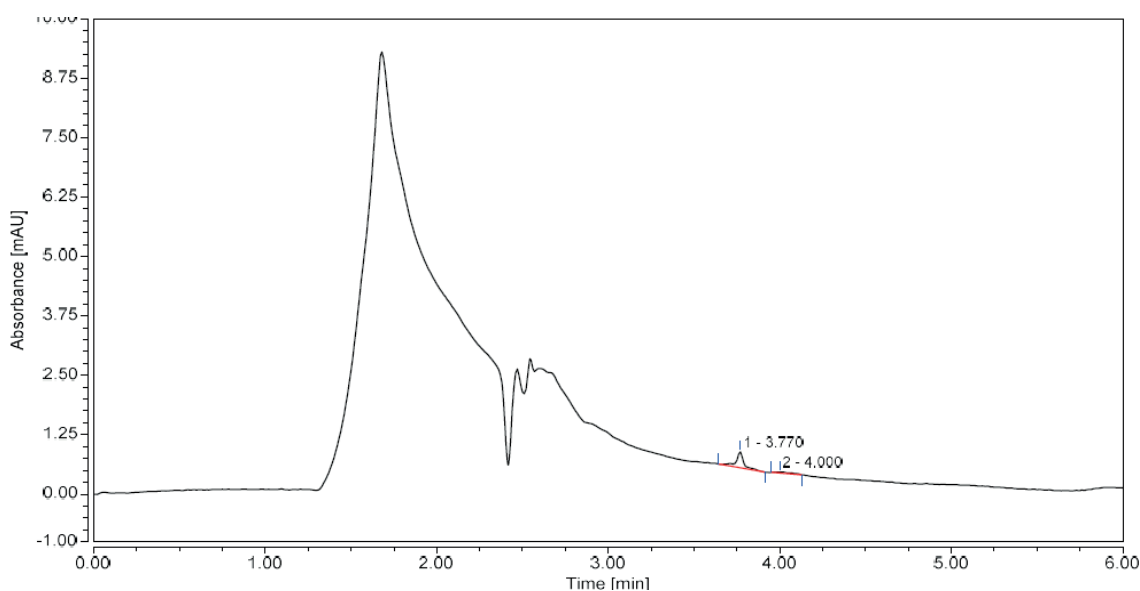
En relación con lo anterior se puede observar en la Figura 3, las señales obtenidas para las muestras de agua potable obtenidas de la zona de Cirrí, en esta se observa que para la zona de casa en la Figura 3 (b) el tiempo de retención obtenido fue de 4.000 min lo cual evidencia que existe presencia del clorotalonil, adicionalmente en la muestra tomada en la ASADA (Figura 3 (a)) se observa una señal en el minuto 3.970, este tiempo se encuentra muy cercano al tiempo de retención definido para el fungicida; sin embargo, no se puede asegurar que se trate del clorotalonil en este caso.

Ahora bien, esta zona se caracteriza por la agricultura, sobre todo de café; incluso el cantón de Naranjo es uno de los cantones más cafetaleros del país [18]. La presencia del clorotalonil en la fuente de agua puede deberse a la baja persistencia en aguas y suelos, donde en condiciones de mala aireación su vida media está entre 5-15 días como en el caso de las tuberías [19]. Por otra parte, la presencia de este agroquímico es de suma importancia, ya que el clorotalonil y sus productos de degradación en el agua en Costa Rica se han relacionado con diversas enfermedades graves al hígado y los riñones, además de ser un posible carcinógeno en humanos [20]; adicionalmente, existen estudios donde se realizaron evaluaciones de la toxicidad de los pesticidas utilizados en Costa Rica, donde se concluyó que Terbufos y Clorotalonil son responsable de más del 90% del envenenamiento humano [11].





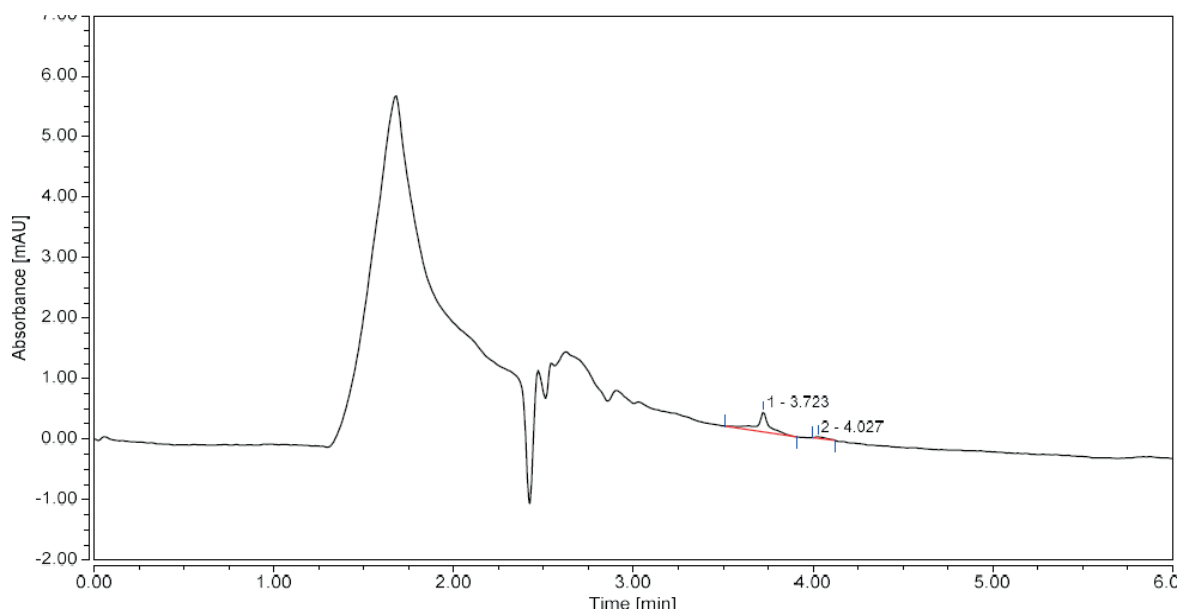
(a)



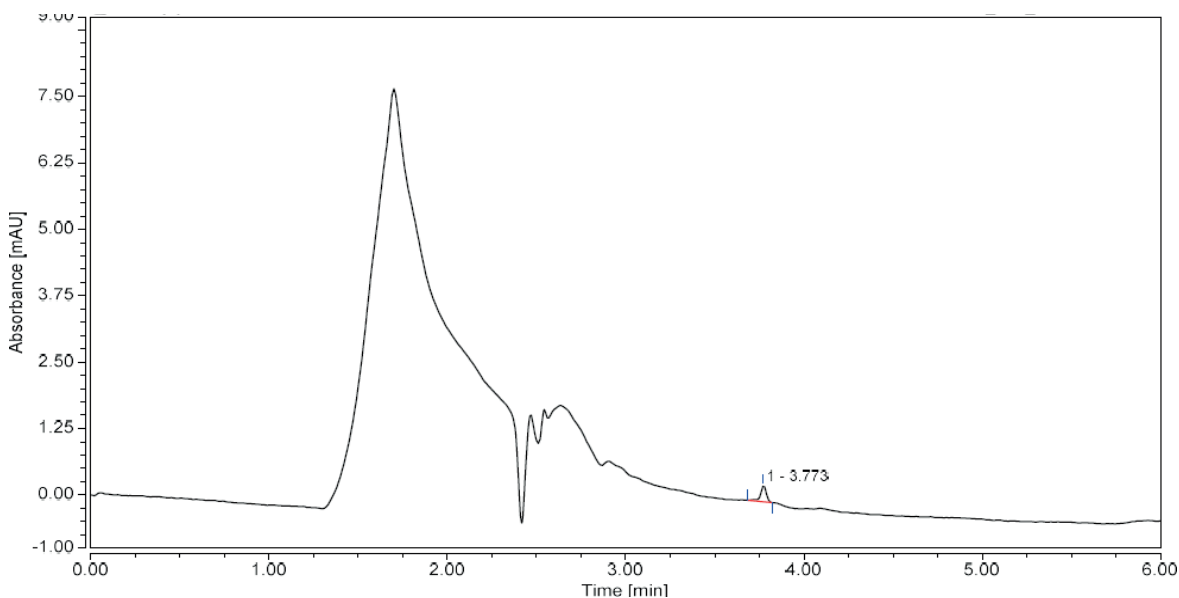
(b)

**Figura 3.** Resultados obtenidos de las muestras de Cirrí (a) Muestra proveniente de ASADA. b) Muestra proveniente de casa del lugar. **Fuente:** Elaboración Propia.

Para el análisis realizado de Grecia como se puede apreciar en el Cuadro 2 y en la Figura 4 (a), la muestra proveniente del acueducto presenta una señal en el minuto 4.027, a pesar de que esta señal es baja, indica contaminación con el fungicida en la fuente del agua. Esta contaminación puede ser producida por el cultivo del café, donde el uso generalizado de plaguicidas en la agricultura como único método para controlar los problemas fitosanitarios de los cultivos está ocasionado serias afectaciones en la salud de personas, contaminación y deterioro de los ecosistemas [21], es importante resaltar que debido al alto desempeño del clorotalonil en muchas infestaciones en varios cultivos [11] se presta para que su uso se generalice, lo cual es una práctica incorrecta.



(a)



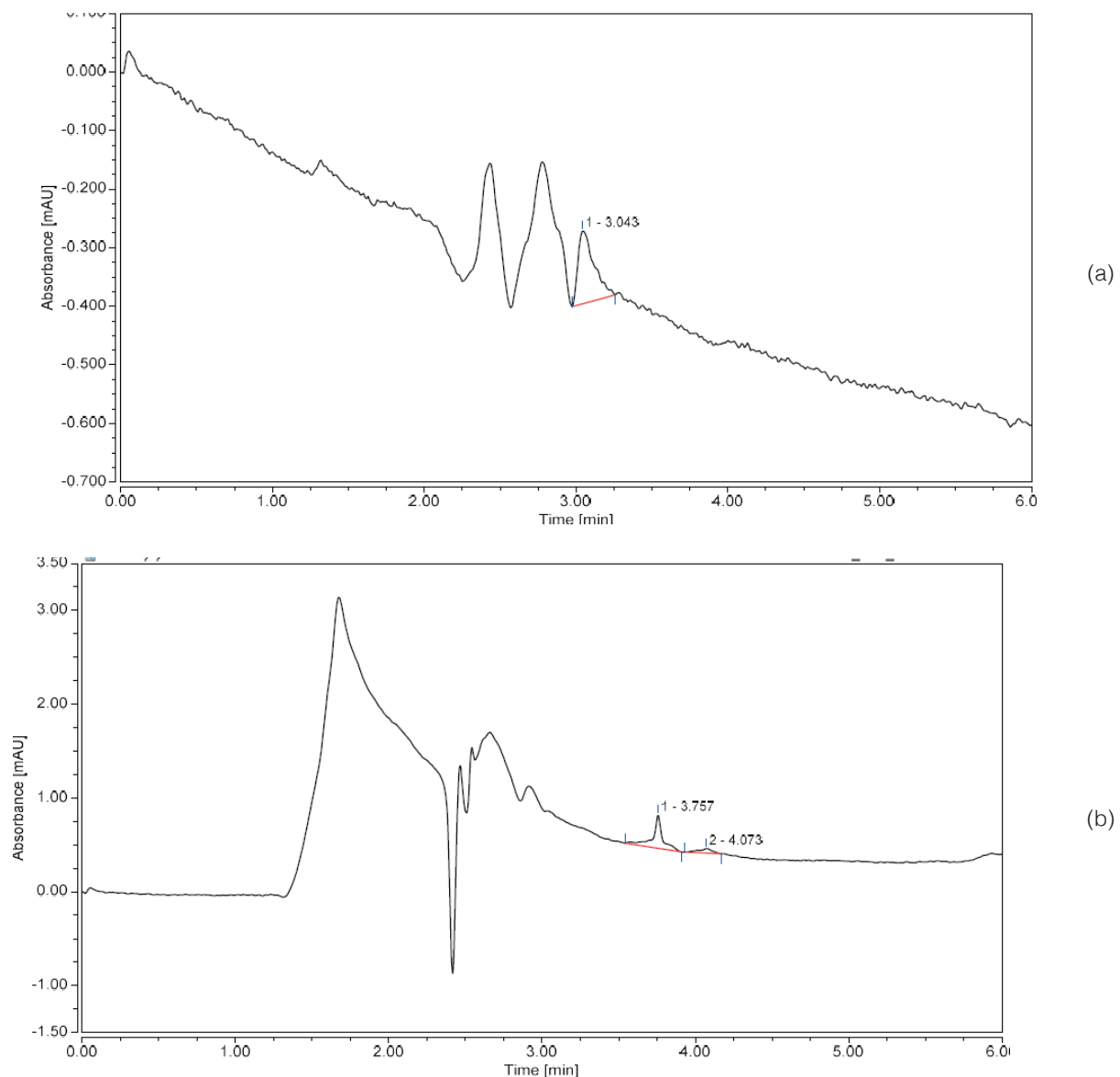
(b)

**Figura 4.** Resultados obtenidos de las muestras de Grecia (a) Muestra proveniente del acueducto. (b) Muestra proveniente de casa del lugar. **Fuente:** Elaboración Propia.

De acuerdo con lo mencionado por [19], investigaciones realizadas por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), plasma que dos de los ingredientes activos más comunes en los plaguicidas de mayor uso en Costa Rica y cuya presencia ha sido evidenciada en diversas matrices ambientales, incluyendo el suelo y el agua, son el clorotalonil y clorpirifos. Por lo cual, su presencia en aguas cercanas a zonas agrícolas no es de extrañar. Sin embargo, no se debe olvidar que este fungicida es sumamente tóxico para aves, peces e invertebrados acuáticos, donde en humanos causa problemas en la dermatitis, problemas gastrointestinales, irritaciones severas de ojos y piel; y es un agente causante de cáncer [11] [12].

En cuanto a los resultados de la zona de Palmira, como se puede observar en la Figura 5, la muestra proveniente del acueducto no presenta clorotalonil. Sin embargo, la muestra proveniente de la casa sí presenta este fungicida, al presentar una señal con un tiempo de retención de 4.073 min. Esto indica que el agua potable no está contaminada en la fuente de salida (acueducto), pero puede estar contaminando en las tuberías que van a las casas.

En relación con lo anterior, se puede inducir que la contaminación del agua potable se está dando por filtración o recurrencia del agroquímico a las aguas potables, esto podría ser ocasionado por las plantaciones de café, ya que este fungicida es usado en estos cultivos, pese a ser clasificado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) y la Unión Europea (UE), como un agroquímico altamente peligroso, porque puede producir cáncer o causar efectos irreversibles en la salud. Además, de ser el clorotalonil un posible causante de la disrupción endocrina [12] [22].

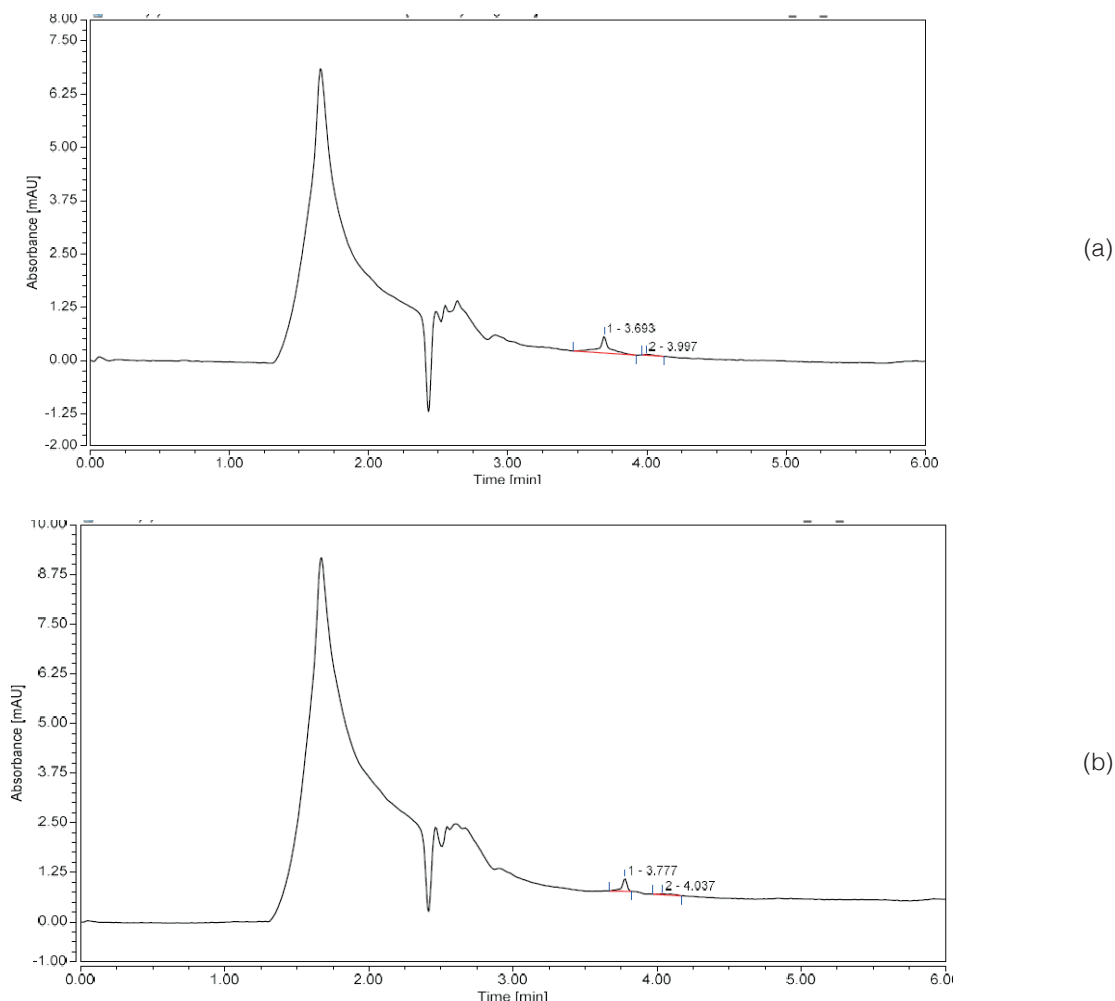


**Figura 5.** Resultados obtenidos de las muestras de Palmira (a) Muestra proveniente del acueducto. (b) Muestra proveniente de casa del lugar. Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien, en cuanto a las muestras de la zona de Cipreses, se puede observar en el Cuadro 2 y en la Figura 6, que el tiempo de retención obtenido para la muestra proveniente de la ASADA fue de 3.997 min, este valor se encuentra muy cercano al valor estipulado de 4.0000 min, por tanto, se puede considerar que hay presencia de clorotalonil en esta muestra. Adicionalmente, existen estudios anteriores donde se ha encontrado desde el 2021 presencia de este fungicida en la ASADA en esta comunidad, donde incluso se clausuraron dos fuentes de agua de ambas nacientes [23].

Por otra parte, la muestra proveniente de la casa (Figura 6 (b)) presenta un tiempo de retención de 4.037 min, lo cual evidencia la presencia de clorotalonil en el agua potable, es importante mencionar que, en el caso específico de esta zona, los ciudadanos han presentado quejas formales al gobierno puesto que como se mencionó anteriormente se han encontrado concentraciones alarmantes en esta comunidad [23].

Razón por la cual se incluyó esta zona en este estudio, para verificar si las autoridades han trabajado en las acciones para eliminar este compuesto del agua potable, mediante la prohibición del uso del clorotalonil en los cultivos. Donde, la Presidencia Ejecutiva concluyó en el 2020 sobre el caso que, en base a la evidencia, las autoridades y unidades competentes al caso debían tomar acción para solucionar este problema y poner los parámetros en reglamentación [20].



**Figura 6.** Resultados obtenidos de las muestras de Cipreses (a) Muestra proveniente de ASADA. (b) Muestra proveniente de casa del lugar.

Pese a lo anterior, en este estudio se determinó que, si hay presencia del fungicida tanto en la ASADA como en la muestra proveniente de la casa, esto evidencia que las autoridades a cargo no han realizado acciones efectivas, ya que el mandato presentado en el 2020, de haberse cumplido y solucionado la problemática, no deberían quedar rastro de los metabolitos de clorotalonil en las aguas potables.

Finalmente, es importante mencionar que, aunque la magnitud de clorotalonil no se cuantificó en este estudio, se evidenció por medio de este análisis cualitativo que existe presencia del fungicida en las muestras de agua potable mencionadas. Ahora bien, se puede inferir por las señales obtenidas en los cromatogramas que las concentraciones del clorotalonil son bajas, sin embargo, esto no aliviana la problemática, ya que la cantidad de clorotalonil permitido por el Reglamento de la Calidad del agua indica que no puede sobrepasar los 0,1 µg/L, debido a su gran toxicidad; considerando que se mantenga un contacto directo con el fungicida y no una ingesta diaria de él. Por lo cual, las repercusiones actuales que podría estar provocando en la población cercana a la zona, podrían ser irremediables [12] [14] [22].

## Conclusiones

El estudio evidencia la presencia de clorotalonil en el agua potable de diversas comunidades agrícolas en Costa Rica. Se encontró la presencia de este fungicida en muestras de ASADAS y hogares en zonas como Cirrí, Escobal, Palmira y Cipreses. Estos hallazgos resaltan la persistencia del clorotalonil en el entorno y subrayan la necesidad de fortalecer las medidas de control y vigilancia de este contaminante.

Aunque las concentraciones detectadas no fueron cuantificables, su presencia constante plantea riesgos potenciales para la salud humana y el medio ambiente. Es crucial que se implementen estrategias efectivas para reducir la contaminación por clorotalonil y garantizar la seguridad del agua potable en estas comunidades.

Adicionalmente, se recomienda realizar este estudio con un detector de masas para que se realice la cuantificación de este fungicida a los niveles de concentración requerido.

## Bibliografía

- [1] J.Virkutyle y M. Sillanpaa. "Chemical evaluation of potable water in Eastern Qinghai Province, China: Human health aspects" *Environment International*, vol. 32, pp 80-86, 2008.
- [2] Organización Mundial de la Salud. Agua potable, 2023.
- [3] A. Murillo. "El agua también es sagrada" Cómo un pesticida prohibido en Europa le robó el agua a un pueblo en Costa Rica. *Revista Public Eye*, 2023.
- [4] R. Chapagain. "International regulations of the use of pesticides: The Costarican experience". *Escuela de Relaciones Internacionales y Diplomacia, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica*, vol. 2, pp 124-129, 2011.
- [5] Organización Panamericana de la Salud. "Efectos de los plaguicidas en la salud y el ambiente en Costa Rica" Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud. 2003.
- [6] G. Flores, M. Molina, Q. Balza, D. Benítez y C. Miranda. "Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela". *Investigación Clínica*, vol. 52, pp 295-311, 2011.
- [7] D. Alburquerque y R. Gusqui. "Eficacia de fungicidas químicos para el control in vitro de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas". *Arnaldoa* vol. 25, 489-498, 2018.
- [8] J. Melgarejo y F. Abella. "Mecanismo de acción de los fungicidas" *Revista Ventana al Campo*, pp. 193-202, 2011.
- [9] H. Montoya. *Microbiología básica para el área de la salud y afines*. 2da. Editorial Universidad de Antioquia, 2008.

- [10] E. López y R. Rodríguez. "Comparación de dos métodos cromatográficos para determinar clorotalonil en un fungicida comercial". UNED Research Journal vol. 11, pp 334-344, 2019.
- [11] J. Betancourt, P. Bautista, S. Narváez y J. Parra. "Biodegradation of Chlorothalonil Fungicide in Coastal Areas of the Colombian Caribbean Suitable for Banana Crops". TECCIENCIA vol. 13, pp 19-28. 2018.
- [12] F. Ramírez, M. Fournier, C. Ruepert y C. Hidalgo. "Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica". Agron. Mesoam, vol. 25, pp 337-34. 2014.
- [13] V. Luzuriaga. "Diseño de un proceso de irradiación, para degradar a los pesticidas Clorotalonil, Metolaclor y Clorpirifos, presentes en aguas de una florícola, mediante el efecto de la radiación ionizante  $\beta$ , proveniente de un acelerador de electrones" (Bachelor's thesis), 2014.
- [14] Poder Ejecutivo. "Reglamento para la Calidad del Agua Potable. San José: La Gaceta N° 84", 2005.
- [15] D. Suarez y Y. Morales. "Principios básicos de la cromatografía líquida de alto rendimiento para la separación y análisis de mezclas" Revista Semilleros: Formación Investigativa, vol. 4, 2018.
- [16] M. Gallardo. "Determinación de plaguicidas en aguas de una zona vitivinícola de la VI Región por medio de técnicas cromatográficas". [Tesis para optar al grado de Licenciado en Química Ambiental], 2010.
- [17] I. Ruisánchez, E. Trullols y F. Rius. "Validación de métodos analíticos cualitativos" Técnicas de laboratorio vol. 81, 328-335, 2003.
- [18] F. Ruiz. (2023, junio, 25). "Costa Rica es el 15.º productor mundial de café; vea dónde se produce más y a dónde se exporta" [Online]. Disponible en: <https://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/costa-rica-es-el-15-productor-de-cafe-del-mundo/RVSVQC5MOZFURC3Q5IZV47UEBY/story/>
- [19] F. Masís, J. Valdez, T. Coto, y S. León. "Residuos de agroquímicos en sedimentos de ríos, Poás, Costa Rica". Agronomía Costarricense, vol. 32, 113-123, 2008.
- [20] R. Gutiérrez. "RESPUESTA PÚBLICA A LA PRESIDENCIA DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS", 2022.
- [21] G. Estrada, C. Umaña, B. Sancho y A. Orozco. "Aislamiento, identificación y caracterización de cepas bacterianas con potencial de degradación de los plaguicidas clorotalonil y clorpirifos". Uniciencia, vol. 37, 481-496, 2023.
- [22] M. Ramírez, L. Fournier, C. Ruepert y A. Hidalgo. "Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica". Agronomía Mesoamericana, vol. 25, 339-345, 2014.
- [23] A. Martínez. (2023, enero, 25). Estudio encuentra moléculas de plaguicida 240 veces más de lo permitido en agua de Cipreses de Cartago. [Online]. Disponible en: <https://delfino.cr/2023/01/estudio-encuentra-moleculas-de-plaguicida-240-veces-mas-de-lo-permitido-en-agua-de-cipreses-de-cartago>

## Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.