

UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MASTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENCIA DE OOQUISTES DE *Cryptosporidium* Y QUISTES DE *Giardia* EN SISTEMA
NO-AAA COMUNIDAD: RÍO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON
SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

RUTH N. PAGÁN ARROYO

2026

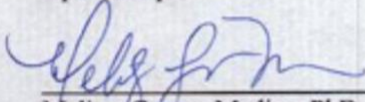
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MASTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis presentada y aprobada para completar los requisitos para el grado de Maestría en Ciencias
en Ciencias Ambientales

PRESENCIA DE OOQUISTES DE *Cryptosporidium* Y QUISTES DE *Giardia* EN SISTEMA
NO-AAA COMUNIDAD: RÍO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON
SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

RUTH N. PAGÁN ARROYO
ABRIL 2026

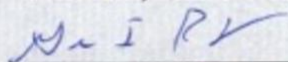
Aprobado por:



Melitza Crespo-Medina, PhD.
Presidente, Comité Graduado

18-Mayo-2026

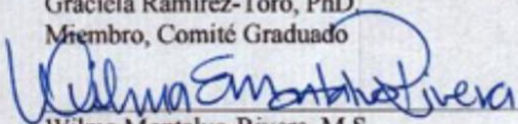
Fecha



Graciela Ramirez-Toro, PhD.
Miembro, Comité Graduado

18 mayo 2026

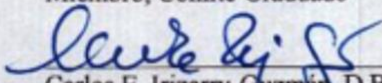
Fecha



Wilma Montalvo-Rivera, M.S.
Miembro, Comité Graduado

18-mayo-2026

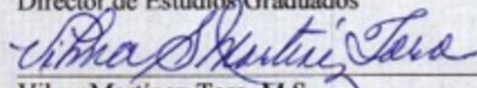
Fecha



Carlos E. Irizarry-Guzman, D.B.A.
Director de Estudios Graduados

18/mayo/2026

Fecha



Vilma Martinez-Toro, M.S.
Decana de Asuntos Académicos

18/mayo/2026

Fecha

Dedicatoria

A la memoria de mi papá Ulises y de mi abuela Nereida, que partieron de este mundo terrenal esperando verme alcanzar esta meta, y sé que estarían orgullosos y felices de vivir este momento conmigo.

A mi mamá Jeannette, que nunca ha dudado de mí ni un segundo, me impulsa a dar la milla extra y ha sido siempre mi mayor sostén y ejemplo de perseverancia.

A ellos tres, que desde mi infancia me acompañaron, me apoyaron, y han sido mi inspiración; les dedico el resultado de este trabajo y todo el esfuerzo que conllevó de mi parte, todas las lágrimas y sudor; porque no merecen menos, cuando siempre sacrificaron tanto para que hoy yo estuviera aquí siendo quien soy.

Agradecimientos

Doy gracias primeramente a Dios, para Él toda la gloria y la honra.

Deseo expresar mi más profunda gratitud a mi directora de tesis, la Dra. Melitza Crespo-Medina, por su mentoría, guiándome y llevándome de la mano en cada parte de este largo proceso con su gran paciencia e invirtiendo de su tiempo en este proyecto.

Agradezco infinitamente al Programa CECIA (Centro de Educación, Conservación e Interpretación Ambiental), a la Dra. Graciela Ramírez-Toro, por darme la invaluable oportunidad de trabajar con ellos este proyecto y por brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional con esta maestría.

A mi hermana Jennifer, que me acompañó en las largas jornadas de cada muestreo, antepuso mi proyecto sobre cualquier otro compromiso, ayudándome con el transporte del equipo de trabajo de manera segura en las caminatas de campo de 20 minutos, aún con las inclemencias del tiempo que tuvimos que atravesar.

A los operadores del sistema, Sr. Arsenio Rosado y Sr. Edwin Santana, que nunca tuvieron un “no” para mí, no dudaron en proveerme la ayuda e información necesaria, al igual que a todos los residentes/clientes del sistema: Comunidad Río Piedras, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

Tabla de contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Tabla de contenido	v
1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Revisión de literatura	
a. Enfermedades transmitidas por agua	5
b. <i>Cryptosporidium</i>	6
c. Modo de infección de <i>Cryptosporidium</i>	7
d. <i>Giardia</i>	9
e. Modo de infección de <i>Giardia</i>	9
f. Brotes nacionales e internacionales	11
g. <i>Cryptosporidium</i> y <i>Giardia</i> en PR	12
h. Sistema no-AAA en San Germán	14
4. Metodología	
a. Descripción del sistema	19
b. Entrevista al operador del sistema	20
c. Análisis fisicoquímicos	23
d. Análisis parasitológicos	26
e. Encuestas	32
f. Análisis de datos	35
5. Resultados	36

6. Discusión	55
7. Conclusión	59
8. Recomendaciones	64
9. Bibliografías	65
10. Apéndices	A

1. Resumen

Cryptosporidium sp y *Giardia sp* son protozoarios resistentes al cloro que se pueden encontrar en aguas contaminadas con heces fecales (Ryan *et al.*, 2014), (Aliyi, M. & Yusuf, A., 2023). El tema de la contaminación del agua para el consumo humano es uno de relevancia en el ámbito de salud pública ya que podría conllevar riesgos de brotes por enfermedades gastrointestinales y poner en peligro la vida de las personas (CDC, 2021). En Puerto Rico, se ha detectado la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en sistemas pequeños de agua (Crespo-Medina, M *et al.*, 2017). El propósito de esta investigación fue detectar contaminación por estos parásitos en el sistema independiente: Comunidad Río Piedras, San Germán. Se presumía que los residentes de esta comunidad se suplían de agua contaminada por estos, colocándose en riesgo de exposición ya que en los sistemas comunitarios generalmente no se lleva a cabo un proceso adecuado de filtración lenta por arena, que remueve del agua estos parásitos. Factores que ponen en la potabilidad del agua que despachan estos sistemas son: la estructura, falta de recursos y la operación de estos sistemas sin los entendimientos/ adiestramientos requeridos (Hunter, *et al.*, 2010). En investigación se utilizó como guía el Método 1623 de la EPA, se examinó la presencia de estos parásitos en el agua cruda (agua capturada del río con el fin de darle tratamiento para ser potabilizada) que abastece al sistema y en el agua tratada/distribuida (agua tratada con procesos físicos y químicos para cumplir con estándares de agua potable) (SDWA “Safe Drinking Water Act”, 1998). Se realizó un Estudio Epidemiológico de Cohorte con encuestas de salud para identificar a individuos/clientes del sistema que tuvieron síntomas de enfermedades gastrointestinales.

2. Introducción

En Puerto Rico, no ha sido estudiado en gran medida el tema de la prevalencia del *Cryptosporidium* y *Giardia* en aguas para consumo humano (Robinson *et al.*, 2015) y (Crespo-Medina, M *et al.*, 2017). Aunque la implementación de la Regla de Recopilación de Información de la EPA obligó a hacer muestreos sistemáticos de protozoarios patógenos en las plantas de sistemas medianos y grandes de Puerto Rico (EPA, 1996), no se han documentado mediante verificación y data brotes de infecciones por estos microorganismos en la Isla (Robinson *et al.*, 2015) y (Crespo-Medina, M *et al.*, 2017). Estos estudios documentaron la presencia de estos parásitos en fuentes de abastos de agua para sistemas pequeños de agua “potable” que no pertenecen a la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados y en el agua distribuida por estos sistemas, por lo que existe el riesgo de los usuarios a exposición a estos parásitos (Robinson *et al.*, 2015) y (Crespo-Medina, M *et al.*, 2017). En adición, estudios serológicos han ayudado a confirmar la infección de estos parásitos en residentes de comunidades rurales (Ramírez-Toro, G. & Crespo-Medina. M, 2016). También, ha sido documentada la tasa de diarreas en comunidades rurales de Puerto Rico y su posible relación con infecciones parasíticas por consumo de agua contaminada (Ramírez-Toro, G. & Crespo-Medina. M, 2016) y (Hunter, 2010).

El riesgo para la salud pública aumenta dado que estos sistemas pequeños de agua son en la mayoría de las ocasiones contruidos, administrados y operados por residentes de estas comunidades, voluntarios, quienes no siempre cuentan con sus debidos adiestramientos y/o conocimiento para establecer las barreras de filtración que son las tecnologías recomendadas para eliminar el riesgo de exposición a estos parásitos (Hunter,

et al., 2010). Por lo general, los sistemas no-AAA no proveen un proceso de tratamiento de agua robusto, no cuentan con la filtración necesaria para eliminar el *Cryptosporidium* y *Giardia*, y en ocasiones solo se limitan a la cloración (EPA, 2020).

Con este estudio, se persiguió ampliar la información disponible sobre la presencia de protozoarios *Cryptosporidium sp.* y *Giardia sp.* en cuerpos de agua que suplen acueductos comunitarios en Puerto Rico. El objetivo principal de este estudio fue determinar la incidencia de parásitos protozoarios como el *Cryptosporidium* y *Giardia* en el agua que suple al sistema no-AAA de la comunidad Río Piedras, así como también determinar la incidencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en el sistema de distribución luego del tratamiento brindado al agua para establecer si esta agua representa un riesgo para la salud. Además, se pretendía analizar mediante un estudio de cohorte por medio de encuestas de salud, la relación entre la presencia de estos parásitos en el agua y los síntomas de enfermedades gastrointestinales reportados por los residentes.

Mediante análisis de agua de la fuente de abasto y agua tratada se pudo determinar la presencia de *Crypto* y *Giardia*, lo cual presenta un riesgo para la salud a la población que la consume, a pesar de que este sistema no-AAA tiene un mecanismo de filtrado a través de tanques grava y arena. Se encontraron puntos de exposición con muestreos del agua que suple al sistema y del agua que distribuye el sistema; 6 muestras de la fuente de abasto resultaron positivas para *Giardia* y 6 para *Crypto*. En la misma forma, 2 muestras del agua distribuida resultaron positivas para *Giardia* y 4 para *Crypto*. El estudio de salud mostró índice de diarrea de 0.09, índice de náuseas de 0.19, e índice de dolor abdominal de 0.19. Postulamos que en el momento del estudio estaba ocurriendo un

posible brote infeccioso en la comunidad por consumo de esta agua según los diarios de salud completados por los residentes.

3. Revisión de literatura

a. Enfermedades transmitidas por agua

Para el año 2001, Hunter *et al.*, indicó que cerca del 20% de la población mundial carecía de acceso a agua potable segura, y millones de personas morían anualmente por enfermedades asociadas al consumo de agua inseguro o sanitización inadecuada (Hunter, *et al.*, 2001). Si existiera acceso a agua potable segura y a servicios de sanitización adecuados para toda persona, se redujera significativamente los casos y muertes por diarrea cada año (Hunter, 2001). El agua contaminada con patógenos, químicos, o toxinas puede causar enfermedades si se ingiere, o si hay contacto con la piel, ojos, oídos o membranas mucosas (CDC, 2025). Actualmente, 2.1 billones de personas viven sin acceso a agua potable segura (WHO (Organización Mundial de la Salud) /UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), 2025). En adición, 3.4 billones de personas no tienen un manejo adecuado de saneamiento (WHO/UNICEF, 2025).

El sistema Nacional de Notificación de Brotes (NORS), por sus siglas en inglés, es una plataforma del CDC (Centers for Disease Control and Prevention), donde las agencias de salud locales, estatales, y territoriales de Estados Unidos reportan data de brotes de enfermedades entéricas, transmitidas por agua, por alimentos, contacto con animales o contaminación ambiental (CDC, 2025). Principalmente, los patógenos reportados vía NORS han sido: *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*, *Cryptosporidium*, *E. coli*, *Giardia*, *Legionella*, *Norovirus*, *Salmonella*, and *Shigella* (CDC, 2025).

b. *Cryptosporidium* sp

Cryptosporidium, referido como Crypto para propósitos de este estudio, es un protozooario presente en aguas contaminadas con heces fecales. Existen varias especies, entre ellas: *C. felis*, *C. meleagridis*, *C. canis*, *C. muris*, *C. hominis*, y *C. parvum*. Los hospedadores más comunes para estas especies son: gatos, pavos, perros, roedores, humanos, y ganado; respectivamente (Ryan *et al.*, 2014). *Cryptosporidium parvum* y *Cryptosporidium hominis* son las especies asociadas a infecciones en humanos (CDC, 2021). Aunque especies como: *C. hominis*, *C. muris*, *C. suis*, *C. felis*, *C. canis*, y *C. meleagridis* también han sido identificadas en humanos en menor proporción (Ryan *et al.*, 2014). Se han descrito ocho genotipos en *C. parvum* al estudiar los genes que codifican la proteína externa de la membrana (Rodríguez & Royo, 2000). El genotipo bovino se asocia a infecciones humanas producidas por contacto directo con bóvidos infectados o sus heces (Rodríguez & Royo, 2000). Esta infección gastrointestinal es transmitida vía fecal- oral, por la ingestión de aguas contaminadas con este patógeno; aunque también puede transmitirse por contacto directo con superficies contaminadas (CDC, 2021). La contaminación de las aguas ocurre cuando un individuo, ya sea humano o animal, deposita sus heces fecales infectadas con *Cryptosporidium* y/o sus ooquistes en el agua (CDC, 2021). Además, insectos como moscas pueden servir de vector mecánico, transportando los ooquistes de Crypto en sus patas o exoesqueleto y dejando estos en otras superficies (Graczyk, T. K., *et al.*, 2000). En este mismo sentido, se pueden encontrar ooquistes de Crypto adheridos en alimentos y superficies; ya sea por contacto con agua, insectos, animales, o humanos; mayormente alimentos como frutas o vegetales

pueden contener los ooquistes en su superficie e infectar al individuo que lo ingiera (Zahedi, A. & Ryan, U., 2020).

c. Modo de infección de *Cryptosporidium*

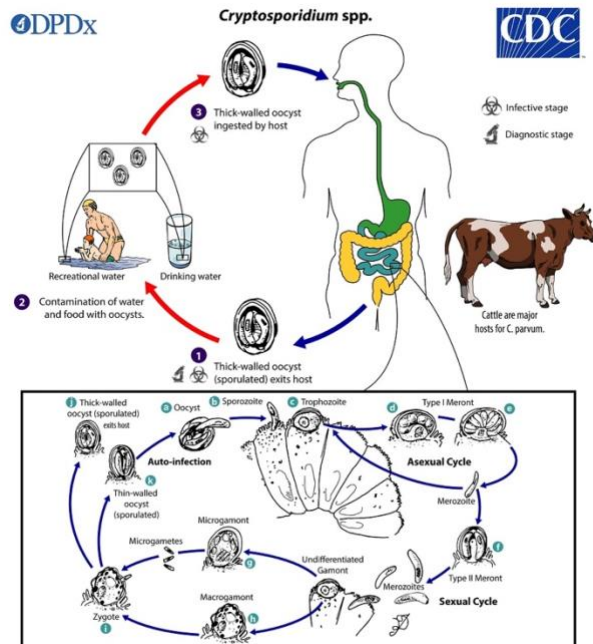


Figura 1 Ciclo de vida de *Cryptosporidium* según el CDC
https://www.cdc.gov/dpdx/cryptosporidiosis/modules/Cryptosporidium_LifeCycle_lg.jpg

Según el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (2021), el ciclo de vida y transmisión del Crypto comienza cuando los ooquistes esporulados con 4 esporozoítos son expulsados del sistema del huésped. Luego, otro individuo tiene contacto con esta contaminación ya sea por contacto o ingestión y se desenquistan los esporozoítos, siendo liberados parasitando las células epiteliales del tracto gastrointestinal (CDC, 2021). Una vez infectadas las células de la pared intestinal, los parásitos comienzan la multiplicación asexual y sexual. Por medio de la fertilización sexual de los ooquistes se produce la esporulación en el huésped infectado, lo cual hace que se presenten los síntomas. Los dos tipos de quistes que se fertilizan son los de pared gruesa

y pared delgada. Los ooquistes de pared gruesa son los que se excretan del organismo y contaminan las aguas provocando la transmisión e infección fecal-oral o por contacto. Por otra parte, los de pared delgada son los que participan en la autoinfección (CDC, 2021). La persona infectada puede presentar síntomas representativos de una enfermedad gastrointestinal, tales como: vómitos, diarrea acuosa, dolor abdominal, fiebre, deshidratación. Su periodo de incubación puede ser hasta 7 días desde la exposición. Normalmente, la persona infectada puede manifestar los síntomas entre el día 2 y día 10, con un promedio de 7 días, y estos pueden prevalecer de 1 a 2 semanas aproximadamente (CDC 2025). La mayoría de las personas con sistema inmune saludable se puede recuperar de la criptosporidiosis sin tratamiento (CDC,2025). Por otra parte, personas con el sistema inmunocomprometido, esta infección puede ser de carácter serio y en ocasiones letal. En casos así se debe tratar con medicamentos específicos como Nitaxozanida, sin olvidar dar apoyo en alimentación e hidratación (CDC, 2023).

Los sitios de mayor exposición a este parásito son las aguas recreativas como lagos, ríos, parques acuáticos y piscinas (CDC, 2021). Igualmente, el agua potable puede ser un medio de dispersión de esta infección, cuando no se procesa correcta y eficientemente (Díaz, *et al.*, 2003). Este ha sido un microorganismo desafiante para la comunidad científica, pues sus ooquistes son resistentes a diferentes tratamientos de potabilización de agua como por ejemplo al cloro (Díaz, *et al.*, 2003). Los ooquistes se consideran resistente al cloro, ya que requieren una concentración de cloro mayor a 80 mg/L, siendo esta 400 veces mayor al máximo que se recomienda consumir por el ser humano que son de 0.2 a 1.05 mg/L de cloro (Díaz, *et al.*, 2003).

d. *Giardia sp*

Giardia duodenalis (syn. *G. lamblia*, *G. intestinalis*), es un parásito protozoario flagelado. Entre las diferentes especies de *Giardia* se encuentran: *G. agilis*, *G. muris*, *G. ardae*, *G. psittaci*, *G. microti*, *G. duodenalis*. Los hospedadores más comunes para estas especies son: anfibios, ratas/ratones/roedores, aves, aves, roedores, humanos/mamíferos; respectivamente (Adam, 2001). *G. duodenalis* es la especie comúnmente conocida por ser causante de la enfermedad giardiasis. Esta infección se adquiere al ingerir agua o comida contaminada, o al tener contacto con personas, objetos o superficies contaminadas (CDC, 2024). *Giardia* se puede encontrar en forma de quistes o en trofozoítos en las heces. La *Giardia* se disemina fácilmente, por esto, ingerir solo un par de quistes es suficiente para enfermarse (CDC, 2024).

e. Modo de infección de *Giardia*

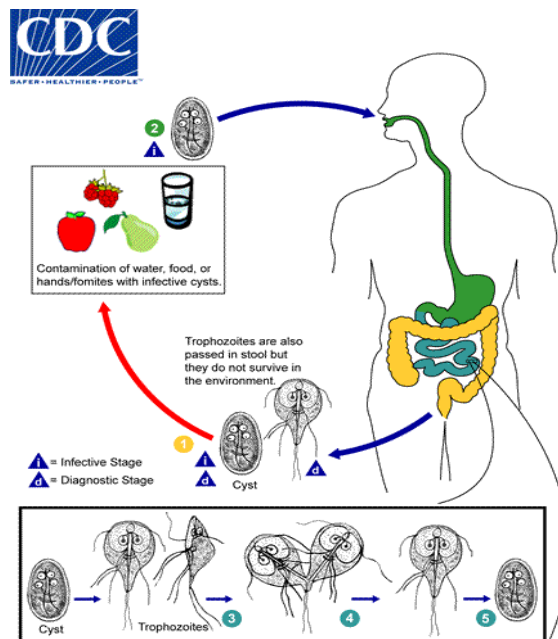


Figura 2 Ciclo de vida de *Giardia* según el CDC <https://www.cdc.gov/dpdx/Giardiasis/index.html>

El CDC explica el modo de infección de *Giardia* comenzando con el parásito siendo excretado del ser humano por medio de las heces fecales. Luego otro individuo ingiere el *Giardia* ya sea por medio de agua o comida contaminada, este llega al intestino delgado, donde mediante la desenquistación se liberan dos trofozoítos. Los trofozoítos se multiplican por fisión binaria longitudinal, permaneciendo en el intestino delgado proximal donde pueden estar libres o adheridos a la mucosa por un disco de succión ventral. Cuando los parásitos transitan hacia el colon, se vuelven quistes. El quiste es la etapa que se encuentra más comúnmente en las heces no diarreicas. Debido a que los quistes son infecciosos cuando se eliminan en las heces o poco después, es posible la transmisión de persona a persona. El periodo de incubación ocurre entre los días 1 a 14, con un promedio de 7 días. Usualmente, los síntomas pueden prevalecer de 1 a 3 semanas. Ocasionalmente, algunas personas pueden presentar los síntomas durante años. El paciente suele mostrar: diarrea, dolor abdominal, distensión abdominal, náusea, y vómitos (CDC, 2024). Para tratar la giardiasis se receta Metronidazol y Tinidazol (CDC, 2024).

Giardia en quistes es la manera en la que sobrevive en el ambiente y resiste al cloro (CDC, 2024). Se ha podido estudiar el efecto y resistencia de *Giardia* ante el cloro, dependiendo de variables como el pH, la temperatura, la concentración del cloro y el tiempo de exposición al mismo (Jarroll, E. *et al.*, 1981). Jarroll concluye en su investigación que los quistes de *G. lamblia* sobreviven mejor en temperaturas frías. Sin embargo, el aumento de tiempo de exposición y de

concentración de cloro, tiene un mejor efecto quisticida en *Giardia* (Jarroll, E. *et al.*, 1981) y (Adeyemo, F. E. *et al.*, 2019).

f. Brotes nacionales e internacionales

Entre los años 2012-2017, se reportaron 111 brotes de giardiasis entre 26 estados de Estados Unidos. Fueron 760 casos primarios, los cuales 370 fueron transmitidos por agua. 129 casos fueron de persona a persona, 97 fueron transmitidos por comida y 164 se desconoce la fuente de contaminación (Connors, E *et al.*, 2021).

En 2010, en un Parque Recreacional de Agua en la Región de Niagara, Canadá, se informó de un brote de *Cryptosporidium*, involucrando 12 personas. Este parque acuático contaba con 7 atracciones, de las cuales 2 de ellas compartían el suministro de agua. Diariamente se reponía la mitad del agua de las atracciones con agua nueva. Adicional a esto, el parque contaba con un sistema de Potencial Reducción-Oxidación, un sanitizante de mezcla de cloro líquido y discos de cloro. Todos los sistemas de agua utilizaban filtros de agua, cloración automática, y suministro de ácido automático. En adición un sistema de luz ultravioleta de presión mediana incorporaba el agua que recirculaba en el sistema. Los casos reportados estuvieron expuestos al parque entre 14 y 15 de noviembre de 2010. El personal del parque tenía documentada una falla con la luz UV del día 14 de noviembre, fue el único día en el que hubo una deficiencia en el proceso de saneamiento del agua del parque. (Hopkins, 2013).

En 2010, se reportó en Suecia un brote de criptosporidiosis, proveniente de una de las plantas de tratamiento más grandes del área, la cual suplía aproximadamente 51,000 personas. En ese momento el tratamiento de agua de esta planta incluía preozonización, floculación, sedimentación, filtración rápida por arena y cloración. En noviembre del

2010, una cantidad de 10,653 personas reportaron síntomas de gastroenteritis en un periodo de 2 semanas y media. Luego de un llamado a la población para que hirvieran el agua antes de consumirla, comenzaron a disminuir los casos de la infección. Las barreras que tenía el sistema no estaban siendo eficaz, le añadieron luz UV para desinfectar de efectiva. (Winderström, *et al.*, 2014).

Por otra parte, hasta la actualidad el brote de criptosporidiosis más grande de la historia ha sido el reportado en 1993 en Milwaukee. Se afectaron aproximadamente 400,000 personas y le costó la vida a más de 100 personas con sistema inmunocomprometido (Naumova, *et al.*, 2003). Este evento dio a lugar debido a que en esa época los estándares de calidad de agua no eran lo suficientemente estrictos, la planta no contaba con un sistema de filtración lenta ya que no era requerido. Se realizó un estudio para comparar la relación entre la turbidez del agua y los casos de gastroenteritis, el tiempo de incubación de la infección por *Cryptosporidium*, y el riesgo mayor que tienen los ancianos de infectarse (Naumova, *et al.*, 2003). Como resultado se obtuvo que los pacientes que acudieron al hospital mostraron síntomas de gastroenteritis 5 a 6 días luego de la ingesta del agua turbia, lo cual coincide con los días de incubación de la infección. También, se reconoció que la edad podría influir para contagiarse y mostrar síntomas severos con menos días de incubación, poniendo en mayor riesgo a los ancianos (Naumova, *et al.*, 2003). Este evento impulsó la industria del agua y generó regulaciones más estrictas (EPA, 2026).

g. *Cryptosporidium* y *Giardia* en Puerto Rico

En Puerto Rico, las plantas de tratamiento de agua potable dirigidas por AAA (Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico), utilizan una serie de

procesos de filtración y purificación para remover los patógenos para los que el cloro no es suficiente (Acueductospr, 2023). Su proceso consta de aeración, floculación, sedimentación, filtración (tratamiento convencional) y por último desinfección, siendo este un tratamiento requerido por ley en las plantas de tratamiento (Acueductospr, 2023). Además, en el mercado se consiguen artefactos y sistemas de filtrado portables y para el hogar, los cuales se recomienda por el CDC que contengan un filtro de 1 micrón o menos, para que remueva el *Cryptosporidium* y *Giardia*. (CDC, 2021).

Por el contrario, en los sistemas no-AAA de Puerto Rico, comúnmente no ocurre el proceso de filtración necesario para la eliminación de los ooquistes de *Crypto* y quistes de *Giardia*, lo cual coloca a los residentes que se suplen de estos sistemas en un nivel crítico de exposición (Robinson, *et al.*, 2015). El sistema de acueducto no-AAA se refiere a los sistemas públicos que no son operados por Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (EPA, 2020). Estos sistemas son comúnmente conocidos como acueductos rurales o comunitarios, deben cumplir con la reglamentación estatal y federal y son supervisados por el Departamento de Salud y la Agencia Federal de Protección Ambiental, según lo establece la Ley para la Conservación, Desarrollo y Uso de Recursos de Agua. Existen aproximadamente 240 sistemas independientes en la Isla. Estos sistemas generalmente no cuentan con los recursos ni accesibilidad financiera, tienen limitaciones de manejo, la estructura anticuada y no cuentan con los operadores ni personal certificado ni adiestrado para manejarlo (Hunter, *et al.*, 2010)

En la Isla, no hay mucha documentación que evidencie brotes por *Cryptosporidium* y *Giardia*, sin embargo, se han hecho estudios que revelan la presencia de este microorganismo en sistemas pequeños de agua en comunidades de la Isla

(Robinson *et al.*, 2015). En el 2015, se reportó por primera vez evidencia de la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* resistentes a la cloración en cuatro sistemas de agua potable pequeños (Robinson, *et al.*, 2015). Estos sistemas pequeños de tratamiento de agua no siempre son dirigidos por personal capacitado ni son construidos con una estructura robusta que asegure un proceso de potabilidad de agua de buena calidad. La presencia de este organismo en las aguas que suplen estos sistemas puede preceder un brote de diarrea o enfermedades gastrointestinales a las comunidades abastecidas.

(Robinson, *et al.*, 2015). Además, estudios serológicos de saliva y heces, confirmaron la infección de residentes de comunidades aisladas con *Crypto* y *Giardia* (Ramírez-Toro, G. y Crespo-Medina. M, 2016). Con otro estudio, se caracterizó molecularmente *Crypto* y *Giardia* encontrado en las muestras de agua de sistemas no-AAA, los genotipos encontrados para ambos demostraron que la fuente de mayor contaminación eran roedores, aunque en algunos sistemas se halló también contaminación humana (Crespo-Medina, M. *et al.*, 2017). Otras publicaciones muestran la tasa de diarreas en comunidades rurales de Puerto Rico y su posible relación con infecciones parasíticas por consumo de agua contaminada (Hunter, 2010) y (Ramírez-Toro, G. y Crespo-Medina. M, 2016).

h. Sistema no-AAA en San Germán

La EPA define CWS (Sistemas de agua comunitarios) por sus siglas en inglés, aquellos sistemas de agua públicos que suplen a la misma población durante todo el año (EPA, 2025). Sistemas pequeños de agua (Small water systems), se refiere a aquellos que abastecen a 3,300 personas o menos. Sistemas muy pequeños de agua (Very small water systems) se refieren a aquellos que abastecen a 500 personas o menos (EPA, 2025).

Estos sistemas comúnmente ubicados en zonas rurales y comunidades desventajadas (SDWA, 2025).

En San Germán, Puerto Rico, actualmente existen tres sistemas no-AAA: Río Piedras, Perichi y Méndez. Este estudio se enfocará en el sistema ubicado en la comunidad Río Piedras, barrio Caín Alto. Según información obtenida durante una entrevista al operador del sistema, este acueducto fue construido “gracias a ayudas brindadas a comunidades aisladas”. Este sistema suple agua aproximadamente 70 casas, trabaja por gravedad, se abastece de agua superficial, y se compone de 3 de tanques. Se utiliza la filtración de múltiples etapas (FiME) en este sistema [Figura 3]. El primer tanque recoge el agua del río a través de un tubo de 10” de ancho con perforaciones de ½” a lo largo del tubo enterrado a 6” [Figura 4]. Sobre este tubo hay hasta 4” de piedras o grava gruesa y una capa de aproximadamente 2” de arena de río. El propósito de las perforaciones y de las piedras sobre el tubo, es evitar que entre basura o cualquier componente grande que pueda tapar la tubería o llegar hasta el tanque. Antes de llegar al primer tanque, hay una válvula [Figura 5] que funciona con energía solar, la cual debe cerrar automáticamente cuando el agua viene muy turbia llena de lodo, especialmente luego de una crecida del río. Dicha válvula está fuera de servicio desde hace varios años. Desde ahí, el tubo se reduce a 4” y luego a 2” hasta llegar al primer tanque de piedra de cantera o grava gruesa, donde la parte superior del tanque tiene grava de ¾” [Figura 6]. Estas piedras requieren limpieza cada 6 meses, pero por falta de personal y recursos no se le ha hecho más de dos limpiezas en aproximadamente 20 años que lleva trabajando el operador entrevistado. Luego, el agua pasa al tanque de filtración lenta con arena de sílice [Figura 8], el cual el entrevistado define como “tanque de arena especial”. Este tanque se

supone que opere con 4” de arena de sílice y se mantenga el cuidado correspondiente cada 6 meses con limpieza y reemplazo de la arena. Actualmente, la arena que tiene este tanque no es la que requiere pues fue reemplazada por otro tipo de arena (arena de río) y tampoco se le da el mantenimiento adecuado de limpieza y reemplazo rutinario, pues al igual que el tanque de grava, en aproximadamente 20 años no se le ha hecho más de dos limpiezas. Finalmente, el agua pasa al tanque de distribución donde se clorina con hipoclorito de calcio UN-1748 para luego ser despachada a los residentes [Figura 9].

Desde hace algunos años este sistema carece de una administración estable y comprometida con el servicio y manejo correcto del mismo. Quienes se han hecho cargo han sido algunos residentes que no constan con el debido conocimiento ni preparación. Cabe resaltar que la mayoría de los residentes de la comunidad son personas <60 años de edad. La falta de apoyo, conocimiento, recursos, y mano de obra han sido factores para el mal manejo del sistema. La falta de mantenimiento y la operación equívoca de los tanques pudieran ser factores cruciales en la determinación de la calidad del agua que llega a los residentes para ser consumida.

Con este estudio se pretende determinar la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en el agua cruda y distribuida por este sistema, lo cual podría explicar el potencial riesgo que implica el mal manejo de la tecnología de filtración.

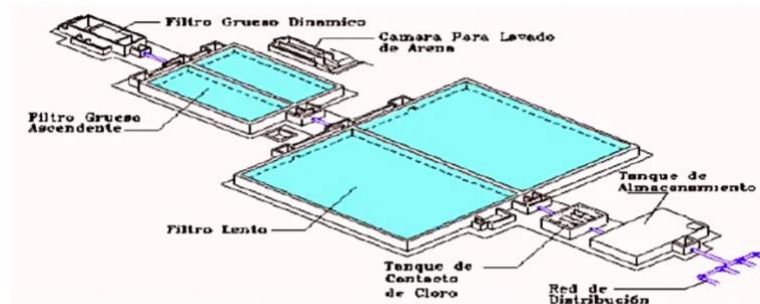


Figura 3 Diagrama de sistema de filtración FiME. Fuente: OPS/CEPIS (2009)



Figura 4 Tubería que recoge agua del río y la lleva al tanque de grava

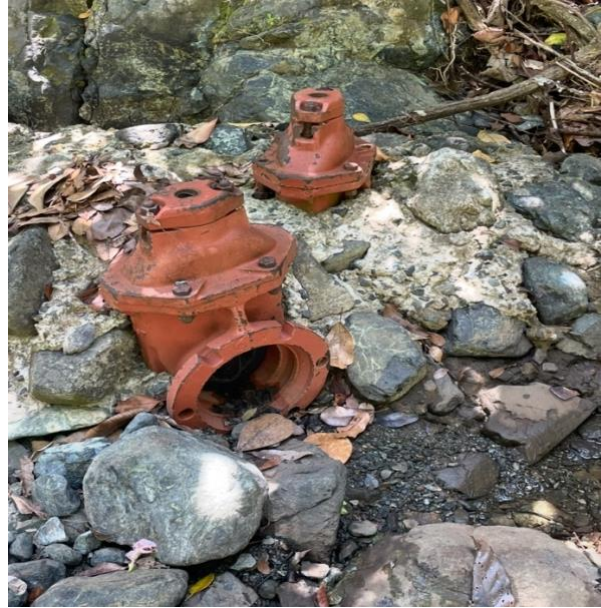


Figura 5 Válvula solar fuera de servicio



Figura 6 Entrada del agua cruda al taque de grava



Figura 7 Tanques de grava



Figura 8 Estructura de tanque de arena y tanque de distribución



Figura 9 Estructura de cloración



Figura 10 Cuarto de cloración y tanque de distribución



Figura 11 Agua tratada en el tanque de distribución

4. Metodología

a. Descripción del sistema

El sistema no-AAA comunidad Río Piedras (PR 0364043), se ubica en el barrio Caín Alto k.m. 5.0 Int. Sector El Hoyo, San Germán, Puerto Rico [Figura 12]. Este sistema definido como sistema muy pequeño de agua comunitario abastece a una población menor 500 durante todo el año (EPA, 2025). Según la EPA, el sistema de agua comunitario cuenta con 75 conexiones y una población total de 204 clientes (EPA, 2025). Sin embargo, con la información recopilada del operador del sistema, actualmente hay 70 conexiones [Figura 13]. La población es mucho menor, pues personas han fallecido y después del Huracán María hubo residentes de la comunidad que se fueron del país, dejando gran cantidad de casas vacías. En el recorrido por la comunidad durante el periodo del muestreo, se contabilizaron aproximadamente 21 casas vacías y se estima que población actual es menor a la estimada utilizando el método del Census Bureau [Tabla 1].

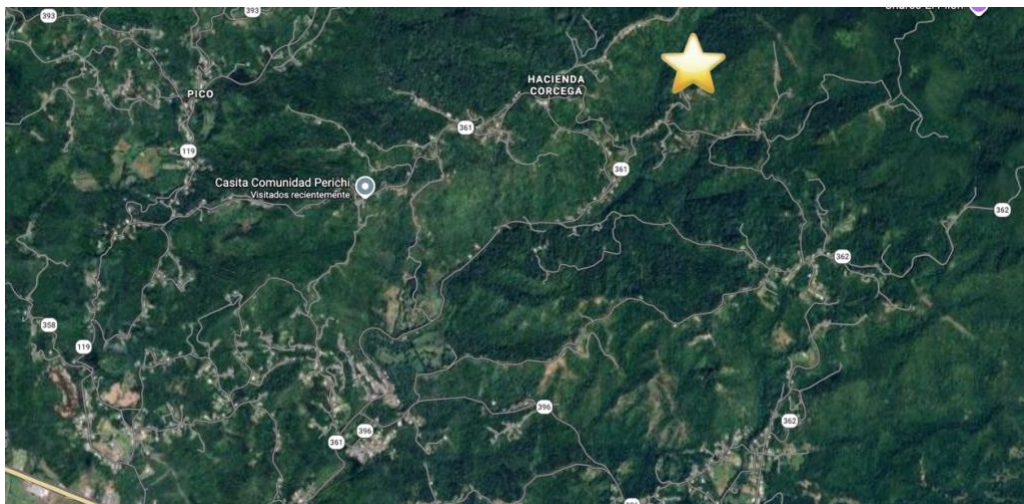


Figura 12 Mapa con la ubicación del sistema: Comunidad Río Piedras, S. G.

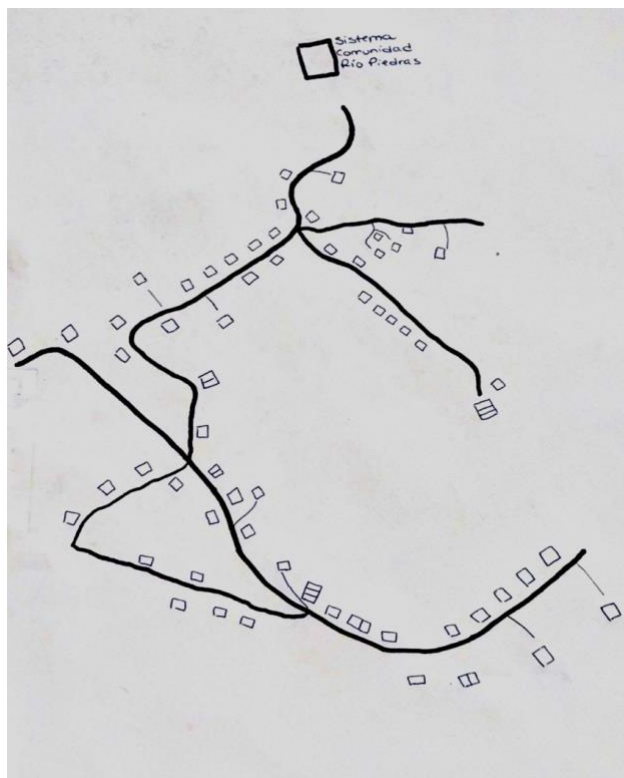


Figura 13 Mapa de las casas de se abastecen del sistema: Comunidad Río Piedras

Tabla 1 Comparación de estimado de la EPA y estimado durante el estudio.

Cantidad de casas estimado por la EPA	Cantidad de personas estimado por la EPA	Cantidad de casas contabilizadas en este estudio	N= Cantidad de personas estimadas en este estudio	n esperado= 30% de la población	n = Cantidad actual de personas que participaron en el estudio
75	204	70	175	53	20

b. Entrevista al operador del sistema- Deficiencias operacionales y de infraestructura en las barreras de protección del sistema

Se realizó una entrevista inicial al operador del sistema, Sr. Edwin Santana, quién explicó la estructura de este y contrastó el funcionamiento actual versus el funcionamiento ideal del sistema.

El operador relató la siguiente información por lo que utilizamos su mismo vocabulario. El sistema trabaja mediante gravedad. Se colecta agua del río, la cual llega a unos tanques llenos de grava (filtros gruesos o filtración rápida) de ¾” donde se filtra lo más grande. Luego pasa a unos tanques con 4” de arena fina de mar (filtración lenta). Finalmente, el agua pasa por el sistema de cloración, hasta llegar al tanque de distribución. Actualmente, el sistema no opera bajo las condiciones ideales por las siguientes razones: no está en funcionamiento la válvula que trabaja con energía solar con la función de cerrar el paso al agua sedimentada cuando el río tiene crecientes, para evitar que esta agua entre a los tanques. La grava y arena de los tanques de filtración del sistema requieren una limpieza cada seis meses, la cual presuntamente solo se ha realizado una vez desde que el operador entrevistado comenzó a operar en el sistema hace aproximadamente 20 años. También, la arena fina de mar (arena de sílice) ha sido reemplazada por otro tipo de arena (arena de río) y tampoco se le da el mantenimiento requerido cada seis meses.

Muestreo: Para lograr los objetivos de esta investigación se realizaron muestreos de calidad de agua en el agua cruda y distribuida del sistema. Las muestras fueron analizadas para determinar características fisicoquímicas del agua.

Los muestreos de agua se hicieron cada dos semanas; cuando se tomaba 1 muestra de la fuente en una llave de grifo de agua a la entrada de la fuente de abasto al sistema y 1 muestra del agua distribuida en un grifo de agua en el punto de muestreo de distribuida, punto utilizado por el Departamento de Salud para sus muestreos. Se hizo por un periodo de tres meses, siendo en total seis muestreos.

- 1) Las muestras de agua cruda se colectaron en una toma de la entrada de la fuente de abasto al sistema [Figura 14].
- 2) Las muestras de agua distribuida fueron colectadas del punto de muestreo del agua distribuida que utiliza el Departamento de Salud [Figura 15].



Figura 14 Punto de muestreo de agua cruda



Figura 15 Punto de muestreo de agua distribuida



*Figura 16 Ensamblaje con tubería, indicador de presión,
filtro con muestra, y medidor de flujo*

Preparación para toma de muestra en ambos puntos de muestreo:

Referencia: Ayala, H. (2016) Protocolo para muestreo en el Filtro Lento de Arena en Mulas (Patillas)

- 1) Al llegar al punto de muestreo, se preparó el área con todos los materiales ubicados sobre una funda plástica grande en el suelo, con la cual se evitó que los materiales y equipos tuvieran contacto con el suelo y también funcionó para protegerlos del sol y la lluvia.
- 2) Los materiales se ubicaron sobre una funda plástica en el suelo en el orden en que se iban a estar utilizando, encendidos y con el QAQC listo.
- 3) Con guantes, se desinfectó la superficie externa de la llave de agua donde se muestreó, con alcohol Isopropilo 70%, evitando hacer contacto en la parte interna de la llave por donde fluye el agua.

c. Análisis fisicoquímicos

En ambos puntos de muestreo se tomó la temperatura, pH, y turbiedad. En el punto de muestreo de la distribuida se añadió el análisis de Cloro Residual (libre y total).

Temperatura: Referencia: Diorki, S. A., Métodos Normativos para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 th Ed.; Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España, 1992. Método 2550.

- 1) Se encendió el termómetro (Fluke 51II Thermometer), asegurando que estuviera en unidad Celsius.
- 2) Se abrió la llave del agua y se introdujo la punta del termómetro en el agua.

- 3) Se esperó a que ocurriera un cambio en temperatura y que se estabilizara la medida en el termómetro por al menos 1 minuto.
- 4) Se anotó la hora y la temperatura tomada.

pH: Referencia: Diorki, S. A., Métodos Normativos para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 th Ed.; Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España, 1992. Método 4500 B.

- 1) Se realizó la calibración de 3 puntos del equipo (Starter 300 OHAUS portable pH meter), según el manual de operador.
- 2) Se limpió el probe del metro de pH con agua RODI (Reverse Osmosis Deionization).
- 3) Se secó con paños químicamente limpios (Kimwipes, KIMTECH).
- 4) Se introdujo el probe del metro de pH en el agua a muestrear.
- 5) Se esperó a que la lectura del metro de pH se estabilizara o dejara de cambiar los mV (milivoltios), que es la señal que recibe el metro de pH, midiendo los milivoltios y convirtiendo esta señal en la escala de pH (Ohaus Manual de Instrucciones, 2014)
- 6) Se anotó la medida de pH.
- 7) Se repitió paso 2 y 3 para guardar el metro de pH.

Turbidez: Referencia: Diorki, S. A., Métodos Normativos para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17 th Ed.; Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España, 1992. Método 2130.

- 1) Se utilizó el equipo de campo (HACH 2100 Q is Portable Turbidimeter).
- 2) Se ingresó fecha y hora aplicable.

- 3) Se colocó el equipo en una superficie plana y estable. Se encendió y se esperó 5 minutos para que el equipo llegara a temperatura operacional ideal.
- 4) Se calibró el equipo utilizando los estándares de 20NTU, 100NTU y 800NTU. El de 10NTU se utilizó para la verificación de calibración.
- 5) Se colectó la muestra de agua en la celda del turbidímetro, se agitó 3 veces con movimiento de 180° y se tomó la turbidez con el turbidímetro.

Cloro Libre y Cloro Residual: Referencia: (DOC326.98.00032 HACH Chlorine Test Kit CN- 80 (2120999), 2016)

Esta prueba se realizó únicamente del punto de muestreo de agua distribuida.

- 1) Se comenzó con la prueba de Cloro Total utilizando (CL2 HACH Test kit).
- 2) Se enjuagó y se llenó el tubo control con agua del punto de distribución.
- 3) Se enjuagó el tubo de prueba y se añadió el reactivo DPD Total (N, N-dietil-p-fenilendiamina) al tubo de prueba.
- 4) Se llenó el tubo de prueba hasta la marca de 5mL con el agua del tubo control. Se tapó y se agitó levemente.
- 5) Se esperó 3 minutos.
- 6) Se colocó el tubo en la caja de lectura.
- 7) Se miró contra una superficie blanca y con luz, se giró la rueda buscando el color del indicador igual al tubo de prueba. Se anotó el número indicado en la lectura correspondiente al cloro total en el agua.
- 8) Luego se procedió a leer el Cloro Libre (DOC326.98.00032 HACH Chlorine Test Kit CN- 80 (2120999), 2016)
- 9) Se enjuagó y se llenó el tubo control con agua de la fuente.

- 10) Se enjuagó el tubo de prueba con el agua del tubo control.
- 11) Se añadió el reactivo DPD Free al tubo de prueba.
- 12) Se llenó el tubo de prueba hasta la marca de 5 mL con el agua del tubo control, se tapó y se agitó levemente.
- 13) Antes del minuto se colocó el tubo en la caja de lectura y contra una superficie blanca y con luz se giró la rueda buscando el color del indicador igual al tubo de prueba. Se anotó el número indicado en la lectura correspondiente al cloro libre en el agua.

d. Análisis parasitológico: se determinó la presencia de *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* utilizando el Método 1623 definido por la EPA en 2005, “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA” y “The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 - Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and cysts”. Estos métodos se basan en monitorear y analizar agua para la detección de *Cryptosporidium* y *Giardia* por medio de filtración, separación inmunomagnética y análisis con inmunofluorescencia. Este método está validado para aguas superficiales y cumple con los requisitos de estudio y monitoreo de la US EPA (EPA, 2005).

Filtración de la muestra - muestreo de protozoarios:

Referencia: “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA” y “The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 - Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts”.

- 1) El equipo utilizado para la filtración fue un ensamblaje o “rig”, compuesto de tubos, un indicador de presión, el filtro, y un medidor de flujo [Figura 16].
- 2) El filtro utilizado para coleccionar la muestra fue (“Pall Corporation, Envirochek HV, 1.0 μm Sampling Capsule”).
- 3) Para comenzar la filtración de la muestra, se conectó el “rig” sin el filtro al grifo del punto de muestreo.
- 4) Se abrió la llave y se hizo un lavado del “rig” por 10 minutos, donde se dejó correr agua por el ensamblaje sin tener el filtro en sitio.
- 5) Al finalizar el lavado de 10 min, se cerró la llave para conectar el filtro al “rig”. Se abrió la llave y se comenzó la filtración anotando la cantidad de galones que mostraba el medidor de flujo como medida inicial, para saber cuántos galones se estarían filtrando.
- 6) Se mantuvo la presión durante la filtración menor a 57 psi.
Para cada muestra, el objetivo fue filtrar 65 galones.
- 7) Al finalizar la filtración, se desconectó el ensamblaje y se cubrió el filtro con papel de aluminio para proteger de la luz y se colocó dentro de bolsas “ziplocks” para transportarlo hacia el laboratorio.
- 8) Se colocó en nevera portable con “ice packs”.
- 9) Las muestras se guardaron en la nevera del laboratorio a $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta ser procesadas.

Procesamiento de muestras:

“Elution” (Elución)

Referencia: “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA” y “The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 - Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and cysts”

- 1) Antes de que pasaran 96 horas desde de la filtración, se comenzó a procesar la muestra.
- 2) Se removían los filtros con las muestras al menos 30 minutos antes de comenzar el proceso para que tomaran temperatura ambiente.
- 3) Se calentaba el “Pre-Treatment Buffer” y el “Buffer Solution” a 37°C, previamente preparados.
- 4) Con el “Pre-Treatment Buffer” y movimientos con el equipo agitador [Figura 19], se limpia el sucio grueso y particulado en exceso que tuviera la cápsula con la muestra.
- 5) Luego, con el “Buffer” se despegó toda materia y organismos del filtro para pasarlo a tubos de centrifuga.
- 6) En la centrifuga se concentraron todas las células en un pellet, y decantaba el resto de materia suspendida.
- 7) Luego, se unieron los pellets de cada tubo correspondiente a cada muestra y se refrigeraron a $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$ hasta hacer el IMS.



Figura 17 Cápsulas de muestras en proceso de Elution.



Figura 18 Cápsulas de muestras en "Shaker"

IMS ("Immunomagnetic Separation" /Separación

Inmunomagnética)

Referencia: "Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by

Filtration/IMS/FA" y "The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 -

Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and cysts"

- 1) Antes de cumplirse 72 horas desde el "elution", se continuó el procesamiento de muestras con el IMS.
- 2) Se resuspendía el pellet guardado del paso de Elución, este se pasaba en su totalidad a tubos Leighton con los reactivos y micromagnetos ("Dynabeads GC-Combo de Applied biosystems by Thermo Fisher scientific").

- 3) A su vez, se prepararon los controles positivo y negativo con suspensión de *Cryptosporidium* y *Giardia*.
- 4) Se incubaban durante una hora mezclando en el Invitrogen.
- 5) Luego, se hizo la separación magnética con un magneto, logrando separar los “microbeads” con los ooquistes y quistes, del resto de la muestra.
- 6) Estos “beads” se pasaban a tubos de centrifuga de 1.5mL.
- 7) Mediante lavados con HCL, vórtex y un magneto, se separaron los quistes y ooquistes de los “beads” para pasar cada muestra a la laminilla correspondiente.
- 8) Si no se hacía tinción de laminillas en el mismo día, las mismas se guardaban en un cajón oscuro y seco a temperatura de salón.
- 9) Antes de pasar las 72 horas desde el IMS, se hizo tinción de las laminillas con DAPI (Diamidino-2-fenilindol) y FITC (Isotiocianato de fluoresceína).
- 10) Estas se almacenaron en una caja oscura, en un lugar seco y donde no entrara luz a temperatura de salón hasta que se fueran a observar en el microscopio.

Examen microscópico

Referencia: “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA” y “The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 - Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and cysts”

- 1) Las laminillas se observaron a través de un microscopio de fluorescencia (“Olympus U-HGLGPS, model: BX53”) en un cuarto completamente oscuro.
- 2) El bulbo de fluorescencia se encendía y se dejaba calentar durante 30 minutos antes de comenzar a utilizar el microscopio.

- 3) Se observaron las laminillas de controles positivo y negativo para asegurarse que tanto el proceso de IMS, como de tinción se hizo de manera correcta.
- 4) Se hizo un barrido en cada laminilla, bajo el filtro para FITC, buscando estructuras verdes brillante de ooquistes de *Crypto* y quistes de *Giardia*.
- 5) Cuando se identificaba alguna potencial estructura de los parásitos estudiados, se miraban bajo el filtro DAPI, para confirmar la presencia del microorganismo mirando su material de ADN teñido de azul intenso.
- 6) Se registraba el conteo en una libreta de laboratorio.



Figura 19 Microscopio de fluorescencia Olympus U-HGLGPS, model: BX53

Limpieza de equipo y puntos de muestreo

Referencia: “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA” y “The Microbiology of Drinking Water (2010) - Part 14 - Methods for the isolation, identification and enumeration of *Cryptosporidium* oocysts and cysts”

- 1) El proceso de limpieza del “rig” y de la cristalería se realizó con (Labtone), un detergente alcalino suave y agua RODI.
- 2) Se utilizó Cloro 2% y agua RODI para la limpieza de “ice packs”, nevera portátil, y las superficies para el procesamiento de muestras.
- 3) En los puntos de muestreo, se utilizó alcohol Isopropilo 70% para la limpieza externa de los grifos donde se muestreó.
- 4) Para la limpieza del microscopio se utilizó alcohol Isopropilo 50% y “Lens paper”.

e. Encuestas

Se hizo un estudio de salud a los clientes del sistema: Río Piedras, Caín Alto realizando una encuesta inicial y encuestas de seguimiento semanales, durante el periodo del muestreo de tres meses. Estas encuestas se utilizaron para determinar el uso de agua del sistema por los consumidores y si algún consumidor presentó síntomas de enfermedades gastrointestinales.

Se diseñó un estudio epidemiológico de cohorte con encuesta inicial donde se recopilaron datos de los siguientes temas:

- Socio economía- se observó la tendencia del estatus social, económico, conocimiento y educación en los residentes de la comunidad
- Uso de agua- se conoció la frecuencia con la cual se consume el agua en el hogar y qué tipo de uso le dan a la misma los residentes
- Síntomas de enfermedades gastrointestinales- se evaluó si algún residente presentó síntomas de enfermedades gastrointestinales, y se buscó la relación con la presencia de los microorganismos en el sistema de agua estudiado.

Estas encuestas se diseñaron, se enviaron a evaluar por jueces y se sometieron al comité del IRB (Junta de Revisión Institucional) de la Universidad Interamericana de Puerto Rico, recinto San Germán para evaluación. Previamente fueron autorizadas para su debido uso con el consentimiento firmado de cada individuo (IRBNET ID: 2158433-1). Para el desarrollo de las encuestas algunas preguntas fueron adaptadas de “**A study to investigate the health benefits from installation of community level water filtration (CECIA; Gabriella & Paul Rosenbaum Foundation) IRB#1555186-1, Form #4**”. En el documento de “Encuesta Inicial” y “Diarios semanales” se señalaron las preguntas específicas que fueron adaptadas por el mencionado estudio.

Encuesta Inicial [Apéndice 4]:

Entre los datos que se recopilaban durante la encuesta inicial se encuentran los siguientes: edad del entrevistado y si padece alguna enfermedad inmunocomprometida. Se le preguntó si toman agua del sistema, si la utilizaron para cocinar, o para uso higiénico. Si compran agua embotellada para el consumo o tienen algún filtro portátil en su hogar. Se preguntó si se abastecen solo del agua del sistema estudiado, o si tienen conexión a otro sistema como AAA o pozo/ manantial.

Diarios de salud [Apéndice 5]:

Se complementó con un estudio epidemiológico de cohorte (diarios de salud) a los residentes de la comunidad por medio de encuestas las cuales ayudaron a determinar si existen síntomas de enfermedades gastrointestinales que pudieran relacionarse al consumo de agua del sistema.

Cada dos semanas, en paralelo con los muestreos de agua del sistema, se realizaron las siguientes preguntas a los participantes: si consumieron del agua del sistema en ese

periodo, si tuvieron algún síntoma de enfermedades gastrointestinales (diarrea acuosa, náuseas, vómitos, dolor abdominal, fiebre, deshidratación, pérdida de peso repentidamente) y si recibió tratamiento médico.

Proceso de reclutamiento y monitoreo

- 1) Se entregó el anuncio de invitación (Flyer) [Apéndice 1] en todas las residencias de la comunidad a las que suple el sistema de agua no-AAA estudiado, indicando que se pasaría en las próximas semanas para dar más información y solicitar su participación.
- 2) Se utilizó una “Guía para Evaluar Criterios de Selección” [Apéndice 2]
- 3) A los residentes mayores de 21 años, se le describió el proyecto y su rol como residente de la comunidad y se aclararon dudas.
- 4) Si el residente mayor de 21 años mostró interés en participar, se verificó que cumpliera con los criterios del estudio según la Guía para Evaluar Criterios de Selección.
- 5) Si cumplía con los criterios de selección, se le proveyó el Consentimiento Informado [Apéndice 3]. Se le dio espacio para aclarar dudas.
- 6) Luego de un término de siete días para que el participante evaluara y decidiera si deseaba participar y firmar el Consentimiento
- 7) Se visitó nuevamente para que firmara el Consentimiento, si así deseaba.
- 8) Una vez firmara el participante, se procedió a la Entrevista Inicial [Apéndice 4].
- 9) Una vez completada la Entrevista Inicial, se le entregó a cada participante los Diarios Semanales [Apéndice 5], los cuales se estuvieron recogiendo y entregando cada dos semanas.

10) En las visitas de seguimiento cada dos semanas, se colectaban los diarios semanales, y se les preguntaba si deseaban seguir participando, para entregarles los diarios semanales de las próximas semanas.

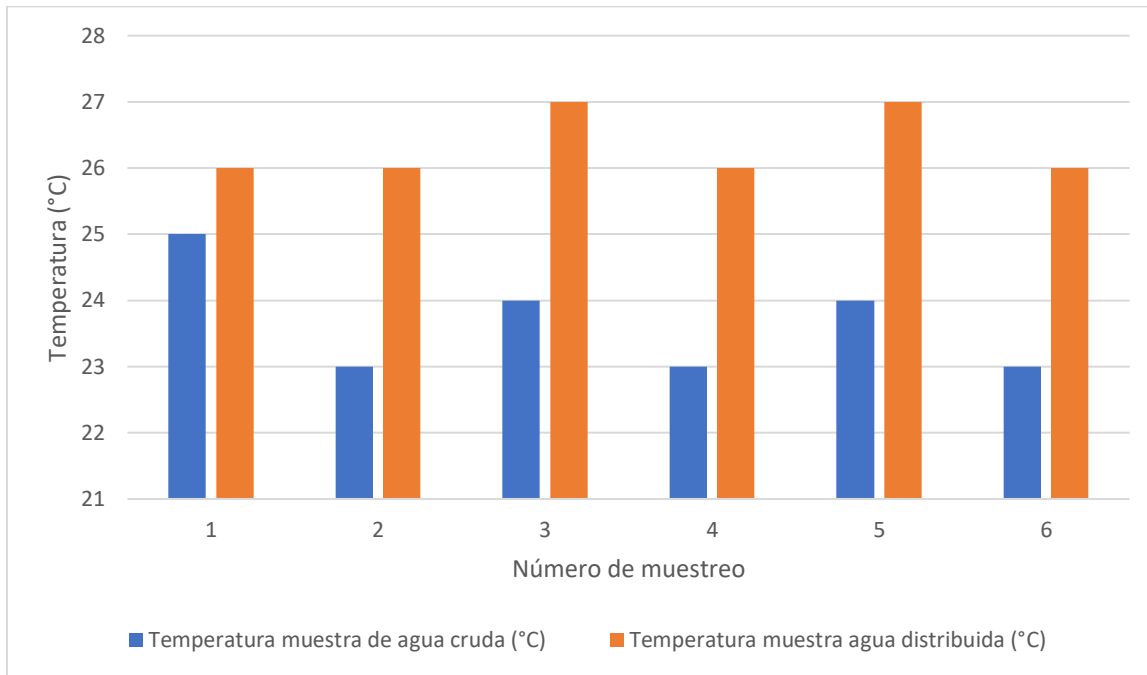
f. Análisis de datos

La data recopilada en las encuestas sobre el uso del agua y el nivel de exposición de cada residente fue analizada contra los resultados de los muestreos correspondientes del sistema no-AAA; donde, se esperaba determinar la calidad del agua y la incidencia de síntomas de enfermedades gastrointestinales en la comunidad. Se aplicaron métodos estadísticos tales como: estadísticas descriptivas (Media, Mediana, Desviación estándar y Varianza) para el análisis fisicoquímico. Por otro lado, la prueba de Regresión de Poisson y Regresión Binomial Negativa se utilizaron para correlacionar la incidencia de síntomas gastrointestinales y la prevalencia de los parásitos en el agua distribuida.

5. Resultados

Muestreos de parámetros fisicoquímicos- calidad de agua

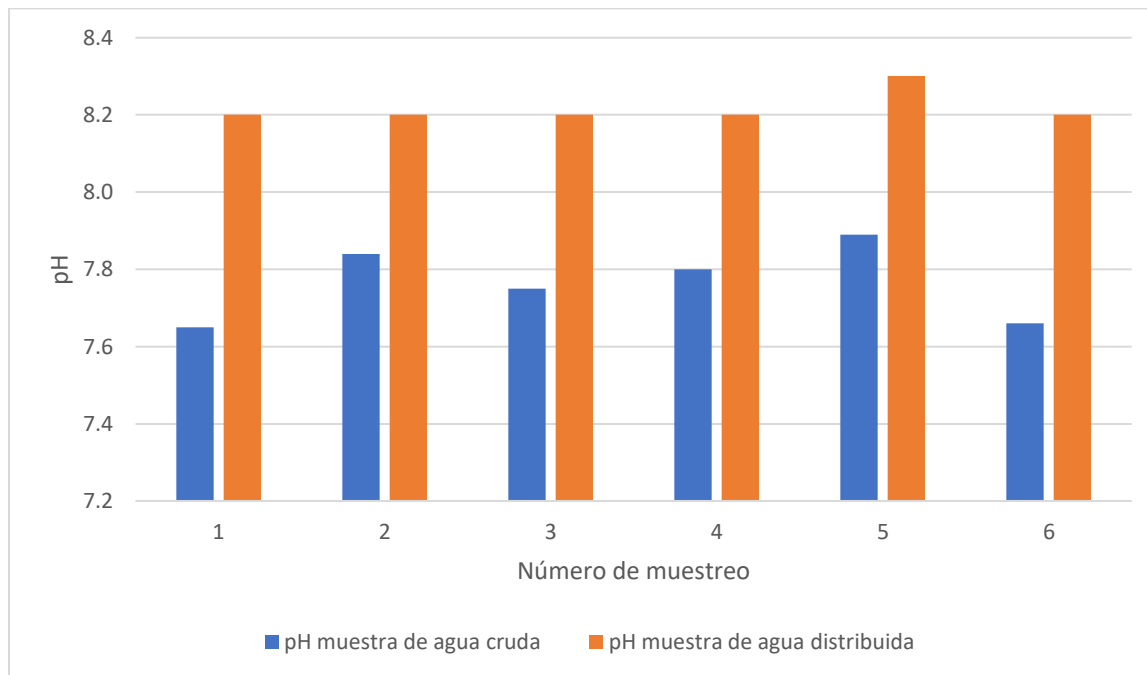
Figura 20. Resultados de la medición de temperatura del agua cruda y el agua distribuida durante los 6 muestreos (enumerados 1-6).



El agua cruda tuvo una temperatura promedio de 24°C, mientras que el agua distribuida tuvo una temperatura promedio de 26°C. Utilizando la prueba estadística de T-Student, se pudo confirmar (valor de $p=0.0005$) que el cambio en temperatura entre el agua cruda y el agua distribuida es estadísticamente significativo. El promedio de diferencia en temperatura es de 3°C entre el agua muestreada cruda y la distribuida, podría deberse a que el agua cruda se muestreaba siempre entre 7am y 9am, mientras que la distribuida se muestreaba cerca del mediodía. En adición, cabe destacar que el agua cruda se muestreó en su entrada al sistema viniendo directamente del río donde la sombra de la vegetación y follaje cubrían en todo momento, mientras que el agua distribuida tenía que pasar por una serie de tanques en cemento y tapas de

zinc, y atravesando la comunidad a través de tubería en PVC, todo esto con mayor exposición al sol.

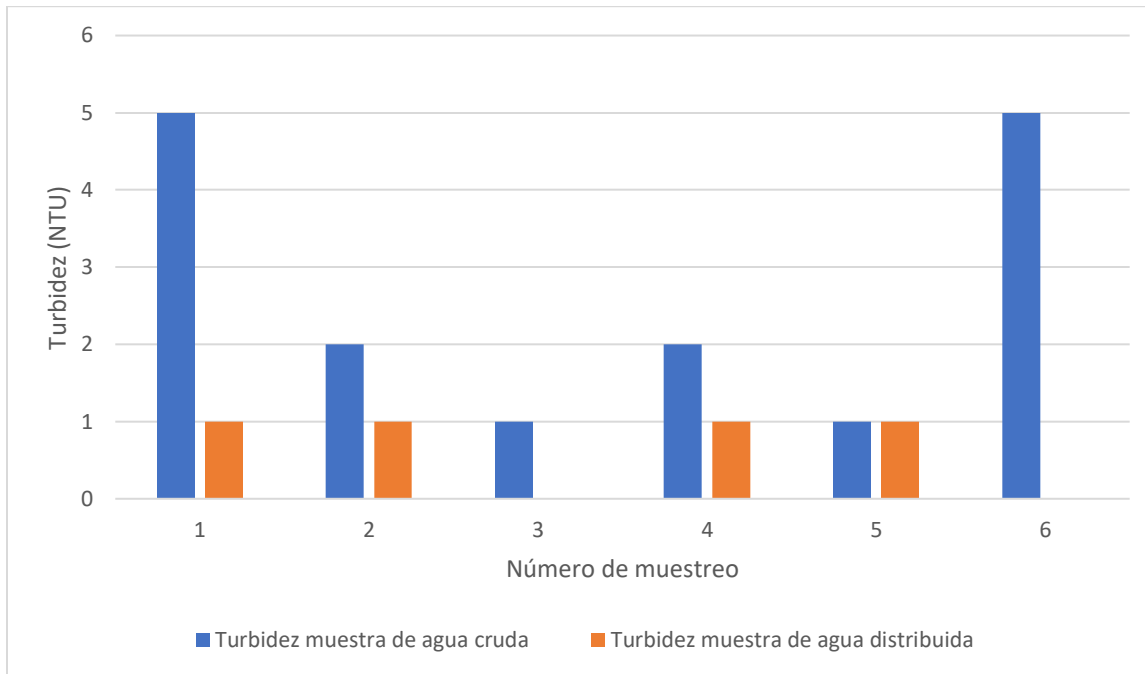
Figura 21. Resultados de la medición de pH de agua cruda y agua distribuida durante los 6 muestreos (enumerados 1-6).



El agua cruda mostró un promedio de pH de 7.8, mientras que el agua distribuida mostró un promedio de pH de 8.2. El pH es aceptable en agua para consumo en un rango de 6.5-8.5 (EPA, 2025). Sin embargo, estudios han demostrado que el pH del agua puede influir en la especie germicida del cloro al disolverse en el agua como desinfectante presente en el agua y, por ende, en la eficiencia de este (Jarroll, E. *et al.*, 1981) y (Ramírez-Toro, G., 1991). La mayor eficiencia de la cloración se ha podido observar a niveles de pH <7.0, mientras que se requiere mayor concentración de cloro para que sea eficiente la desinfección en pH >8.0. (Jarroll, E. *et al.*, 1981) y (Ramírez-Toro, G., 1991). A pH bajos, el cloro mayormente está como HOCl, el cual es más eficaz como

desinfectante, por otra parte, por encima de pH de 7.5, el cloro predomina como OCl^- , el cual es un desinfectante débil (Cheremisinoff, N. *et al*, 1981).

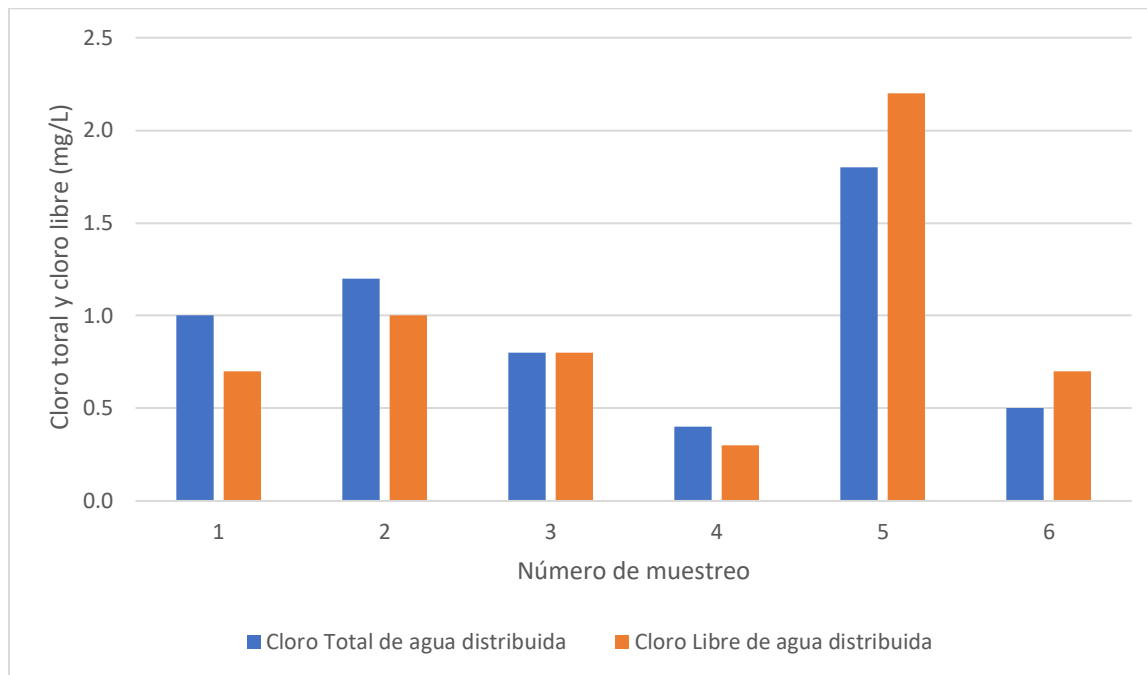
Figura 22. Resultados de la turbidez del agua cruda y el agua distribuida durante los 6 muestreos (enumerados 1-6).



Según la EPA, la turbidez en el agua de la fuente antes de tratamiento no debe exceder 5 NTU (EPA, 2025). En los muestreos de cruda, la turbidez se mantuvo en 5 NTU o menos. Luego de filtración lenta la turbidez debe ser ≤ 0.3 NTU en el 95% de las muestras mensuales y nunca exceder 1NTU al momento de salir de la planta de tratamiento, lo cual no solo hará eficaz la desinfección, sino que va a limitar la creación de “desinfection by-products” (EPA, 2025). En los muestreos de agua distribuida realizados para este proyecto, el máximo de turbidez leído fue 1 NTU en 4/6 muestreos. Solo en 2/6 muestreos la turbidez fue ≤ 0.3 NTU. De acuerdo con las regulaciones de la EPA y el Departamento de Salud los muestreos deben tomarse cada 4 horas mientras para

tener un registro significativo. Para propósitos de esta investigación se tomaron muestras cada 2 semanas.

Figura 23. Resultados del Cloro total y Cloro libre en el agua distribuida durante los 6 muestreos (enumerados 1-6).



El cloro residual en agua potable debe ser $\leq 4.0\text{mg/L}$ al salir de la planta de tratamiento (EPA, 2025). El cloro residual tiene un mínimo de 0.2 mg/L en la red en PR (Departamento de Salud de PR, 2022). En los muestreos #5 y #6 el Cloro Libre fue mayor al Cloro Total. En la [Figura 22] se puede observar que el muestreo con el pH más alto fue el muestreo #5. Según lo explican Jarroll, E. y Ramírez-Toro, G., el pH va a impactar al cloro como desinfectante en el agua y a la concentración de cloro requerida. Cuando se utiliza el cloro como desinfectante, en el agua reacciona formando como productos HOCl (ácido hipocloroso) y OCl⁻ (ion de hipoclorito) (Cheremisinoff, N. *et al.*, 1981). A pH bajos, el cloro mayormente está como HOCl, el cual es más eficaz como desinfectante, por otra parte, por encima de pH de 7.5, el cloro predomina como OCl⁻, el

cual es un desinfectante débil (Cheremisinoff, N. *et al.*, 1981). También, en el agua puede haber otros compuestos dispersos que, al reaccionar con las moléculas del Cloro pueden crear compuestos derivados de Nitrógeno-Cloro, los cuales pueden interferir en la determinación de cloro total y cloro libre a la hora de tomar la medida. (Ramírez-Toro, G.,1991).

Muestreo de protozoarios- Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* en muestras de agua cruda y agua distribuida.

Tabla 2. Resultados del examen de laminillas bajo microscopio de fluorescencia para determinar la presencia de los parásitos en el agua cruda y agua distribuida.

En el agua cruda: se observó presencia de Crypto y *Giardia* en los 6 muestreos.

En el agua distribuida: se observó Crypto en los muestreos #2, #3, #5, y #6; y *Giardia* se encontró en los muestreos #5 y #6. En muestreo #1 y #4 no hubo hallazgos en las laminillas.

Aunque en el muestreo #1 se vieron OLB (“Oocyst-like body”, por sus siglas en inglés) que no tiñeron para DAPI.

La ausencia de estos parásitos en las laminillas no descarta la presencia de ellos en el agua, pues otros estudios han confirmado la presencia de estos parásitos en el agua muestreada utilizando otra técnica como PCR (Crespo-Medina, M *et al*, 2017).

Fecha del muestreo	Agua Cruda				Agua Distribuida			
	Ooquistes de Crypto	Quistes de Giardia	OLB*	GLB*	Ooquistes de Crypto	Quistes de Giardia	OLB*	GLB*
16-Ago-25	3	4	2	1	0	0	2	0
30-Ago-25	21	22	3	4	1	0	0	2
13-Sep-25	2	1	0	1	33	0	0	1
27-Sep-25	1	3	0	0	0	0	0	0
12-Oct-25	3	4	1	1	1	2	0	0
25-Oct-25	3	1	0	0	7	3	0	0

*OLB (“Oocyst like-body”) GLB (“Giardia like-body”) por sus siglas en inglés, representan estructuras teñidas por FITC, pero que no se pudieron confirmar por medio de DAPI.

$$\text{Incidencia de Crypto Cruda} = \left(\frac{\text{Número de muestreos con presencia}}{\text{Total de muestreos analizados}} \right) \times 100$$

$$= (6/6) \times 100 = \mathbf{100\%}$$

$$\text{Incidencia de Giardia Cruda} = \left(\frac{\text{Número de muestreos con presencia}}{\text{Total de muestreos analizados}} \right) \times 100$$

$$= (6/6) \times 100 = \mathbf{100\%}$$

En el agua cruda hay una incidencia de 100% tanto para Crypto como para *Giardia* ya que en los seis muestreos se detectó presencia de ambos parásitos. Esto significa que la fuente de agua que abastece al sistema está siendo expuesta a contaminación constante.

$$\text{Incidencia de Crypto en Distribuida} = \left(\frac{\text{Número de muestreos con presencia}}{\text{Total de muestreos analizados}} \right) \times 100$$

$$= (4/6) \times 100 = \mathbf{66.7\%}$$

$$\text{Incidencia de Giardia en Distribuida} = \left(\frac{\text{Número de muestreos con presencia}}{\text{Total de muestreos analizados}} \right) \times 100$$

$$= (2/6) \times 100 = \mathbf{33.3\%}$$

La incidencia de los parásitos de *Crypto* en el agua distribuida es de 66.7% y de *Giardia* en de 33.3%. Un valor muy alto y preocupante para agua tratada para consumo humano ya que el Dpto. de Salud de Puerto Rico. Esto puede ser indicativo de fallo constante en la barrera del sistema para estos microorganismos.

Tabla 3. Análisis de correlación entre síntomas de enfermedades gastrointestinales y presencia de *Crypto* y *Giardia* en el agua distribuida del sistema. Se utilizó el método estadístico de Regresión de Poisson y Regresión Binomial Negativa.

Síntoma	Coefficiente (β_1)	Riesgo Relativo
Diarrea	-1.705	0.181
Nauseas	-0.875	0.416
Dolor abdominal	-0.632	0.531

Para este análisis se correlacionó la data del análisis microbiológico de cada muestreo con los síntomas reportados durante las 2 semanas subsiguientes a cada muestreo. Se realizó de este modo ya que, según el ciclo de vida descrito por el CDC, el periodo de incubación de estos parásitos ocurre entre el día 2-10 para *Crypto* y de 1-14 para *Giardia*. Los resultados del análisis muestran un Riesgo Relativo (IRR) < 1.0 para todos los síntomas evaluados. Esto significa una relación inversa a la que se pretendía hallar entre los síntomas y los microorganismos encontrados en el agua; al contrario de lo que se esperaba dado a la alta incidencia en síntomas, el análisis señala más personas enfermas en semanas donde no se hallaron los microorganismos estudiados en el agua.

Esto puede deberse a varias razones:

- El tamaño de la muestra, ya que el estudio cuenta con un periodo limitado de observación (6 muestreos cada 2 semanas). Para este tipo de análisis tener más data disminuye las fluctuaciones aleatorias que afectan los resultados.
- El periodo de incubación de las infecciones, las cuales pueden variar de persona a persona y no necesariamente mostrar síntomas en el periodo subsiguiente. Para *Crypto* el periodo de incubación ocurrir entre el día 2 al día 10, con un promedio de 7 días para mostrar síntomas. Por otro lado, *Giardia* puede ser del día 1 al día 14, con un promedio de 7 días para mostrar síntomas.
- En los muestreos que no hubo hallazgos en las laminillas, sin embargo, sí hubo reportes de síntomas, no necesariamente significa que el agua estaba libre de los microorganismos, pues en otros estudios se ha confirmado la presencia de *Crypto* y *Giardia* en muestras de agua, por medio de la técnica de PCR, después de haber dado negativo a estos en las laminillas (Crespo-Medina, M. *et al*, 2017).
- Adicional, puede haber contaminación en el agua de otro tipo, que no necesariamente sean los parásitos estudiados en esta investigación.

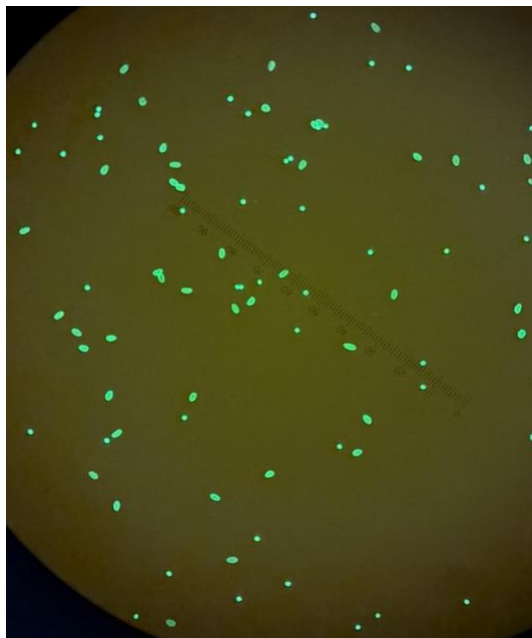


Figura 24 Control positivo de tinción (20x)

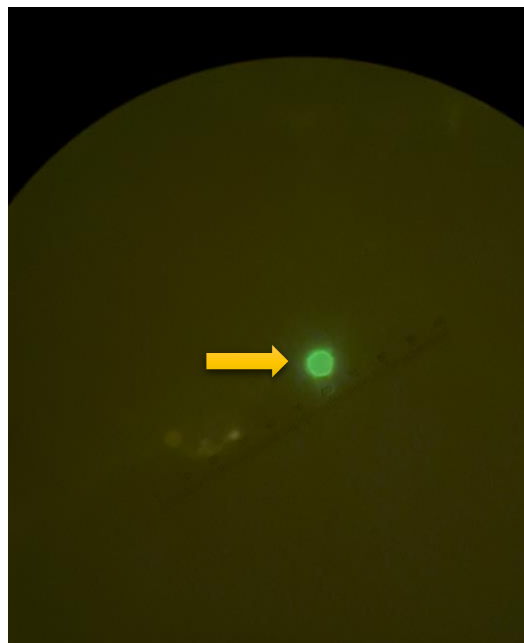


Figura 25 Crypto en agua distribuida de muestreo #2 (100xOil)

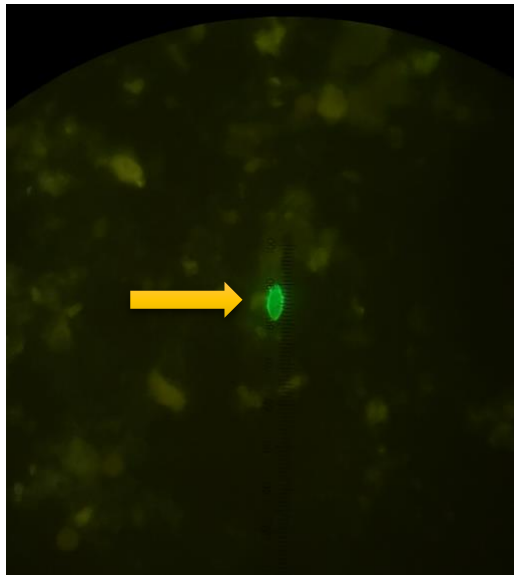


Figura 26 Giardia en agua cruda de muestreo #2(100xOil)

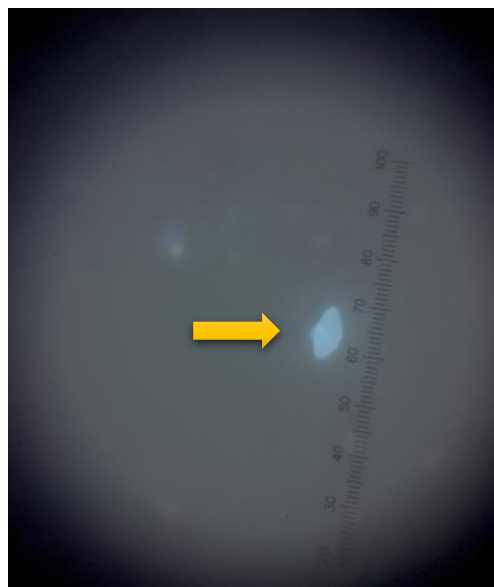


Figura 27 Giardia en agua distribuida de muestreo #5(100xOil)

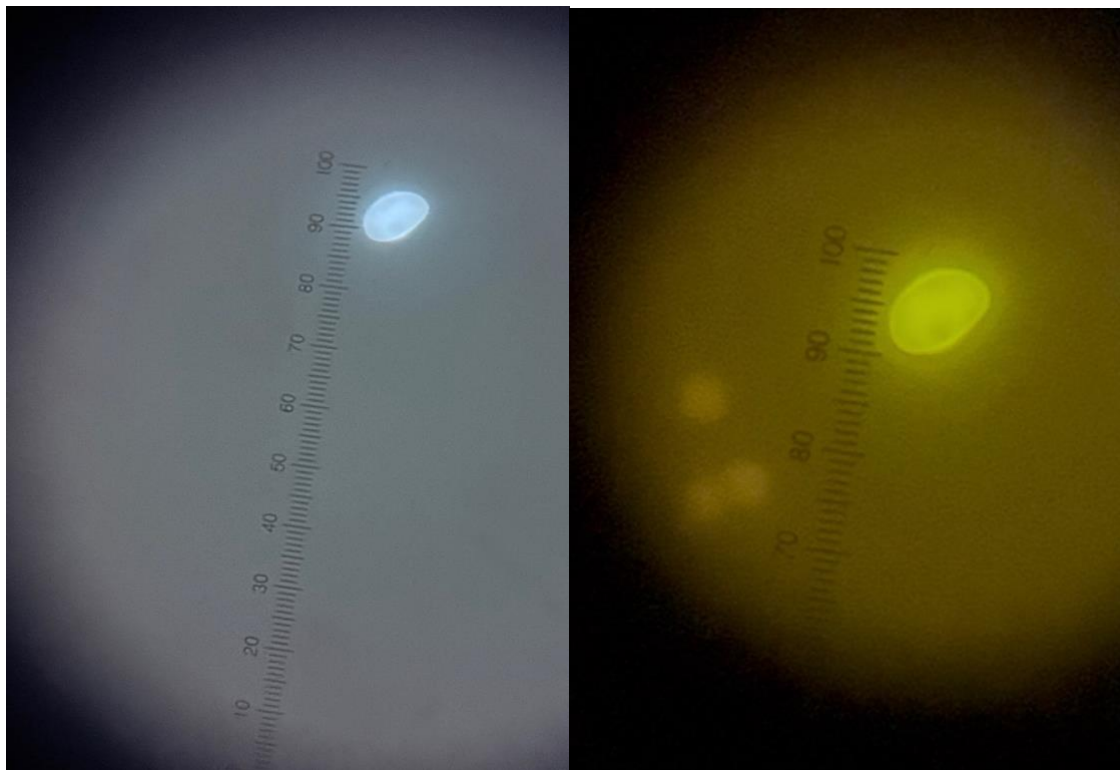


Figura 28 Giardia en agua distribuida de muestreo #5, comparación tinción DAPI vs tinción FITC (100xOil)



Figura 29 Crypto en agua distribuida de muestreo #6 (100xOil)

Encuestas a la comunidad

Resultados de Encuesta Inicial

Se realizó una encuesta inicial por casa, donde se colectó información socio económica, académica, y uso del agua del sistema en cada hogar.

Tabla 4: Edad del miembro cabeza del hogar

Rango de Edad	Frecuencia	Porcentaje
> 50 años	4	57%
< 50 años	3	43%
Total	7	100%

Los resultados mostraron que 57% (4/7) de los hogares participantes son encabezado por personas mayores de 50 años.

Tabla 5: Género

Género	Frecuencia	Porcentaje
Femenino (F)	5	71%
Masculino (M)	2	29%
Total	7	100%

En los hogares participantes, 71% (5/7) son encabezados por féminas.

Tabla 6: Cantidad de personas en el hogar

Personas por hogar	Frecuencia	Porcentaje
2 personas	1	14%
3 personas	3	43%
4 personas	2	29%
6 personas	1	14%
Total	7	100%

Según la encuesta inicial en 43% (3/7) hogares viven 3 personas, le sigue un 29% (2/7) hogares que viven 4 personas.

Tabla 7: Ocupación de la cabeza del hogar

Ocupación	Frecuencia	Porcentaje
Ama de casa	2	29%
Guardia universitario	1	14%
Militar	1	14%
Desempleado	1	14%
Ayudante de carpintero	1	14%
Incapacitada	1	14%
Total	7	100%

Según la encuesta inicial, 29% (2/7) hogares, la cabeza del hogar se dedica a ser ama de casa. En el resto de las familias se documentó diversidad de profesiones.

Tabla 8: Grado académico más alto

Nivel Educativo	Frecuencia	Porcentaje
Elemental	1	14%
Intermedia	2	29%
Superior	3	43%
Universidad	1	14%
Total	7	100%

Para el miembro cabeza del hogar, 43% (3/7) hogares indicaron tener el grado de escuela superior completado. Y 12% (1/7) tiene grado universitario. El resto de los hogares indicó tener completado el grado de intermedia (29%) y elemental (14%).

Tabla 9: Enfermedad autoinmune en el hogar

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
No	4	57%
Sí	2	29%
Prefiere no contestar	1	14%
Total	7	100%

En 29% (2/7) casas, indicaron tener familiares con enfermedades auto inmunes viviendo en el hogar.

Tabla 10: Tipo de agua que se suplen

Origen del Agua	Frecuencia	Porcentaje
Superficial	7	100%
Total	7	100%

El 100% (7/7) de las casas participantes indicaron que sus hogares solo tienen acceso a la conexión del sistema estudiado que se suple de agua superficial (de río).

Tabla 11: Tipo de agua para consumo

Fuente de Consumo	Frecuencia	Porcentaje
Solo Embotellada	3	43%
Mixta (Embotellada / Río)	4	57%
Total	7	100%

El 57% (4/7) de los hogares indicaron consumir tanto del agua embotellada como del río (del sistema). Un 43% (3/7) casas indicaron consumir solo agua embotellada.

Tabla 12: Tratamiento del agua en el hogar

Método de Tratamiento	Frecuencia	Porcentaje
Ninguno	4	57%
Hervida	1	14%
Filtro nevera o fregadero	2	29%
Total	7	100%

El 57% (4/7) hogares no le brindan ningún tipo de tratamiento al agua en sus casas. Un 29% (2/7) hogares cuentan con un filtro en el fregadero o nevera. Solo 14% (1/7) casa hierve el agua antes de consumirla.

Tabla 13: Usos del agua en el hogar

Uso del Agua	Frecuencia (Hogares)	Porcentaje
Consumo	6	86%
Cocinar	7	100%
Higiene Personal	7	100%
Limpieza del Hogar	7	100%
Total de Hogares	7	100%

El 100% (7/7) de los hogares indicaron que utilizan el agua del sistema estudiado para cocinar, higiene personal y limpieza del hogar. En 86% (6/7) casas indicaron que consumen del agua del sistema estudiado.

Encuestas semanales

Para que la data colectada en los cuestionarios de este estudio fuera representativa de la población estudiada, se esperaba una participación de mínimo 30%, sin embargo, solo participó un 11%, lo cual puede añadir sesgos a la hora de analizar.

Tabla 5 Resultados de los reportes de síntomas de diarrea semanalmente por casa.

El eje horizontal se refiere a la semana de muestreo, el eje vertical se refiere al número de casa. (Ejemplo: en la semana 1, en la casa 5 se reportaron 2 casos de diarrea)

A través de las encuestas semanales, residentes de las casas 5, 8 y 9 reportaron diarrea. La mayor cantidad de reportes fueron entre la semana 1 y 2, donde se documentaron 10 de 15 reportes en total. N=175

ID de casa	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	2	0	0	1	1	0	0	0	2
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5	5	0	1	1	1	0	0	0	2

$$\text{Incidencia de diarrea} = \frac{\text{Total de casos reportados}}{N} \times 10^n$$

= (15 / 175) = 0.09, significa que 9% de la población en riesgo reportaron diarrea en el periodo de 12 semanas de muestreo.

Estudios sugieren que la incidencia en diarreas de la población de Estados Unidos puede ser hasta 0.05 (Burgers, K. *et al.*, 2020). Mientras en otros estudios en PR, la incidencia de diarrea muestra entre 0.15 y 0.21 en poblaciones de comunidades aisladas (Ramírez-Toro, G. & Crespo-Medina, M, 2016). Cabe destacar que para este estudio solo participó un 11% de la población impactada [Tabla 1], por lo que estos resultados no necesariamente son representativos de toda la población.

Tabla 6. Resultados de los reportes de síntomas de náuseas semanalmente por casa.

El eje horizontal se refiere a la semana de muestreo, el eje vertical se refiere al número de casas. (Ejemplo: en la semana 1, en la casa 5 se reportó 1 caso de náusea)

Mediante las encuestas semanales, los residentes de las casas 5, 6, 7 y 9 reportaron náuseas. Durante las semanas 1 y 2 reportaron la mayor cantidad de casos de náuseas. De 33

reportes, 15 fueron entre la semana 1 y 2; sin embargo, 12 reportes fueron entre las semanas 3 y 4 en un mismo hogar. Durante 4 semanas consecutivas varios miembros de la casa 9 reportaron náuseas. N=175

ID de casa	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2	2	0	0	0	0	1	1	1	0
7	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	5	6	6	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	8	7	6	6	0	1	2	1	2	0

$$\text{Incidencia de náuseas} = \frac{\text{Total de casos reportados}}{N} \times 10^n$$

$$= (33 / 175) = \mathbf{0.19}, \text{significa que aproximadamente 2\% de la población en riesgo}$$

reportaron náuseas en el periodo de 12 semanas de muestreo.

Tabla 7 Resultados de los reportes de síntomas de dolor abdominal semanalmente por casa.

El eje horizontal se refiere a la semana de muestreo, el eje vertical se refiere al número de casas. (Ejemplo: en la semana 1, en la casa 5 se reportó 1 caso de dolor abdominal)

Por medio de las encuestas semanales, reportaron en 33 ocasiones dolor abdominal entre las casas 5, 6, 7 y 9. La mayor cantidad de casos de dolor abdominal se reportó en las semanas 1

y 2, documentando 14 reportes. Y la semana 4 tuvo 13 reportes. Varios miembros de la casa 9 reportaron dolor abdominal durante 4 semanas consecutivas. N= 175

ID de casa	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1
6	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	5	6	6	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	7	7	6	7	1	1	1	1	1	1

$$\text{Incidencia de dolor abdominal} = \frac{\text{Total de casos reportados}}{N} \times 10^n$$

= (33 / 175) = **0.19**, significa que aproximadamente 2% de la población en riesgo reportaron dolor abdominal en el periodo de 12 semanas de muestreo.

Resultados de los reportes de síntomas de vómito semanalmente por casa.

No hubo reportes de vómito a lo largo de las encuestas.

Resultados de los reportes de síntomas de fiebre semanalmente por casa.

Durante el periodo de encuestas, solo se reportó un caso de fiebre.

Tabla 8 ¿Cómo ha utilizado el agua del sistema durante la última semana?

	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Consumo	15	16	13	14	14	14	14	14	14	14
Limpieza	20	19	13	14	14	14	14	14	14	14
Higiene	20	19	13	14	14	14	14	14	14	14
No utilizó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prefiere no contestar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No respuesta	0	1	7	6	6	6	6	6	6	6
Total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

De un 65% -100% reportan el uso del agua del sistema para consumo, limpieza e higiene a través de todo el periodo de estudio.

Tabla 9 ¿Ha recibido tratamiento médico a causa de estos síntomas la última semana?

	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Sí	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
No	17	19	13	14	13	14	13	14	14	14
Prefiere no contestar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No respuesta	2	1	7	6	6	6	6	6	6	6
Total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

El 5% reportó en tres ocasiones el haber recibido tratamiento médico para los síntomas gastrointestinales reportados.

Tabla 10 ¿Ha tenido interrupción del servicio en la última semana?

	Semana									
	S1	S2	S3	S4	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Sí	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No	20	19	13	14	14	14	14	14	14	14
Prefiere no contestar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No respuesta	0	1	7	6	6	6	6	6	6	6
Total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

No hubo reportes de interrupción de servicio de agua a lo largo del tiempo de muestreo.

Durante el periodo de encuestas, la tendencia sostuvo el uso del agua del sistema para consumo, limpieza e higiene personal. La mayoría de los clientes/residentes respondieron que no recibieron tratamiento médico a causa de los síntomas, salvo en tres reportes que hicieron de asistencia médica para tratar estos síntomas. Según los reportes, no hubo interrupciones en el servicio de agua durante el periodo de las encuestas.

6. Discusión

Semanas 1 y 2

Al analizar la data recopilada de las encuestas se pudo observar que las primeras dos semanas del estudio fue cuando más síntomas de diarrea, náusea y dolor abdominal se reportaron por los residentes. Reportándose 10 casos de diarrea en estas dos semanas de 15 casos que se reportaron en total a través de todo el periodo. Estas semanas se registraron del 18 de agosto de 2025 al 24 de agosto de 2025 (primera semana) y del 25 de agosto de 2025 al 31 de agosto de 2025 (segunda semana). El muestreo #1 de agua cruda y distribuida se realizó el 16 de agosto de 2025, día del paso del Huracán Erin sobre PR. Según las notas y registros, el clima estuvo muy lluvioso y el terreno saturado durante el muestreo, debido a esto se detuvo la filtración del muestreo de agua cruda con 58 galones, pues estaba tan saturada y turbia la muestra que no filtraba más agua. En las muestras de agua cruda obtenidas de este muestreo #1 se encontró *Crypto* y *Giardia* en las laminillas. En las muestras de agua distribuida del muestreo #1 no se encontraron *Crypto* ni *Giardia* en las laminillas. Esto puede atribuirse a que el agua cruda colectada venía reciente del agua superficial que estaba siendo impactada por el sistema atmosférico, sin embargo, esta agua tardaría unos días en recorrer el sistema, los tanques de grava y de arena y distribuirse a la comunidad. Por lo tanto, es posible que varios días después de este episodio de lluvias, cuando los residentes consumieran el agua e incubaran alguna infección, comenzarían a mostrar síntomas relacionados a enfermedades gastrointestinales, generándose un posible brote. Este periodo de tiempo entre el muestreo y los síntomas reportados guarda relación al comportamiento de *Cryptosporidium* y *Giardia* en su ciclo de vida (CDC, 2024).

Semanas 3 y 4

Luego del muestreo #2 el 30 de agosto de 2025, también documentada mucha lluvia durante el muestreo, se observó *Crypto* y *Giardia* en las laminillas de agua cruda y *Crypto* en las laminillas de agua distribuida. Las próximas dos semanas, del 1 de septiembre de 2025 al 7 de septiembre de 2025 (semana 3) y del 8 de septiembre de 2025 al 14 de septiembre de 2025 (semana 4) se registraron picos en síntomas de náuseas y dolor abdominal. Nuevamente se coincidió con el modo de infección y ciclo de vida de los parásitos estudiados (EPA,2025).

Muestreo #3

En el muestreo #3 del 13 de septiembre de 2025, se observó una gran cantidad de *Crypto*. Cabe destacar que, durante esa semana del 7 de septiembre al 14 de septiembre de 2025, en Puerto Rico se reportaron entre 3mm a 21 mm de agua (10 de septiembre), según data documentada y data recopilada de la página web “Weather Spark” y Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín. Sobre San Germán se reportaron tormentas eléctricas y lluvia entre moderada y fuerte entre los días 6 al 14 de septiembre de 2025, según la página web (WorldWeather, 2026). Las inclemencias del clima antes mencionadas, pudieron haber influenciado en la presencia de *Crypto* en agua distribuida durante este muestreo.

Muestreo #6

Otro día con mayor cantidad de ooquistes y quistes encontrados en las laminillas del muestreo #6, realizado el 25 de octubre de 2025. En este caso, se documentó al sistema atmosférico “Melissa” pasando por PR el día antes del muestreo (24 de octubre de 2025).

Esto nos ayudó a entender la presencia de ooquistes y quistes tanto en la cruda como en distribuida.

Socioeconomía

Más de la mitad de los hogares encuestados (57%) lo encabezan personas mayores de 50 años, de estas el 71% son féminas. Un 43% indicaron haber completado la escuela superior. Y solo 14% completaron universidad. Las ocupaciones de estos jefes de familia son variadas: 29% son ama de casa, 14% guardia universitario, 14% militar, 14% desempleado, 14% ayudante de carpintero y 14% incapacitada. Con la data recopilada se puede observar una comunidad de estatus social vulnerable económicamente pues algunos de los jefes de familia no cuentan con un empleo activo formal como amas de casa, incapacitada, desempleado. Por otro lado, los que tienen fuente de ingreso activo son ocupaciones de carácter operativo, técnico o de apoyo como guardia universitario, ayudante de carpintero o militar. En adición, la preparación académica indica un perfil académicamente limitado, pues solo 14% tiene estudios universitarios, y 43% de escuela superior. Cabe destacar que 29% de los hogares reportó enfermedades autoinmunes en el hogar, lo cual coloca a las familias en un estado de salud vulnerable.

Usos del agua del sistema

Gran parte de la población participante (86-100%) utiliza el agua del sistema para consumo, limpieza e higiene personal. El 57% de las casas participantes no le brindan ningún tratamiento o filtrado a esta agua, 29% tiene filtro en el hogar ya sea en fregadero o nevera, y 14% hierve el agua.

Incidencia

Según el Informe del Departamento de Salud de Puerto Rico, la distribución de incidencia acumulada de Enfermedades Transmitidas por alimentos y/o agua por

municipio, para el año 2024 en San Germán fue de 0.64 (Departamento de Salud, 2024).

Para este estudio la incidencia en diarreas fue= 0.09, incidencia en náuseas =0.19, y la incidencia en dolor abdominal= 0.19. Para este muestreo participó solo un 11% de la población de la comunidad, lo cual sugiere que no necesariamente estos resultados son significativos. La baja tasa de participación representa un sesgo, ya que el tamaño de la muestra limita la potencia estadística de análisis.

7. Conclusión

Esta investigación se hizo con el propósito de recopilar información y expandir el conocimiento sobre la calidad de agua que se sirve en un sistema de agua no-AAA en el Sur de la Isla que por la cantidad de personas servidas y su número de conexiones le aplica el Acta de Agua Potable Segura y debe implantar reglas para la protección de sus usuarios. Especialmente su exposición a *Giardia* y *Cryptosporidium* por ser de agua superficial. Se considera un tema de mucha importancia debido al impacto en la salud pública en sectores aislados y/o marginados.

Análisis fisicoquímicos

La temperatura del agua distribuida fue ($\bar{x} = 3^{\circ}\text{C}$) más alta que el agua cruda, se explicó este cambio de temperatura con el horario de muestreo y la distancia entre los puntos de muestreo y el abasto.

El pH del agua cruda ($\bar{x} = 7.8$) y distribuida ($\bar{x} = 8.2$) pueden ser indicadores de que la cloración está siendo ineficaz, pues a $\text{pH} > 7.5$ predomina como agente desinfectante el OCl^- . También estos niveles de pH pueden influir en la prueba de cloro residual o interferir en los resultados de esta.

La turbidez del agua cruda se mantuvo ≤ 5 NTU, por otro lado, la turbidez para agua distribuida fue 67% (4/6 muestreos) ≤ 1 NTU, y 33% (2/6 muestreos) ≤ 0.3 NTU. Para estar en cumplimiento con la Ley, debería mantenerse menor que 0.3 NTU un 95% de los muestreos mensuales, para esta investigación solo se muestreó 6 ocasiones en un periodo de 3 meses.

El cloro residual se mantuvo por encima de 0.2 mg/L durante los 6 muestreos, según lo exigido por Ley. Sin embargo, en los muestreos #5 y #6 la prueba de cloro libre arrojó

niveles mayores a la de cloro total. Esto tal vez pudo deberse a factores como el pH, que a niveles mayores que 7.5 predomina el OCl⁻ un agente desinfectante débil, y a su vez pudiera haber otros compuestos dispersos en el agua que reaccionan con las moléculas de cloro, creando nuevos compuestos que pueden interferir en los resultados de la prueba.

Análisis parasitológico

La incidencia (100%) en los muestreos de agua cruda evidenció la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* en las aguas que abastecen el sistema: Comunidad Río Piedras. Los datos obtenidos de esta investigación evidencian una constante fuente de contaminación en el agua cruda.

La incidencia de *Crypto* (66.7%) y *Giardia* (33.3%) en el agua distribuida, es indicativo de que las barreras físicas del sistema, es decir la filtración, no está siendo eficaz en la eliminación de estos parásitos. Esto evidencia una falla del sistema, incumpliendo con calidad del agua distribuida a los residentes que la consumen.

Por medio de las encuestas a los residentes se obtuvo que en un 29% de las casas residen personas con sistema inmune comprometido, para quienes la presencia de *Crypto* y *Giardia* en su acueducto representa un riesgo mayor a su salud que a las personas sanas. No obstante, el impacto e inseguridad al consumir agua contaminada con estos parásitos es relevante para todos los clientes, pues esto representa un riesgo de salud pública por la exposición constante a focos infecciosos que pueden preceder brotes.

Encuesta inicial

La encuesta inicial se realizó por hogar. De la encuesta inicial se obtuvo que un 57% de los miembros cabeza de hogar es mayor de 50 años. El 71% es femenino, un 49% completó escuela superior, mientras que un 29% solo completó hasta intermedia. El

100% de los hogares se suplen del agua del sistema y el 57% no le da ningún tratamiento a la misma.

Diarios de salud semanales

Mediante el estudio epidemiológico de cohorte con encuestas semanales de salud, se obtuvo la incidencia de diarrea (0.09×10^n), náuseas (0.19×10^n) y dolor abdominal (0.19×10^n). Estas son incidencias altas y pudieran ser indicativas de un brote infeccioso comunitario en ese momento del muestreo, aunque no fue posible confirmar que ese brote de síntomas de enfermedades gastrointestinales fue por los parásitos estudiados, ya que para eso se debía incurrir en otra metodología de estudios serológicos que no se incluyó en esta investigación.

Los cálculos para analizar una correlación entre los síntomas reportados y los hallazgos no sustentan una asociación entre las variables estudiadas (Diarrea= RR 0.181, Náuseas= RR 0.416, Dolor Abdominal= RR 0.531). Consecuentemente, se crean algunas hipótesis:

- Que la cantidad de muestras no fue suficiente para obtener un análisis con sesgos mínimos debido al corto tiempo del estudio.
- Que la población participante fue un 11% ($n=20$) y esta no fue necesariamente representativa de la población total ($N=175$).
- Que en los muestreos de distribuida en que no hubo hallazgos confirmados de *Crypto* y *Giardia* en las laminillas, pudo ser un falso negativo porque la incidencia está sobre el límite de detección. También, en el muestreo #1 la lectura de laminilla fue presunta negativa para estos parásitos, pero sí se hallaron OLB y estos no se consideraron para la correlación.

- Que los síntomas presentados por los clientes/residentes fueran debido a que el agua pudiera contener otros contaminantes en esos periodos de estudio.

Cabe destacar que los muestreos se realizaron en época lluviosa y temporada alta de huracanes en Puerto Rico. Esto pudo haber sido una variable que impactó los resultados de la investigación, ya que los muestreos que más presencia de ooquistes y quistes tuvieron, fueron realizados en fechas donde se documentó mucha lluvia e incluso sistemas atmosféricos sobre la región donde se encuentra el sistema no-AAA estudiado.

Semanalmente también se evaluó el tipo de uso que los residentes le daban al agua, entre el 65% al 100% de los encuestados indicó en alguna semana haber utilizado el agua del sistema para consumo, limpieza e higiene durante el periodo de estudio. Durante este periodo un 5% requirió tratamiento médico a causa de los síntomas. Según las encuestas, hubo un 0% de reporte de interrupción de servicio de agua durante el periodo de estudio.

Sistema no-AAA: Comunidad Río Piedras

Se documentó durante la visita de campo y entrevista con el operador que a pesar de que el sistema cuenta con la estructura para filtración y cloración del agua, no está siendo operado óptimamente siguiendo las disposiciones del Ley para establecer las barreras de protección al consumidor exigidas por Ley.

El sistema cuenta con todas las barreras estructurales (filtración) y de desinfección para servir agua potable segura, sin embargo la operación por voluntarios que no aparentan tener los conocimientos técnicos, la falta de un operador certificado, la comunidad no cuenta con la accesibilidad financiera ni la mano de obra para hacer el mantenimiento rutinario de limpieza de los tanques filtración con grava y arena, resultan en una operación deficiente del sistema, según confirmado en la entrevista al operador.

El mantenimiento óptimo del sistema reduciría el riesgo de contaminación por *Cryptosporidium* y *Giardia*, sin embargo, el no seguir las instrucciones de manejo y cuidado adecuado disminuye la eficiencia de este tipo de filtro.

8. Recomendaciones

Para futuras investigaciones de seguimiento a esta, se recomienda realizar un muestreo serológico a la población impactada, donde se pueda confirmar si en efecto la persona con síntomas de enfermedades gastrointestinales está infectada con *Cryptosporidium* o *Giardia*.

También, caracterizar genéticamente los parásitos encontrados, y así identificar el foco de contaminación presente ya que no todos los genotipos de *Crypto* y *Giardia* afectan a humanos.

Asimismo, sería de mucha relevancia lograr conseguir la participación de más residentes, para aumentar el tamaño de muestra a uno representativo y así disminuir sesgos en los análisis de datos. Además, el extender la cantidad de muestreos y periodo de estudio ayudaría a mejorar el análisis de correlación entre síntomas y prevalencia de los parásitos en el agua, ya que, en este estudio a pesar de tener incidencias altas en algunos síntomas, no se pudieron asociar las variables con los métodos de análisis estadísticos utilizados.

Por otra parte, se pudiera ampliar el rango de edad en la población participante e incluir a niños para aumentar la cantidad de data y tendencias. Por último, es recomendable realizar este estudio en época seca y época de lluvia para comparar resultados.

9. Bibliografías

Acebes Morales, A. (2018). *Cryptosporidium*: parásito de transmisión hídrica y alimentaria.

Retrieved from <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/7379>

Alireza Zahedi, Una Ryan (2020) *Cryptosporidium – An update with an emphasis on foodborne and waterborne transmission* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.08.002>.

Aliyi, M. B., Yusuf, A. Y. (2023). Review on the Epidemiology and Public Health Importance of Giardiasis. *J Vet Heal Sci*, 4(3), 141-156

Carpenter, C., Fayer, R., Trout, J., Beach, M. (1999) *Chlorine disinfection of recreational water for Cryptosporidium parvum*. Retrieved 27 January 2023.

CDC - DPDx - Cryptosporidiosis. (2024). Retrieved 16 March 2026 from <https://www.cdc.gov/dpdx/cryptosporidiosis/index.html>

CDC - DPDx - *Giardia*. (2024). Retrieved 16 March 2026 from <https://www.cdc.gov/dpdx/giardia/index.html>

CDC (2025) *About Waterborne Disease Surveillance*. Retrieved 15 March 2026 from https://www.cdc.gov/healthy-waterdata/about/index.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fhealthywater%2Fsurveillance%2Findex.html

Center for Disease Control and Prevention (2021). *Cryptosporidium*. Retrieved 30 January 2023.

- Cheremisinoff, N.; Cheremisonoff, P.; Trattner, R. (1981) *Chemical and Nonchemical Desinfection*
- Crespo-Medina, M., Robinson, G., Chalmers, R., Minnigh, H., Ramírez-Toro, G. (2017).
Detection and classification of Cryptosporidium and Giardia from small potable water systems in Puerto Rico
- Datos históricos meteorológicos de septiembre de 2025 en Puerto Rico Puerto Rico. (2026)
<https://es.weatherspark.com/h/m/150269/2025/9/Tiempo-hist%C3%B3rico-en-septiembre-de-2025-en-Puerto-Rico>
- Departamento de Salud, Gobierno de PR (2024) Enfermedades Transmisibles por Alimentos y/o Agua. Semana Epidemiológica Número 36
- Departamento de Salud, Gobierno de PR (2025) Informe Anual de Violaciones 2024 Sistemas Públicos de Agua Potable de Puerto Rico
- Díaz-Cinco, M. E., Leyva-Michel, E. E., Mata-Haro, V., & González-Ríos, H. (2003). *Incidencia y viabilidad de cryptosporidium parvum en el agua potable de ciudad obregón, sonora, méxico*. Retrieved 27 January 2023.
- Environmental Protection Agency (2005) *Method 1623: Cryptosporidium and GiardiaGiardia in Water by Filtration/IMS/FA*
- EPA (2025) Information about Public Water Systems
<https://www.epa.gov/dwreginfo/information-about-public-water-systems>

EPA (2025) Small Community Water Systems in Puerto Rico StoryMap

<https://www.epa.gov/pr/small-community-water-systems-puerto-rico-storymap>

Erin E. Conners, PhD; Allison D. Miller, MPH; Neha Balachandran, MPH; Brittany M.

Robinson, MPH; Katharine M. Benedict, DVM, PhD (2021) *Giardia*

Outbreaks — United States, 2012–2017

Folasade Esther Adeyemo, Gulshan Singh, Poovendhree Reddy, Faizal Bux, Thor Axel

Stenstro (2019) Efficiency of chlorine and UV in the inactivation of *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater.

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6513095/pdf/pone.0216040.pdf>

Gobierno de Puerto Rico (2022) *Ley para la Conservación, Desarrollo y Uso de Recursos de Agua” Ley Núm. 136 de 3 de junio 1976, según enmendada*

Graczyk TK, Fayer R, Knight R, Mhangami-Ruwende B, Trout JM, Da Silva AJ, Pieniazek NJ.

(2000) Mechanical transport and transmission of *Cryptosporidium parvum* oocysts by wild filth flies.

Hopkins, J., Hague, H., Hudgin, G., Ross, L., Moore, D. (2013). *An Outbreak of*

Cryptosporidium at Recreational Water Park in Niagara Region, Canada. Retrieved 3 February 2023.

Hunter, P., RamírezRamírez-Toro G., Minnigh, H. (2010) *Impact on diarrhoeal illness of a community educational intervention to improve drinking water quality in rural communities in Puerto Rico*

Jarroll, E. L., Bingham, A. k., Meyer, E. A. (1981). Effect of Chlorine of *Giardia lamblia* Cyst Viability

Kristina Burgers, MD; Briana Lindberg, MD; and Zachary J. Bevis, MD (2020) Chronic Diarrhea in Adults: Evaluation and Differential Diagnosis

Naumova, E., Egorov, A., Morris, R., Griffiths, J. (2003). *The Elderly and Waterborne Cryptosporidium Infection: Gastroenteritis Hospitalizations before and during the 1993 Milwaukee Outbreak*. Retrieved 3 February 2023.

NORS (2025) *About the National Outbreak Reporting System* Retrieved 16 March 2026 from https://www.cdc.gov/nors/about/?CDC_AAref_Val=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fnors%2Fabout.html

Por Los Nuestros, Water Mission International, Puerto Rico Science, Technology and Research Trust, Puerto Rico Community Foundation, American Red Cross, Oxfam, Polytechnic University of Puerto Rico, And the United States Environmental Protection Agency (2018) *Memorandum of Understanding to Enhance Resiliency at Community Drinking Water Systems in Puerto Rico Between Por Los Nuestros, Water Mission International*

R.D. Adam (2001) Biology of *Giardia lamblia*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11432808/>

Ramírez-Toro, Graciela (1991) *Occurrence and Interaction of fungi and Bacteria in Water Distribution Systems with Free Chlorine and Monochloramine*

Ramírez-Toro, G., Crespo-Medina, M. (2016). Update of an epidemiological study in non-PRASA communities in PR

Robinson, G., Minnigh, H., Hunter P., Chalmers, R. & Ramírez-Toro G. (2015).

Cryptosporidium in small water systems in Puerto Rico: a pilot study. Retrieved 2

February 2023.

Rodríguez, J. C., Royo, G. (2000) *Cryptosporidium y criptosporidiosis*

Ryan, U., Fayer, R., & Xiao, L. (2014). *Cryptosporidium species in humans and animals: current understanding and research needs: Parasitology*. Retrieved from

<https://www.cambridge.org/core/journals/parasitology/article/abs/cryptosporidium-species-in-humans-and-animals-current-understanding-and-research-needs/5FC81A9710C6416B28CDB3DC03EFB262>

U.S. Census Bureau. (2026). *Methodology for the United States Population Estimates: Vintage*

2025. U.S. Department of Commerce. [https://www.census.gov/programs-](https://www.census.gov/programs-surveys/popest/technical-documentation/methodology.html)

[surveys/popest/technical-documentation/methodology.html](https://www.census.gov/programs-surveys/popest/technical-documentation/methodology.html)

United States Environmental Protection Agency (2020) “*La EPA ayuda a los sistemas de agua comunitaria rural en Puerto Rico con asistencia vital*”

Winderström, M., Schönning, C., Lilja, M., Lebbad, M., Ljung, T., Allestam, G., Ferm, M.,

Björkholm, B., Hansen, A., Hiltula, J., Långmark, J., Löfdahl, M., Omberg, M.,

Reuterwall, C., Samuelsson, E., Widgren, K., Wallensten, A., Lindh, J. (2014). *Large*

Outbreak of Cryptosporidium hominis Infection Transmitted through the Public Water Supply, Sweden. Retrieved 30 January 2023.

WorldWeather. (2026). *Reporte climatológico e histórico de precipitaciones para Puerto Rico*.

<https://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=850>

Apéndices

Apéndice 1 Flyer



UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



¡PARTICIPA EN MI INVESTIGACIÓN!

TESIS: PRESENCIA DE OOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RÍO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

¡Saludos! Mi nombre es Ruth Pagán y me encuentro realizando mi proyecto de Tesis en el sistema de agua non-PRASA Comunidad Río Piedras. Estaré estudiando la presencia del organismo *Cryptosporidium*, un parásito que se presenta en aguas contaminadas con heces fecales y el cual es resistente a la cloración. El consumo de aguas contaminadas del mismo puede causar síntomas como: diarrea, vómitos, fiebre, dolor abdominal, entre otros. Cordialmente, te invito a formar parte de este proyecto como residente. Su participación es muy importante para este proyecto.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN:

- ✓ Examinar la presencia de *Cryptosporidium* en las aguas crudas y distribuidas de tu sistema de agua.
- ✓ Identificar mediante encuestas, individuos que hayan tenido síntomas de enfermedades gastrointestinales.
- ✓ Determinar el índice de síntomas de enfermedades gastrointestinales presentados en los residentes de la comunidad.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- ✓ Ser residente de la comunidad Río Piedras de San Germán
- ✓ Suplirse del sistema de agua de la comunidad
- ✓ Ser mayor de 21 años
- ✓ No tener una relación familiar directa con la investigadora

SU ROL COMO PARTICIPANTE:

- ✓ Su participación es completamente voluntaria y confidencial.
- ✓ El periodo de muestreo y cuestionarios será de 3 meses.
- ✓ Habrá una encuesta inicial que tomará un tiempo aproximado de 15 minutos.
- ✓ Llenará un diario semanal donde documentará si presenta síntomas de enfermedades gastrointestinales. Este diario lo puede llenar diariamente o semanalmente y le tomará menos de 5 minutos.

BENEFICIOS:

- ✓ Aprenderá sobre su sistema de agua y sobre la importancia de consumir agua potable segura
- ✓ Aprenderá sobre los riesgos de consumir agua que no haya sido tratada propiamente.
- ✓ Podrá conocer parámetros de calidad del agua del sistema non-PRASA para su consumo.
- ✓ Como participante tendrá acceso a los resultados de esta investigación.



En las próximas semanas estaré visitando su hogar para darle más detalles de esta investigación...



Ruth Pagán | cel: (787) 329-2121 | email: nonprasa.investigation@gmail.com



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2025

Apéndice 2 Guía para Evaluar los Criterios de Selección



UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES



GUÍA PARA EVALUAR LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

(Para uso de la investigadora)



Q: ¡Saludos! ¿Cómo está?

A:

Q: Mi nombre es Ruth Pagán y soy estudiante de la Universidad Interamericana de Puerto Rico, recinto de San Germán. Como parte de mi proyecto de Tesis estoy haciendo una investigación en el sistema de agua non-PRASA Comunidad Río Piedras. Estaré estudiando la presencia del organismo *Cryptosporidium*, un parásito que se presenta en aguas contaminadas con heces fecales y el cual es resistente a la cloración. Me gustaría que formara parte de mi investigación. ¿Tiene unos minutos para escuchar información de la misma y para que pueda decidir si desea o no participar?

A:

(SI LA RESPUESTA ES NO, NO CONTINUAR)

Q: Como su tiempo es muy valioso para mí, deseo primero asegurarme de que cumple con los criterios de inclusión para participar en mi investigación; por lo que le estaré haciendo unas preguntas iniciales. De ser así, se le proveerá un Consentimiento Informado, se le dará el tiempo y el espacio de un periodo de 7 días para que lo evalúe y decida si desea participar en la investigación para proceder a firmar el mismo. ¿Está de acuerdo?

A:

(SI NO ESTÁ DE ACUERDO, NO CONTINUAR)

Q: ¿Es usted una persona mayor de 21 años de edad?

A:

(SI LA RESPUESTA ES NO, NO CUMPLE CON LOS CRITERIOS. NO CONTINUAR)

Q: ¿Se abastece su hogar del sistema non-prasa comunidad río piedras o de otra fuente?

A:

(SI LA RESPUESTA ES OTRA FUENTE DISTINTA AL SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RÍO PIEDRAS, NO CUMPLE CON LOS CRITERIOS. NO CONTINUAR)

Q: ¿Tiene usted alguna relación familiar directa con la investigadora? Indique cuál, si alguna.

A:

(SI LA RESPUESTA ES SER FAMILIAR DIRECTO DE LA INVESTIGADORA, NO CUMPLE CON LOS CRITERIOS. NO CONTINUAR)

Ruth Pagán | cel: (787) 329-2121 | email: nonprasa.investigation@gmail.com



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2025

Apéndice 3 Consentimiento

PRESENCIA DE OVOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RIO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES



UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO DOCUMENTO MODELO DE CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPANTES

Título de la Investigación:

PRESENCIA DE OVOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RIO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

Comunidad Río Piedras

Nombre del Investigador:

Ruth N. Pagán Arroyo

I. Propósito de la Investigación

El propósito de esta investigación es estudiar el sistema de agua non-PRASA Comunidad Río Piedras, donde se espera investigar si hay alguna contaminación de *Cryptosporidium* spp., microorganismo resistente al cloro. Se realizará una entrevista/cuestionario inicial y unos diarios semanales con los cuales se va a identificar si algún residente presenta síntomas relacionados a enfermedades gastrointestinales. Para participar en este estudio se requiere que sea mayor de 21 años y que su residencia se supla del sistema non-PRASA de la comunidad Río Piedras.

Durante el periodo de la investigación, el proceso de manejo y cuidado del agua que suplirá el sistema non-PRASA continuará como de costumbre. La investigadora ni otro miembro del comité de tesis tendrán responsabilidad ni control del manejo del sistema. El estudio se limita solo a toma de muestras y a encuestas y diarios semanales.

Esta es una investigación con fines científicos y no incluye área médica ni diagnóstica. Si usted como participante se siente enfermo, se le aconsejará visitar un médico para que pueda recibir un diagnóstico adecuado y ser tratado.

II. Procedimientos

Su rol como participante en este estudio comenzaría firmando este consentimiento, para el cual tendrá un período de 7 días para evaluar, y decidir si desea participar o no. Como parte del estudio, habrá una entrevista/cuestionario inicial, la cual tendrá duración de 15 minutos aproximadamente. La misma se realizará en un espacio seguro y privado, como su hogar, recibidor o patio, donde se protegerán sus derechos y confidencialidad. Responderá cuestionarios brindados semanalmente, los cuales



PRESENCIA DE OVOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RIO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

debería tomarle no más de 5 minutos en responder. Estos cuestionarios podrán contestarlos en sus hogares utilizando preferiblemente bolígrafo.

III. Beneficios

El participar en esta investigación contestando la entrevista/cuestionario inicial y llenando los diarios semanales de salud, le ayudará a reflexionar sobre su sistema de agua y estar consiente sobre los síntomas de enfermedades gastrointestinales y cómo se pueden relacionar al consumo de agua.

Usted como participante, tendrá acceso y conocimiento del resultado de esta investigación, lo cual le ayudará a conocer el nivel de calidad del agua del sistema non-PRASA durante el tiempo de duración de la investigación. Se le proveerá además material informativo el cual le ayudará a concientizar sobre el riesgo de consumir agua no segura y conocer diferentes métodos para contrarrestar cualquier peligro al consumo. Al finalizar la investigación se le proveerá Material Informativo y se repartirá un Paquete de Referencias.

IV. Riesgos

El riesgo al participar en este estudio es mínimo. Existe riesgo de ansiedad, cansancio físico, o fatiga mental al contestar la entrevista/cuestionario inicial. En caso de que se sienta con fatiga mental o física contestando la entrevista/cuestionario inicial, puede pedir tomar un descanso, o pedir posponer la entrevista. Para los diarios puede comunicarse con la investigadora principal para solicitar ayuda para contestar el mismo, de ser necesario. Si siente incomodidad con alguna pregunta, puede optar por no contestarla y continuar con la siguiente pregunta, o tomarse el tiempo y continuarla después.

Esta es una investigación con fines científicos y no incluye área médica ni diagnóstica. Si usted como participante se siente enfermo, se le aconsejará visitar un médico para que pueda recibir un diagnóstico adecuado y ser tratado.

En caso de que enfrente problemas de salud o requiera tratamiento médico durante la investigación, usted se hará responsable de los costos de cuidado médico en su totalidad.

V. Cláusula de Confidencialidad

La entrevista/cuestionario inicial, se realizará en un tono de voz bajo y en un espacio seguro en su hogar o entorno donde pueda proteger su derecho y confidencialidad. Se le proveerá un código único el cual será utilizado para mantener la confidencialidad y anonimato de usted como participante. Este código de identificación constará de la fecha, las iniciales del investigador, el número de casa y número de participante (Ej. DíaMesAñoIniciales#casa#participante).



PRESENCIA DE OVOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RIO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

También, al finalizar la investigación, al momento de publicar los resultados de la misma, se protegerá su anonimato, es decir, no expondrán detalles que puedan identificarlo como participante.

Todo documento impreso se archivará bajo llave en casa de la investigadora. Toda la data digital que se genere se encriptará y se almacenará en la computadora personal de la investigadora que requiere contraseña para su acceso y se mantendrá en la casa de la investigadora bajo llave.

Al culminar el periodo de almacenaje de 3 años, todo documento impreso relacionado con los participantes será triturado para disponer del mismo, y toda copia de data digital relacionada con los participantes será eliminada.

VI. Compensación

Como parte de este proyecto no habrá compensación monetaria o material por la participación en la investigación.

VII. Voluntariedad

La participación en esta investigación es completamente voluntaria. Puede abandonar la investigación y/o decidir no contestar más cuestionarios en cualquier momento, si así lo desea. No habrá ningún tipo de sanción ni penalidad, si decide no formar parte y/o continuar con el estudio.

VIII. Responsabilidades del Participante

Acepto participar voluntariamente en esta investigación. Entiendo que mis responsabilidades como participante son:

Participar/completar la entrevista/cuestionario de entrada

Completar los diarios de salud semanales durante la investigación

IX. Aceptación del Participante

Certifico que he leído este documento en el que se me explica los procedimientos y condiciones para participar en esta investigación y acepto participar voluntariamente en la misma.

Firma del participante *Fecha* _____

Firma del Investigador *Fecha* _____

De tener alguna duda o pregunta en relación con esta investigación o sus derechos como participante puede comunicarse con:



PRESENCIA DE OVOCITOS DE *Cryptosporidium* EN SISTEMA NON-PRASA COMUNIDAD RIO PIEDRAS, SAN GERMÁN Y SU RELACIÓN CON SÍNTOMAS DE ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

IAUPR Institutional Review Board PO BOX 363255 SAN JUAN PR 00936-3255 787-766-1912 ext. 2432 jri@inter.edu

De surgir alguna otra duda o pregunta puede comunicarse con el investigador en:

Ruth Pagán Arroyo, 787-329-2121, email: nonprasa.investigation@gmail.com

Nombre, teléfono y correo electrónico del Investigador

Melitza Crespo-Medina, 787-264-1912 x7777, email: melitzacm@inter.edu

Nombre, teléfono y correo electrónico del director de Tesis/Disertación

NOTA: EL PARTICIPANTE TIENE DERECHO A RECIBIR COPIA DE ESTE DOCUMENTO FIRMADO POR AMBAS PARTES

Explicar al participante cómo solicitará u obtendrá este documento



Apéndice 4 Entrevista Inicial



UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

ID: _____
(DíaMesAñoInicial#casa) ¹

Encuesta Inicial

Fecha: _____

Edad: _____

Sexo: () Femenino () Masculino () Prefiero no
contestar

1. ¿Cuántas personas viven en esta casa? ¹ _____

2. Ocupación del jefe de la familia¹ _____

3. Grado más alto completado por el jefe de la familia¹

() No escuela () Escuela elemental o menos () Escuela intermedia
() Escuela superior () Universidad () Posgrado
() Prefiero no contestar

4. ¿Padece usted o alguien del hogar de alguna enfermedad que comprometa su sistema inmune?

() Sí () No () Prefiero no contestar

¹ Adapted from **A study to investigate the health benefits from installation of community level water filtration** IRB#1555186-1, Form #4



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2026

5. ¿De qué tipo de agua se suple la casa? Indique todas las que apliquen. ¹

- ☐) Pozo o manantial (subterránea)
- ☐) Agua superficial (quebrada, río, etc.)
- ☐) Mezclada (subterránea y superficial)
- ☐) Sistema de AAA
- ☐) No sé
- ☐) Prefiero no contestar

6. ¿Qué otro recurso de agua tiene para consumo? Indique todas las que apliquen. ¹

- ☐) Agua embotellada
- ☐) Agua del río
- ☐) Agua de lluvia
- ☐) Cisterna
- ☐) Sistema AAA
- ☐) Otro, explique _____
- ☐) Prefiero no contestar

7. Antes de consumir el agua en su hogar, ¿le da algún tratamiento? ¹

- ☐) Hervida
- ☐) Cloro
- ☐) Luz UV
- ☐) Filtro, explique tipo de filtro _____
- ☐) Otro, explique _____
- ☐) No se le da tratamiento
- ☐) Prefiero no contestar

¹ Adapted from **A study to investigate the health benefits from installation of community level water filtration** IRB#1555186-1, Form #4



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2026

8. ¿Qué uso le da al agua de su hogar (al agua que sale por el grifo)?

☐ Para limpieza

☐ Para higiene personal (Bañarse, cepillarse los dientes)

☐ Para consumo, indique frecuencia ¹

☐ Siempre

☐ Casi siempre (más del 50% de las veces)

☐ A veces (menos del 50% de las veces)

☐ Nunca

☐ Prefiero no contestar

☐ Para cocinar

¹ Adapted from **A study to investigate the health benefits from installation of community level water filtration** IRB#1555186-1, Form #4



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2026

Apéndice 5 Diario Semanal



UNIVERSIDAD INTERAMERICANA DE PUERTO RICO
RECINTO DE SAN GERMÁN
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Diarios semanales: monitoreo de síntomas

ID: _____

(DíaMesAñoInicial#casa#persona) ¹

Semana # _____ del _____ al _____ 2024

Marque con una "X" los síntomas que presente durante la semana, si alguno.

	Diarrea	Náuseas	Vómitos	Dolor abdominal	Fiebre
Lunes					
Martes					
Miércoles					
Jueves					
Viernes					
Sábado					
Domingo					

1) ¿Cómo ha utilizado el agua del sistema durante la última semana?

- ☐ Consumo (tomarla, cocinar)
- ☐ Limpieza
- ☐ Higiene personal (bañarse, cepillarse los dientes, etc)
- ☐ No he utilizado el agua
- ☐ Prefiero no contestar

2) ¿Ha recibido tratamiento médico a causa de estos síntomas la última semana?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ Prefiero no contestar

3) ¿Ha tenido interrupción del servicio de agua en la última semana? ¹

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ Prefiero no contestar

¹ Adapted from **A study to investigate the health benefits from installation of community level water filtration** IRB#1555186-1, Form #4



Approved: October 22, 2024
Expires: October 22, 2026