

Eliminación de Giarda y Cristoporida en la planta de tratamiento de agua potable de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia

Elimination of giardia and cryptosporidium
at the Villa de Leyva, Boyacá, Colombia
drinking water treatment plant

Martínez M. Cristian

Universidad Santo Tomás de Aquino
cristian.martinezm@usantoto.edu.co

Pardo R. Juan

Universidad Santo Tomás de Aquino
juan.pardor@usantoto.edu.co

Sierra R. Fabián

Universidad Santo Tomás, seccional Tunja
fabian.sierrar@usantoto.edu.co

Resumen

La Giardia y Cryptosporidium son parásitos que se encuentran expuestos en la entrega de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Villa de Leyva Boyacá. La investigación abarca una búsqueda bibliográfica a partir de recursos como buscadores booleanos sobre: tipos de coagulación, floculación, sedimentación, flotación por aire disuelto y desinfección. Finalmente se puede evidenciar que estos métodos convencionales no son eficientes para erradicar estos patógenos protozoos. Por otra parte, el resultado de la investigación sobre la flotación por aire disuelto logra romper una barrera protectora de estos quistes.

Palabras clave: Giardia, Cryptosporidium, coagulación, floculación, sedimentación, flotación por aire disuelto, desinfección.

Abstract

Giardia and Cryptosporidium are parasites that are exposed in the delivery of drinking water from the treatment plant of the municipality of Villa de Leyva Boyacá (PTAP). This research includes a bibliographic search using resources such as Boolean search engines on types of coagulation, flocculation, sedimentation, dissolved air flotation and disinfection. Finally, it can be shown that these conventional methods are not efficient to eradicate these pathogenic protozoa. On the other hand, the result of the research on dissolved air flotation manages to break a protective barrier of these cysts.

Keywords: Giardia, Cryptosporidium, coagulation, flocculation, sedimentation, dissolved air flotation, disinfection.

Para citar este artículo: Martínez M., Cristian; Pardo D., Juan; Sierra R., Fabián. "Eliminación de Giardia y Cryptosporidium en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 13-1, pp. 63-75.

1. INTRODUCCIÓN

Es necesario que la calidad del agua en el momento de ser distribuida por la planta de tratamiento sea apta para el consumo humano; si no se purifica de manera correcta se encontrarán en ella muchos contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud del consumidor. Al ser el agua un recurso destinado a labores cotidianas se aumenta el riesgo de estar expuesto a distintos agentes infecciosos.

La *Giardia* y *Cryptosporidium* son parásitos que se encuentran en el agua al salir de la planta de tratamiento del municipio de Villa de Leyva y afectan la zona intestinal de quien lo consume. Por esta razón, es indispensable remover estos microorganismos antes de la distribución de este recurso al municipio, con el fin de prevenir sus efectos más adelante.

La *Giardia* y *Cryptosporidium*, parásitos protozoarios entéricos obligados que infectan el tracto gastrointestinal de animales y humanos (Carey y Lee, 2004). Se presentan en el agua en forma de quistes, estos son casi esféricos con un diámetro de alrededor de 5 μm , que a su vez los protege del proceso de coagulación y el tratamiento convencional (floculación seguida de una filtración rápida a través de medios granulares) (Gregory, 1994). Para dar solución al paso de ooquistes se usa la flotación por aire disuelto que se enfoca en la separación de partículas de baja densidad que se pierden en los procesos de sedimentación por gravedad (Gregory, 1994).

Pese a ser un mejor proceso para la eliminación de parásitos que se encuentran en el agua en forma de quistes con baja densidad, cabe la posibilidad de que alguno de los quistes pase por el proceso de tratamiento; una solución para eliminarlos en tal caso puede ser la filtración: columnas de arena de grano fino que eliminan eficazmente los ooquistes en la variedad de condiciones examinadas con bajas concentraciones de estos (Logan, Stevik, Siegrist, y Ronn, 2001). Una extensa investigación se ha centrado en la optimización de los procesos de tratamiento y la aplicación de nuevas tecnologías para reducir las concentraciones de quistes (Betancourt y Rose, 2004).

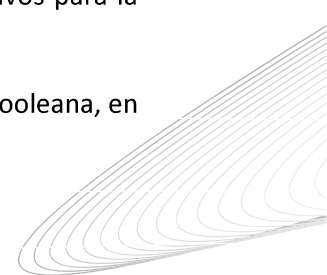
Dentro de los objetivos de este artículo se encuentran determinar el comportamiento de los parásitos *Cryptosporidium* y *Giardia* en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Villa de Leyva e investigar sobre los procesos que ayuden a la eliminación de los microorganismos.

Desde luego, en la metodología de investigación, se buscó alternativas de solución para la eliminación de la *Giardia* y *Cryptosporidium*, con la finalidad de brindar información sobre el tratamiento efectivo del agua. Esto llevando a cabo un procedimiento explicativo, a través de antecedentes, brindando conclusiones y recomendaciones con un amplio estado del arte sobre el tema a tratar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de la problemática planteada sobre la eliminación de la *Giardia* y *Cryptosporidium*, se realiza una búsqueda bibliográfica de tratamientos representativos y evolutivos para la eliminación efectiva de ooquistes en el último siglo.

Los investigadores consultados son producto de una indagación de información booleana, en la cual se usó como palabras claves; eliminación, *Giardia* y *Cryptosporidium*.



A partir de la ecuación a,b,c,d se consiguen resultados acordes a la investigación bibliográfica, con el fin de suprimir artículos de información acerca de otros organismos protozoarios y obtener similitud en la búsqueda. Por tanto, se emplean los operadores or, and, not, como se muestra a continuación.

- a. Cryptosporidium or Giardia
- b. Dissolved Air Flotation
- c. Cryptosporidium or oocyst or Giardia
- d. Cryptosporidium or oocyst or Giardia and “Dissolved Air Flotation

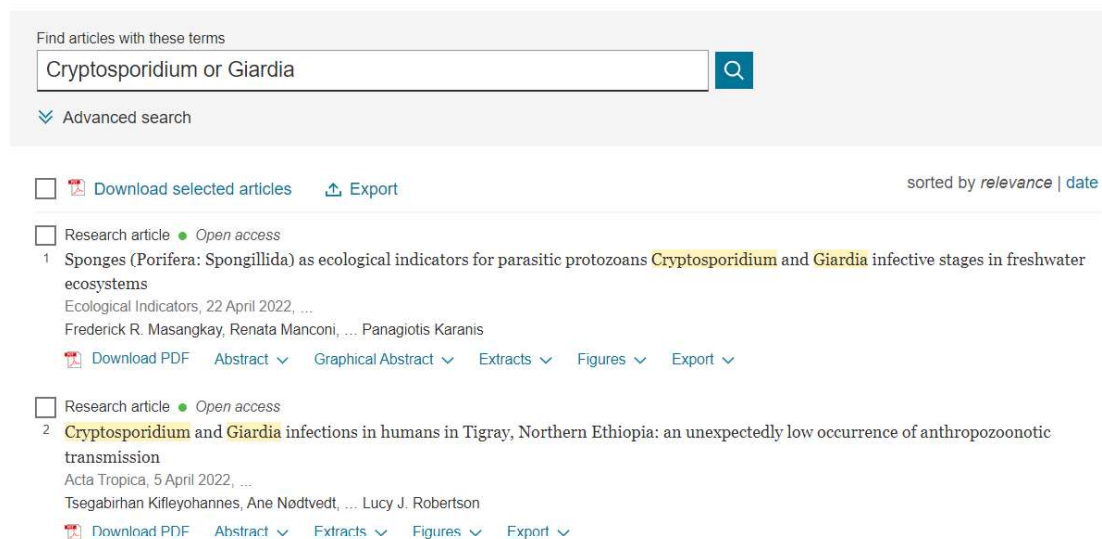


Figura 1. Búsqueda booleana.

Se encuentra que un método efectivo utilizado para la eliminación de estos parásitos es la flotación por aire disuelto (FAD), la cual remueve los sólidos suspendidos o flocs. Este procedimiento consiste en una fuerza de empuje que inserta finas burbujas de aire dentro del agua, separando los ooquistes de las sustancias en la fase líquida contenidas dentro del agua.

2.1 Buscadores Booleanos

- Cryptosporidium or oocyst or Giardia and “Dissolved Air Flotation”
- Cryptosporidium or Giardia
- Dissolved Air Flotation
- Cryptosporidium or oocyst or Giardia

3. RESULTADOS

Una extensa investigación se ha centrado en la optimización de los procesos de tratamiento y la aplicación de nuevas tecnologías para reducir las concentraciones de ooquistes, (Betancourt y Rose, 2004). El efecto del tratamiento químico de agua con sulfato de aluminio, sobre la infectividad del ooquiste *Cryptosporidium*, se ha evaluado mediante un ensayo que combina el cultivo celular y las técnicas de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (Keegan, Daminato y Nonis, 2008); la coagulación con quitosano a dosis de 0,1, 0,5 y 1,0 mg/L no dio lugar a mejoras apreciables en la eliminación del ooquiste de *C. parvum* (Brown y Emelko, 2009). Por esto, se requiere buscar procesos alternativos al no poder romper los quistes de *Cryptosporidium*.

Debido a que los tratamientos convencionales no son muy efectivos para la eliminación de los quistes es necesario recurrir a otros métodos para el tratamiento de aguas más avanzados. Los tratamientos tradicionales son (coagulación, floculación y sedimentación) y estos son ineficaces si se manejan de manera separada, ya que para que la floculación se pueda dar, debe haber un coagulante inyectado en el proceso de coagulación y así mismo, con las partículas formadas en la floculación, bajan por su mayor densidad al fondo del tanque en la sedimentación para ser removidas.

El *Cryptosporidium parvum* se comporta de manera similar a otras partículas coloidales de baja densidad en el agua (French, Guest, Finch y Haas, 2000), en este caso, la flotación por aire disuelto se enfoca en la separación de partículas de baja densidad que se pierden en los procesos de sedimentación por gravedad.

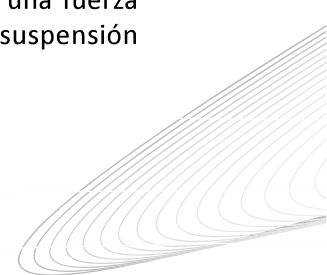
Pese a ser un proceso mejor para la eliminación de parásitos presentes en el agua en forma de quistes con baja densidad, cabe la posibilidad de que alguno de los quistes pase

por el proceso de tratamiento; una solución para eliminarlos puede ser la filtración (Logan, Stevik, Siegrist y Ronn, 2001).

Es importante determinar el número de ooquistes que se pueden encontrar en una muestra de agua, para ello es fundamental identificar que método es el más apropiado para llevar a cabo este proceso, aunque, en Colombia este ha sido un paso difícil de lograr debido al alto costo que tienen estos ensayos, la agencia de protección ambiental de estados unidos USEPA, ha desarrollado un método automatizado más económico que los métodos convencionales y con una reducción significativa en el porcentaje de errores; es un prototipo para el recuento de células CD4 capturando las células teñidas en una membrana dentro de un microchip seguido de obtener imágenes de las células capturadas y convertir la imagen digital en un recuento de células utilizando un algoritmo informático. (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

El prototipo cuenta con dos mecanismos que funcionan a través de fuerzas magnéticas inducidas por estos mismos, el primer mecanismo emplea un poste magnético depositado dentro de una matriz de micro pocillos. Se crea un pozo de potencial magnético empinado al exponer el poste a un campo magnético usando una fuente magnética externa que puede ser un imán permanente o un electroimán. Cada pocillo tiene un diámetro de 5 o 12 μm que están cerca del tamaño de *Giardia* y *cryptosporidium*, respectivamente, por lo que pueden atrapar solo una célula. La velocidad de flujo de la muestra introducida se ha ajustado para empujar cualquier posible aglomeración de celdas hacia los pocillos siguientes (Ramadan y Chritophe, 2009).

El segundo mecanismo emplea el acoplamiento entre conductores portadores de corriente (CCC) planares a microescala y un imán permanente para generar una fuerza magnética programable en la suspensión



de perlas celulares (Fig. 2 b). Los CCC pueden ser funcionalizados eléctricamente para crear zonas de atracción y rebelión de acuerdo con la dirección actual de cada bucle (Ramadan y Chritophe, 2009).

En la Figura 2 (Imagen (a)), se muestran los dos mecanismos utilizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, donde se evidencia las fuerzas magnéticas en forma de vectores que actúan en cada uno de ellos, y, en la Figura 3 (Imagen (b)) se muestra una representación esquemática de las células que estos mecanismos son capaces de capturar, esta imagen muestra microorganismos de un tamaño de $2.8 \mu\text{m}$, tamaño que está relacionado al de microorganismos como la Giardia y Cryptosporidium.

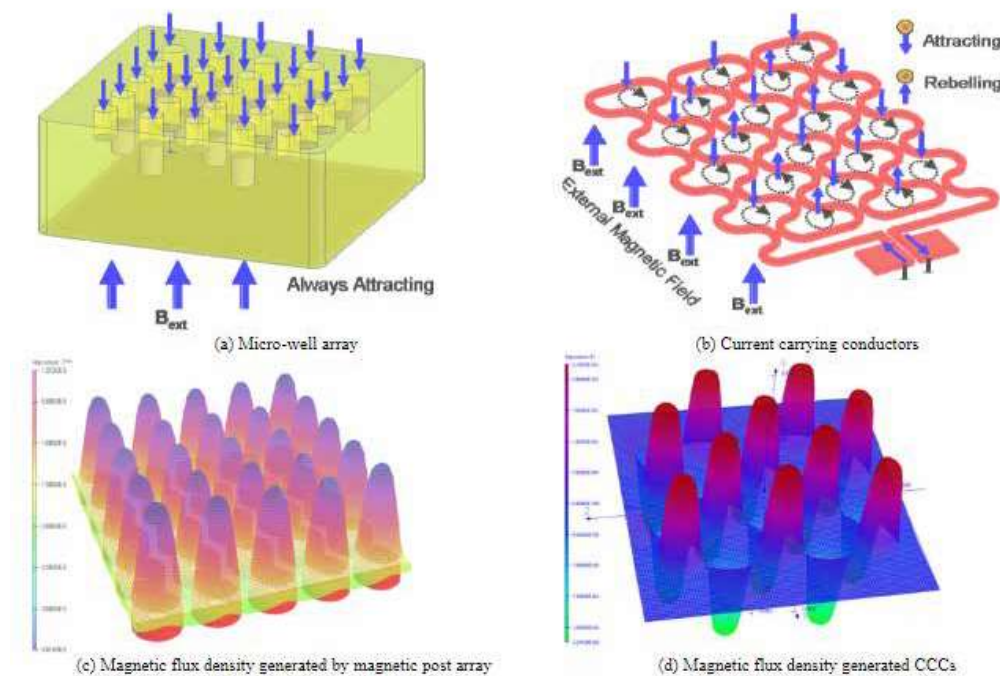


Figura 2. Fuerzas magnéticas.

Fuente: Ramadan y Chritophe (2009)

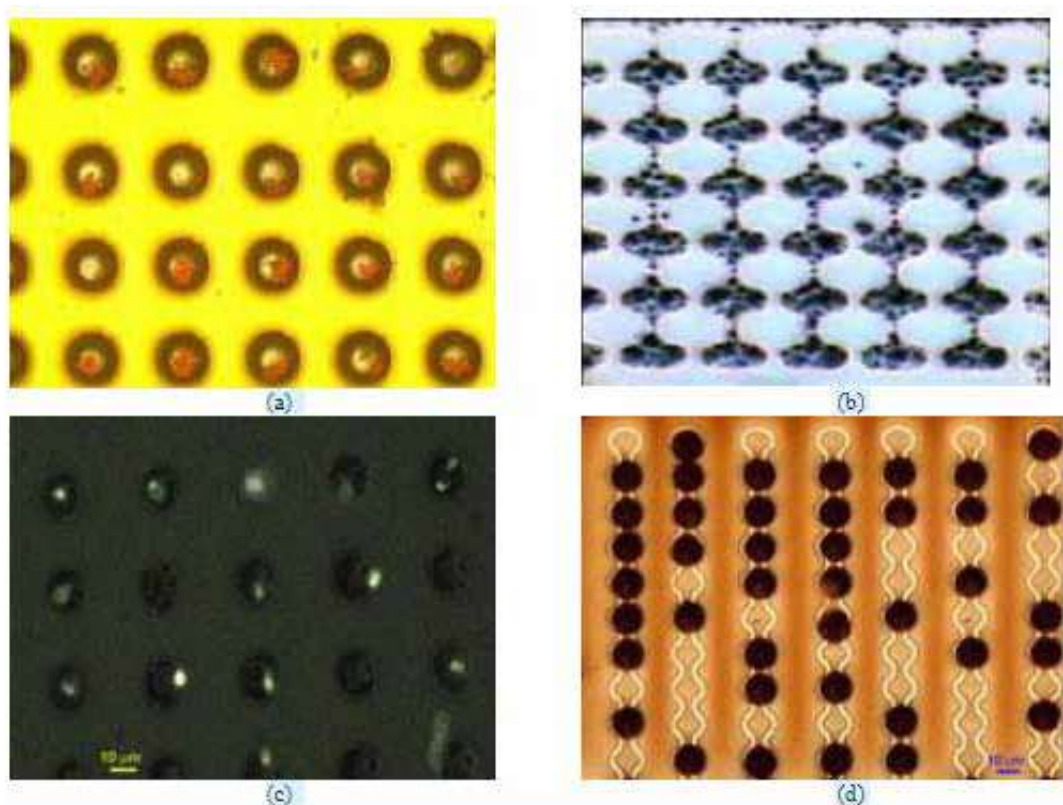


Figura 3. Fuerzas magnéticas.

Fuente: Ramadan y Chritophe (2009)

Uno de los métodos para la eliminación de los quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* es la inactivación por ozono. Este método consiste en disolver el ozono gaseoso en las instalaciones de tratamiento de agua, con el fin de proporcionar protección contra el parásito *Cryptosporidium parvum* (Craik, Smith, Chandrakanth, y Belosevic, 2003); pese a ser efectivo para la eliminación de los quistes, este método no es viable en Colombia por su alto costo.

Se debe tener en cuenta que la inactivación por ozono es riesgosa, puede producir bromato como subproducto de la desinfección, teniendo consecuencias en el cuerpo humano originando síntomas de depresión, degradación del ácido fólico, metahemoglobinemia, en casos más críticos cáncer y la muerte.

Adicionalmente, el clima que tenga el lugar donde se va a tratar el agua por medio del ozono va a interferir en los resultados esperados, por ejemplo, en climas templados, el ozono se puede usar apropiadamente para la desinfección y en dosis bastante bajas (0.3-1 mg/L) para tiempos de contacto muy cortos (1 min) donde son capaces de inactivar hasta 99 % de quistes y ooquistes (Betancourt y Rose, 2004), en climas con menor temperatura el tiempo de contacto aumenta para las mismas dosis de ozono.

La eliminación de los quistes por inmovilización de células individuales tiene una eficiencia de inmovilización celular individual del 82 % (Ramadan y Chritophe, 2009). Sin embargo, este proceso es más minucioso y requiere de una tecnología más avanzada, que por el momento no es viable en el país.

Los estudios han demostrado que la eliminación de *Cryptosporidium* en todas las etapas del proceso de tratamiento convencional es influenciado en gran medida por la eficacia del pretratamiento de la coagulación (Betancourt y Rose, 2004).

Por consiguiente, la coagulación mejorada se define como el proceso de obtención de una mejor eliminación de los precursores de DBP (desinfección por medio de productos) mediante tratamiento convencional modificado que incluye la reducción del pH a niveles de 5–6 y el uso de dosis más altas de coagulantes (Betancourt y Rose, 2004). Si bien tenemos entendido que la *Giardia* y *Cryptosporidium* son microorganismos muy resistentes a tratamientos convencionales, se ha logrado eliminar parte de estos mediante altas concentraciones de desinfectante o coagulante con tiempos de contacto muy altos. En los ooquistes las remociones fueron más altas a un pH de 5.0 cuando las dosis de coagulante eran más altas que las actuales aplicados para la eliminación de la turbidez (Betancourt y Rose, 2004).

Betancourt and J. B. Rose evaluaron las remociones de *Giardia* y *Cryptosporidium* por flotación de aire disuelto DAF, combinada con filtración de doble sentido. DAF y filtración juntos lograron remociones promedio de >5 log, que fueron comparables a las logradas por sedimentación y filtración, dando un foco investigativo al estudio desarrollado en este método DAF (Betancourt y Rose, 2004).

El agua se mantiene en un tanque de retención bajo presión, durante varios minutos, para dar tiempo a que el aire penetre en el agua (de acuerdo con la Ley de Henry). Posteriormente se deja pasar el agua por una válvula para liberar la presión y luego se conduce al tanque de flotación donde el aire deja de estar en disolución y se desprende en forma de burbujas diminutas por todo el volumen del líquido, las cuales al ascender arrastran a la superficie las partículas que se pretenden eliminar (Novelo, López, Peraza, Borges y Riancho, 2008). Este proceso ha demostrado tener una gran efectividad en el tratamiento de agua para el consumo humano, eliminando partículas y microorganismos procedentes de la materia orgánica, como lo son la *Giardia* y *Cryptosporidium*.

No solo el número de burbujas de aire adheridas a un flóculo es relevante para el proceso, sino también el tamaño de las burbujas de aire y los flóculos afectan significativamente la eficiencia del proceso (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013). M. Bondelind, S. Sasic, and L. Bergdahl, a partir de un modelo estudian el tamaño de los agregados formados en el proceso de flotación por aire disuelto. Obtienen a partir de esta investigación los siguientes resultados.

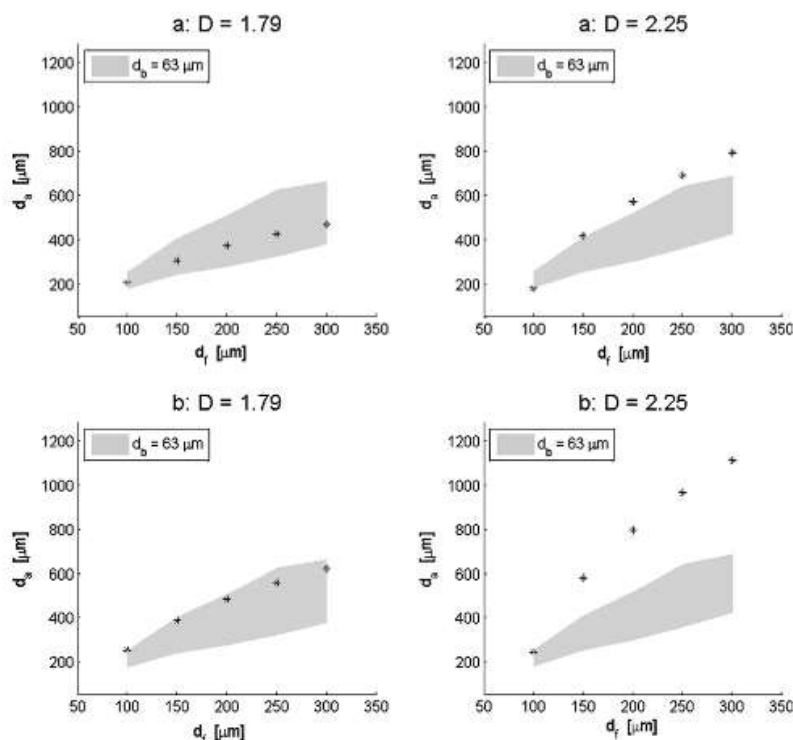


figura 4. Proceso de flotación por aire disuelto.

Fuente: Bondelind, Sasic y Bergdahl (2013)

Estudian el tamaño del agregado (d_a) en función del diámetro del floc (d_f), el área sombreada muestra los tamaños agregados estimados experimentalmente según el número de burbujas unido a un floc, D es un número experimental obtenido a través de un estudio de Johnson y Logan donde indagan el cambio de las dimensiones fractales D a partir de la velocidad de sedimentación de los agregados, (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

Las propiedades superficiales de los flóculos a eliminar en una planta de tratamiento de agua están determinadas por el material particulado en el agua bruta y el coagulante utilizados en la etapa de floculación. En este último, el coagulante se agrega para promover la formación de los flóculos sin embargo, es igualmente importante que las propiedades superficiales de los flóculos favorezcan la formación de agregados burbujas-flocs en el siguiente paso de flotación (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

Estos microorganismos son difíciles de detectar y los equipos para su detección no son muy comunes en Colombia, en el caso del *Cryptosporidium* un método para ser detectado es el RT-PCR dirigida al ADN (Souza, Brien, Santin y Jenkins, 2019)

La filtración directa tampoco es un método muy eficaz a la hora de tratar el *Cryptosporidium*. Sin embargo, el uso del aditivo PolyDADMAC ayuda a una mayor eliminación de los quistes (Mnhephu, Fkwanzala y Mombra, 2021). El uso de productos químicos es muy común en los procesos de tratamiento estándar (Liu, y otros, 2019).

Además de productos químicos la investigación y las nuevas tecnologías han ayudado a encontrar nuevos métodos para reemplazar los tratamientos de agua convencionales, entre ellos el uso de la nanotecnología es un factor a tener en cuenta más adelante si se desean erradicar estos parásitos protozoarios (Gitis y Hankins, 2018).

Los quistes de Giarda y Cryptosporidium se presentan más que todo en las fuentes hídricas cercanas a mataderos y zonas ganaderas, puesto que se encuentran en las heces de estos animales (Jain, Costa Melo, Dolabella, Dolabella y Lin, 2019).

El Tratamiento de los parásitos protozoarios es una tarea complicada debido a su tamaño y resistencia a los tratamientos convencionales (Faloum, Avinmode y Adejinmi, 2021). Además de esto, cabe resaltar que existen muchos subtipos de Cryptosporidium por lo que el tratamiento y detección se vuelve más difícil (Ogura y Sabogal, 2021).

La separación en la flotación por aire disuelto se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto de partículas y burbujas de gas es tal, que hace que la partícula ascienda a la superficie. De esta forma se pueden remover partículas de densidad menor que el líquido. Una vez que las partículas se hallan en la superficie, pueden recogerse mediante un rascador superficial (Petterson, Bradford, Wall y Byleveld, 2021).

La planta de tratamiento de agua potable de Villa de Leyva tiene unos procedimientos muy convencionales, por lo cual se puede afirmar que carece de procesos para la eliminación de microorganismos como la Giarda y Cryptosporidium. Estos están presentes en el punto de captación del agua de la planta de tratamiento, ya que se encuentra en una zona de ganadería y se encuentra expuesto a las heces de estos animales. Este punto de captación se llama Río Cané ubicado en la vereda Alto de los Migueles del municipio de Villa de Leyva.

El agua llega a una torre de aireación de cinco bandejas, cuatro de aireación y una de recolección, donde las funciones son oxigenación y oxidación. También se cuenta con un sistema de coagulación conformado por la caída de agua al canal de recepción del floculador generando una mezcla hidráulica la cual se encuentra en el punto de mezcla rápida del coagulante que es el químico que cumple la función de clarificación del agua, tal y como se evidencia en la Figura 5.



Figura 5. Sistema de coagulación.

Fuente: Aquaductos (2011)

A su vez, la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), cuenta con un sistema de floculación donde se busca generar tres velocidades que aseguren la mezcla y acción del coagulante, en el caso de la planta de tratamiento con sulfato de aluminio tipo A, Figura 6.



Figura 6. Sistema de floculación.

Fuente: aquaductos (2011)

El último proceso de la planta de tratamiento de Villa de Leyva es el proceso de sedimentación (sedimentador de tasa alta) como se observa en la Figura 7, el cual se presenta un paso ascendente del agua acompañada de un módulo de sedimentación acelerada tipo colmena.



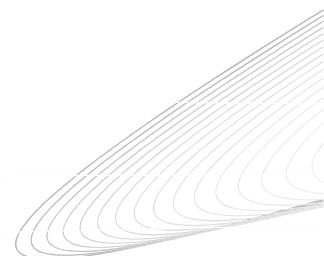
Figura 7. Proceso de sedimentación.

Fuente: Aquaductos (2011)

Para dar solución al proceso de la mejora de la planta de tratamiento es importante realizar una valoración exhaustiva respecto al ámbito ambiental del proyecto. Para esto se realiza una estimación mediante una matriz de impacto ambiental.

4. CONCLUSIONES

Un sistema convencional de coagulación, floculación, sedimentación y desinfección no logra eliminar por completo los patógenos detectados en la fuente de agua del municipio de Villa de Leyva, como Giardia y Cryptosporidium.



El flujo del agua en el proceso de coagulación no favorece una disolución efectiva del agente coagulante en el suministro de agua para la planta. La floculación y sedimentación en la planta tampoco son óptimas debido a la velocidad del agua y a la baja densidad de los quistes que actúan como una barrera protectora para los microorganismos que se intentan eliminar, permitiendo así el paso de patógenos al sistema de acueducto del municipio.

La técnica de flotación por aire disuelto, en cambio, logra romper esta barrera protectora de los microorganismos, incluyendo Giardia y

Cryptosporidium. Además, su diseño permite agrupar estos microorganismos con los sedimentos para su expulsión de la planta.

Los quistes encontrados presentan un comportamiento coloidal, mostrando una fase líquido-gas. En este caso, la coagulación y floculación no son métodos altamente efectivos para abordar esta situación. Por ende, se propone la implementación de una cámara de sedimentación para contrarrestar este efecto y mejorar la eficiencia del proceso.

REFERENCIAS

Betancourt, Q., y Rose, J. (2004, diciembre). Drinking water treatment processes for removal of Cryptosporidium and Giardia.

Bondelind, M., Sasic, S., y Bergdahl, L. (2013, marzo). A model to estimate the size of aggregates formed in a Dissolved Air Flotation unit.

Brown, T., y Emelko, B. (2009). Chitosan and metal salt coagulant impacts on Cryptosporidium and microsphere removal by filtration.

Carey, C., y Lee, H. a. (2004, febrero). Biology, persistence and detection of Cryptosporidium parvum and Cryptosporidium hominis oocyst.

Craik, S., Smith, W., Chandrakanth, M. y Belosevic, M. (2003, septiembre). Effect of turbulent gas-liquid contact in a static mixer on Cryptosporidium parvum oocyst inactivation by ozone.

Faloum, O., Avinmode, B., y Adejinmi, O. (2021, febrero). Molecular characterisation of Cryptosporidium isolates from rivers, water treatment plants and abattoirs in Ibadan, Nigeria.

French, K., Guest, R., Finch, G., y Haas, C. (2000, noviembre). Correlación de la eliminación de Cryptosporidium mediante flotación por aire disuelto en el tratamiento del agua.

Gitis, V., y Hankins, N. (2018, octubre). Water treatment chemicals: Trends and challenges.

Gregory. (1994, mayo). Cryptosporidium in water: Treatment and monitoring methods.

Investigación y Educación en Enfermería. (2007). El resumen de un artículo científico: Qué es y qué no es, 25(1), 14-17. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072007000100001&lng=en&tlng=es.

Jain, S., Costa Melo, T., Dolabella, S., Dolabella, S., y Lin, J. (2019, diciembre). Current and emerging tools for detecting protozoan cysts and oocysts in water.

Keegan, D., Daminato, C., y Nonis, T. (2008, marzo). Effect of water treatment processes on Cryptosporidium infectivity.

- Liu, L., Wang, S., Craik, W., James, Z., Shu, R., y Lin, Y. (2019, septiembre). Removal of *Cryptosporidium* surrogates in drinking water direct filtration.
- Logan, A., Stevik, K., Siegrist, R., y Ronn, R. (2001, diciembre). Transport and fate of *Cryptosporidium parvum* oocysts in intermittent sand filters.
- Mnhephu, M., Fkwanzala, y Mombra, N. (2021, abril). *Cryptosporidium* species and subtypes in river water and riverbed sediment using next-generation sequencing.
- Novelo, R., López, A., Peraza, V., Borges, E., y Riancho, M. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto.
- Ogura, A., y Sabogal, L. (2021, abril). Detection and alkaline inactivation of *Cryptosporidium* spp. oocysts and *Giardia* spp. cysts in drinking-water treatment sludge.
- Petterson, S., Bradford, S. L., Wall, K., y Byleveld, P. (2021, agosto). Application of QMRA to prioritise water supplies for *Cryptosporidium* risk in New South Wales, Australia.
- Ramadan, Q., y Chritophe, L. (2009, septiembre). Individual cells immobilization for water-borne pathogen detection and enumeration.
- Souza, M., Brien, C., Santin, M., y Jenkins, M. (2019, febrero). A highly sensitive method for detecting *Cryptosporidium parvum* oocysts recovered from source and finished water using RT-PCR directed to *Cryptosporidium* RNA.
- U Rosario. (2016, 10 de marzo). Ciencias humanas - guías de calidad académica. Obtenido de: <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidadAcademica/49c/>

