



CAPÍTULO

RELACIÓN DE USO DEL SUELO AGROPECUARIO CON EL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN POR ALGAS Y PRESENCIA DE CARACOLES EN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DEL CORREGIMIENTO EL VÍNCULO (BUGA-VALLE DEL CAUCA)



Luis Felipe Arteaga Aguilera
Ángela María Arango Arias
Óscar Eduardo Sanclemente Reyes
Milton Cesar Ararat Orozco
Mauricio García Arboleda

2.1 INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación Producción Sostenible del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) tiene como líneas de investigación: desarrollo rural, biotecnología, biología del suelo, gestión ambiental y sostenibilidad. A través de diferentes proyectos, el grupo estudia algunas problemáticas de la comunidad y genera soluciones acordes a las condiciones del contexto local. Una de estas problemáticas está relacionada con la contaminación de fuentes hídricas y sistemas de abastecimiento de agua potable deficientes, sobre todo en la zona rural donde el tratamiento es poco tecnificado, lo que reduce notablemente su calidad para consumo humano.

La planta de potabilización del corregimiento El Vínculo, municipio de Buga (Valle del Cauca), abastece del preciado líquido a 570 personas y tiene una capacidad instalada para tratar hasta $453 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$. En el año 2015 la PTAP comenzó a mostrar una problemática relacionada con la eutrofización por algas de los estanques de sedimentación y, seguido de ello, la aparición de dos especies de caracoles dulceacuícolas. Esta problemática generó alertas en los funcionarios de la planta, que comenzaron a realizar un manejo por limpieza periódica de los sedimentadores; sin embargo, este no fue efectivo debido a la alta tasa reproductiva de algas y caracoles y a los costos operativos que implicaban la suspensión del tratamiento para estas labores de mantenimiento.

Mediante el proyecto de investigación titulado “Manejo integral de caracoles dulceacuícolas en la planta de abastecimiento de agua potable del corregimiento El Vínculo (Buga-Valle del Cauca)” desarrollado por el grupo de investigación Producción Sostenible en 2016 se formularon inicialmente algunas hipótesis explicativas del problema de eutrofización en la PTA, relacionadas con el exceso de nutrientes en el afluente y los altos tiempos de retención del agua en los sedimentadores. De acuerdo con Flórez y Porras (2012), el exceso de nutrientes en solución incrementa las poblaciones de algas que metabólicamente los aprovechan durante el proceso fotosintético. En ecosistemas acuáticos tropicales, nutrientes como amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^-) y otros incrementan las poblaciones de algas azul-verdosas, lo que genera un ambiente eutrofizado con bajos contenidos de oxígeno disuelto y poco favorable para la vida aeróbica (Abella y Martínez, 2012; Claros, 2012; Zouiten, 2012). Otras alteraciones relacionadas con la eutrofización por algas son la bioacumulación de sustancias tóxicas, la aparición de diferentes especies en el ecosistema (especies invasoras) y la proliferación de patógenos y vectores (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina, 2010).

Seguido de la formulación de hipótesis de investigación, se propuso como objetivo la caracterización del proceso de eutrofización por algas y caracoles dulceacuícolas en la PTAP, que incluyera la evaluación de variables físico-químicas del agua, la identificación taxonómica de las algas y caracoles presentes, así como el diálogo de saberes con actores sociales de la comunidad, funcionarios de la planta y de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Lo anterior con motivo de identificar otras actividades antrópicas relacionadas con el manejo de la cuenca hidrográfica el río Sonsito, afluente que abastece de agua la planta. De acuerdo con Vázquez et al. (2012), los usos del suelo para ganadería y agricultura convencional implican generalmente labranza y aplicación de agroquímicos que ocasionan aspectos ambientales como la erosión laminar y la salinización del suelo y, en últimas, contribuyen a la eutrofización de ecosistemas acuáticos.

De acuerdo con Vázquez et al. (2012), los usos del suelo para ganadería y agricultura convencional implican generalmente labranza y aplicación de agroquímicos que ocasionan aspectos ambientales como la erosión laminar y la salinización del suelo y, en últimas, contribuyen a la eutrofización de ecosistemas acuáticos.

En la adición de dosis altas de fertilizantes nitrogenados y fosforados se generan excesos que no alcanzan a ser retenidos por el suelo o absorbidos por las plantas y en muchas ocasiones generan problemas de contaminación de recursos hídricos por percolación o arrastre de escorrentía, lo que origina alteraciones en la biología de los ecosistemas acuáticos y ambientes eutrofizados (Ruda et al., 2004; Peña et al., 2005; Eugercios et al., 2017). Inclusive en sistemas artificiales eutrofizados, como el caso de estudio de la presente investigación, pueden proliferar algunos organismos vectores de parásitos y/o enfermedades transmisibles a los seres humanos, según la

Organización Mundial de la Salud (2017). La situación puede agravarse cuando la comunidad se expone directamente al contacto con estos organismos, incrementándose los riesgos a la salud.

Los resultados obtenidos en la presente investigación indicaron la presencia en la PTAP de dos especies de moluscos: *Melanoides tuberculata* y *Lymnaea columella*, ligados al alga *Hydrodictyon Reticulatum* que les sirve de alimento y hábitat reproductivo. Según la literatura, *M. tuberculata* es portadora del parásito *Schistosoma* sp. causante de la enfermedad esquistosomiasis (Sri-aroon et al., 2005) y *L. columella* hospedero de la *Fasciola hepática* que genera la enfermedad llamada fascioliasis (Salazar et al., 2006). A pesar de que en la comunidad del corregimiento El Vínculo no hubo reportes sobre este tipo de afectaciones a la salud de la población durante el periodo de aparición de los caracoles, es conveniente advertir sobre los riesgos que conlleva consumir agua potable en contacto con los moluscos, máxime cuando estas especies tienen una alta tasa reproductiva (Gillespie y Clague, 2009; Pointer et al., 2007), pudiendo propagarse aguas arriba y afectar a otros pobladores.

El conocimiento de las causas y posibles riesgos de la presencia de estas especies, así como el diálogo de saberes con los funcionarios de la PTAP y autoridad ambiental CVC a partir de la caracterización realizada, permitieron generar acciones de manejo integral de la problemática como el control químico de caracoles y algas por clorinación fraccionada en tanques de sedimentación y compromisos concertados con productores agrícolas de la cuenca del río Sonsito para su conversión a prácticas más amigables con el ambiente a fin de reducir la carga de nutrientes en el agua y evitar nuevos eventos similares. Estas acciones hicieron parte de la gestión de las empresas y funcionarios involucrados en el acompañamiento de la investigación aunque no se desarrollaron en este escrito.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en la planta de potabilización de agua (PTAP) del corregimiento El Vínculo en Buga -Valle del Cauca. (3° 48' 56,76" N; 76° 18' 22,33" O y 979 m s. n. m.). La fase de caracterización de las propiedades fisicoquímicas del agua se realizó entre los meses de diciembre de 2016 (época seca) y abril de 2017 (época lluviosa). Los sitios de muestreo fueron la bocatoma del río Sonsito (afluente), los tanques y filtros del proceso en la planta y el efluente. Las muestras se tomaron a una

profundidad de 30 cm en puntos concéntricos descartando los bordes (Instituto Nacional de Salud, 2011). Las muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio color ámbar, debidamente etiquetados, fueron transportados en frío (aprox. 4 °C) para su respectivo análisis fisicoquímico en el laboratorio de química analítica de la UNAD en el municipio de Palmira-Valle del Cauca.

2.2.2 CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DE LA PTAP

2.2.2.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES

En laboratorio se realizó análisis de los contenidos de nutrientes disueltos (nitratos, nitritos, amonio y carbonatos), sólidos disueltos totales, potencial de hidrógeno, dureza y conductividad eléctrica de iones en las muestras de agua tomadas en diferentes puntos de la planta potabilizadora como se describe a continuación.

2.2.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE AMONIO, NITRITOS Y NITRATOS

Se emplearon los kits visocolor ECO Ammonium 3 y Quatofix Nitrat-Nitrit, con test por determinación colorimétrica de los iones de amonio, nitratos/nitritos. Los niveles de estos nutrientes son indicadores importantes de la calidad del agua, teniendo relación con el ciclo del nitrógeno. El amonio es un indicador de posible contaminación del agua por materia orgánica y descomposición por agentes bacterianos. El amonio y el nitrato son nutrientes altamente solubles que comúnmente aparecen en ecosistemas acuáticos como consecuencia de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la parte alta y media de la cuenca hidrográfica. Los niveles excesivos de estos compuestos en cuerpos de agua pueden generar procesos de eutrofización del sistema por algas.

Para la determinación del amonio se empleó la reacción con cloro en medio alcalino y su formación de monocloramina mediante método colorimétrico por indicadores. Se completaron contenedores de 5 ml con la muestra de agua utilizando pipeta. Luego se colocó el contenedor de medida en la posición A del indicador (kit visocolor ECO) y posteriormente se adicionaron los reactivos indicadores en el recipiente B. Se adicionaron 10 gotas del reactivo colorimétrico NH_4^{-1} , se tapó el contenedor y se mezcló; luego se añadió una cuchara medidora rasa del indicador NH_4^{-2} , se cerró el recipiente y se agitó hasta que se disolvió el polvo. Se dejó reaccionar durante cinco minutos. Seguidamente se añadieron cuatro gotas del indicador NH_4^{-3} , agitando el recipiente. Después de siete minutos se abrió el recipiente y se vertió el contenido en la Pos. B

del comparador para hacer finalmente lectura en la tabla comparadora. Los valores intermedios en mg.L^{-1} se interpolaron.

La determinación de nitratos y nitritos se realizó mediante bandas reactivas kit Quato-fix Nitrat-Nitrit. Inicialmente se sumergieron las bandas con ambas almohadillas por 1 s en la muestra de agua, luego se mezcló un poco el recipiente y se esperó un minuto para que se generara la reacción comparando la parte reactiva con la escala de colores y valores de concentración en mg.L^{-1} .

2.2.2.3 DETERMINACIÓN DE LA REACCIÓN DEL AGUA (PH), CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS

En la mediación de la calidad de aguas potables, el pH es un parámetro que da cuenta de la presencia de iones en solución, pudiendo ser algunos de estos perjudiciales para la salud de los consumidores. La determinación de la reacción del agua (pH) y su conductividad eléctrica, se realizó mediante equipo pH-metro multiparámetro. Con este mismo equipo se determinaron los sólidos disueltos en el agua TDS (total solidos disueltos) por sonda de detección. Para ello, se emplearon muestras de 100 ml de agua, sumergiendo la sonda del equipo para su posterior lectura en dataloger. La conductividad eléctrica se expresó en μS (micro siemens). El contenido de sólidos disueltos se expresó en mg.L^{-1} .

2.2.2.4 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA POR CONTENIDOS DE CaCO_3 Y CaO

Se empleó el kit visocolor ECO Dureza. La dureza se expresó según tabla de conversión en mg.L^{-1} de CaCO_3 y CaO . Estos compuestos son indicadores del ciclaje del calcio en el ecosistema y son importantes fuentes de este elemento para la formación de concha en los caracoles. Inicialmente se virtieron 5 ml de muestra en el contenedor de prueba, luego se añadieron dos gotas del reactivo GH-1 del kit y se mezcló invirtiendo el recipiente. La prueba de agua coloreó verde indicando que no había formadores de dureza. Posterior a esto se mantuvo perfectamente vertical el frasco cuentagotas del reactivo GH-2 del kit. Se añadió gota a gota, y se realizó agitación; luego se contaron las gotas, (una gota, aprox. 0,05 ml, corresponde a un grado de dureza total $^{\circ}\text{d}$ según la tabla comparativa del kit).

2.2.2.5 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE ALGAS Y CARACOLES EN LOS TANQUES DE AGUA POTABLE

Para estimar el contenido de algas se recolectaron muestras de agua de los tanques de sedimentación en recipientes de 10 l, con dos réplicas en los filtros lentos de arena descendentes. Luego se tamizó la muestra (tamiz Ø: 1 mm) para separar la biomasa, que fue llevada a proceso de secado (60 °C durante 24 horas) en horno. Se evaluó el peso seco y húmedo de las muestras, y se estimó la concentración en mg.L^{-1} como la razón entre la materia seca y el volumen de la muestra. Seguidamente se realizó relación entre la materia seca y el volumen del recipiente muestral (10 l) como se ilustra en la Ecuación 2.1.

[Ec. 2.1] *Contenido de algas en los tanques (mg.L^{-1}) = materia seca (mg) / volumen del tanque (L)*

Para estimar el contenido de caracoles dulceacuícolas en la planta y su variación en el tiempo, se hizo el conteo en los meses de diciembre de 2016 y abril de 2017 en las canaletas de evacuación de los tanques de sedimentación donde se evidenciaba mayor cantidad de moluscos. Para estimar su densidad, se estimó el área transversal de la canaleta (dm^2) como ancho (2,8 dm) por alto (0,7 dm). La densidad se determinó con la ecuación 2.2.

[Ec. 2.2] *Densidad (caracoles. dm^{-2}) = número de individuos / área transversal canal (dm^2)*

Posterior a la estimación del contenido de algas y caracoles presentes, se procedió a su identificación taxonómica. Se consultó a expertos de la Universidad del Valle del departamento de biología: el malacólogo Jaime Ricardo Cantera¹ y el ficólogo Enrique Javier Peña², quienes realizaron la identificación taxonómica mediante características morfológicas de las especies. Adicionalmente, se realizó investigación bibliográfica para establecer valores de referencia en cuanto a riesgo/eutrofización de las especies en el agua para tratar.

-
1. Docente de la Universidad del Valle (Cali- Colombia).
 2. Docente de la Universidad del Valle (Cali- Colombia).

2.2.2.6 DIÁLOGO DE SABERES CON ACTORES SOCIALES DEL SITIO DE ESTUDIO

Se realizó consulta con la autoridad ambiental departamental, CVC, mediante entrevista al funcionario Édgar Alfonso Largacha González³, responsable de la zona, a quien se le indagó sobre las características de la cuenca hidrográfica del río Sonsito, usos del suelo y problemáticas ambientales.

En la planta de potabilización se tuvo el apoyo de cuatro funcionarios con quienes se dialogó acerca de la génesis de la problemática por aparición de algas y caracoles. Así mismo, se socializaron los resultados obtenidos en la investigación, en la oficina administrativa (ASUACOVl)⁴ de la planta ubicada en la vía panamericana callejón Telecom del corregimiento El Vínculo (Bugá-Valle del Cauca). Inicialmente, se expuso la problemática asociada al crecimiento de las algas y la aparición de los caracoles con el propósito de que los asistentes conocieran las causas y consecuencias sobre del agua eutrofizada y las enfermedades transmitidas por los moluscos.

La socialización tuvo tres etapas. La primera consistió en realizar la encuesta con cinco preguntas relacionadas con el tema (ex- ante); esto con el propósito de estimar el nivel de información de los asistentes sobre la problemática en cuestión. En la segunda se volvió a realizar la encuesta (ex- post) para evaluar el impacto que causó la socialización durante el diálogo a los asistentes, despejando las dudas de la situación de la planta. Finalmente, la tercera etapa consistió en la realización de dibujo por parte de los participantes (cartografía social) con el fin de ilustrar y plasmar los conocimientos aprehendidos en la reunión.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA EN LA PTAP

Los resultados de caracterización físico-química de las muestras en la PTAP indicaron leve reactividad del agua, como se pudo observar con la fluctuación del pH entre 7,9 y 8,2; esto la clasificó como ligeramente alcalina (tabla 2.1). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2006), valores de pH mayores de ocho indican la presen-

3. Funcionario de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), zona centro.

4. ASUACOVl: Asociación de suscriptores de acueducto y alcantarillo del corregimiento El Vínculo.

cia de solutos disueltos, pudiendo algunos ser contaminantes. Así mismo, las aguas alcalinas requieren mayores contenidos de cloro para la desinfección por causa de la descomposición de sus moléculas activas, siendo necesario incrementar la dosis de clorinación hasta en 20 % (5 mg.L-1 a pH <8 y 6 mg.L-1 a pH >8).

La conductividad eléctrica es un parámetro que indica la presencia de iones en solución. Los valores conductividad eléctrica en la PTAP fueron inferiores a los límites establecidos por la normatividad vigente, fluctuando entre 187,8 y 272,6 μS en la época seca y entre 153,5 y 185,3 μS en la época lluviosa. Del mismo modo, se observó un descenso de este parámetro en el efluente en la segunda época de muestreo. Lo anterior indica remoción de los iones en el tratamiento y/o aprovechamiento por organismos presentes.

TABLA 2.1 Caracterización de parámetros físicos y químicos del agua durante diciembre de 2016 (época seca) y abril de 2017 (época lluviosa) en la bocatoma durante los procesos de tratamiento y en el efluente de la lanta de tratamiento de agua potable del corregimiento El Vínculo (Buga-Valle del Cauca)

Parámetro	Unidad	-----Época Seca-----			-----Época lluviosa-----			Límite máximo por normatividad
		Bocatoma	Procesos	Efluente	Bocatoma	Procesos	Efluente	
pH	--	7.9	8.2	8.0	8.0	8.1	8.0	6.5 a 8.0 *
Conductividad eléctrica	μS	272.6	191.2	187.8	185.3	141.9	153.5	1000 **
Sólidos disueltos totales	mg/L	300	600	300	900	1300	300	1000 *
Amonio (NH_4^+)	mg/L	0	0.16	0.10	0.20	0.10	0.06	35 *
Nitratos (NO_3^-)	mg/L	10	10	10	10	11.6	10	10 **
Nitritos (NO_2^-)	mg/L	0.3	0,3	0.3	0.1	0	0	0.10 **
Óxido de Calcio (CaO)	mg/L	40	40	40	40	40	40	60 **
Carbonato de Calcio (CaCO_3)	mg/L	71	71	71	71	71	71	200 *

* Organización Mundial de la Salud OMS (2006). Apéndice 1. Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Tercera edición.
 ** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 de 2007.

Fuente: Los autores (2017)

El contenido de sólidos disueltos totales presentó niveles aceptables durante la época seca, fluctuando entre 300 y 600 mg.L^{-1} . Se pudo observar un incremento sustancial en el contenido de sólidos disueltos del agua durante el proceso de tratamiento, lo que pudo deberse a factores bióticos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2006), estos sólidos totales se componen de sales y restos de materia orgánica que

se disuelven e incluso microfauna. Durante la época lluviosa se registró incremento notable de los sólidos disueltos en el proceso de tratamiento con 1300 mg.L^{-1} , sobrepasando en 30 % los límites de la norma. La mayor carga de sólidos en esta época de muestreo pudo también relacionarse con material fino de arrastre producto de procesos erosivos en la cuenca del río Sonsito que abastece la PTAP.

En el caso de los nutrientes ligados al ciclo del nitrógeno, se registraron bajas concentraciones de amonio que fluctuaron entre 0 y $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$ durante los muestreos en los sitios. Por su parte, los contenidos de nitratos fueron altos durante los muestreos, llegando a sobrepasar los límites normativos durante el proceso para la época lluviosa con $11,6 \text{ mg.L}^{-1}$. A pesar de que estos niveles generan alertas, algunos estudios en plantas de potabilización han reportado concentraciones de nitratos en agua de hasta 15 mg.L^{-1} , lo que supera el límite normativo en 50 % (Dechruksa et al., 2007). Según Cárdenas y Sánchez (2013), la alta presencia de nitratos en solución puede deberse a procesos oxidativos como la nitrificación en los cuerpos de agua o al vertimiento de sales solubles como los fertilizantes nitrogenados.

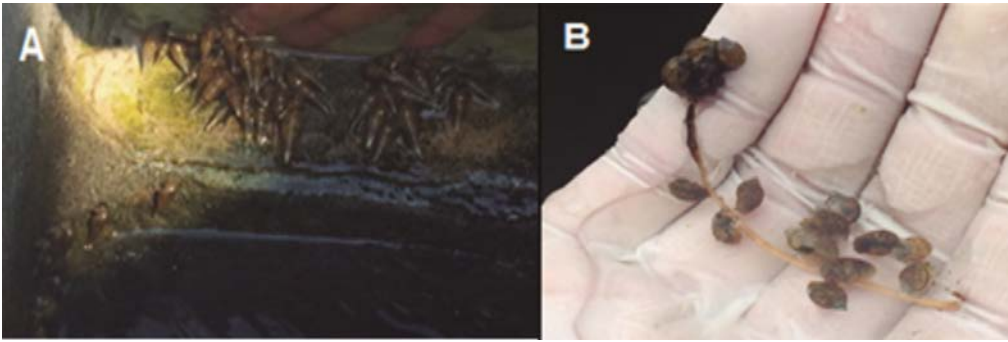
Otro nutriente en estado intermedio de oxidación entre amonio y nitrato es el nitrito. El contenido de nitritos disueltos en el agua de la PTAP fue alto en la época seca pues registró valores de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, tres veces el límite permisible por la norma. De acuerdo con Metcalf y Eddy (1998), la presencia de nitritos en el agua es un indicador de contaminación de carácter fecal reciente. Valores de concentración de nitritos entre $0,1$ y $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$ como los registrados en el presente estudio pueden llegar a ser tóxicos dependiendo del pH del agua (Erikson, 1985). Por su parte, otros investigadores indican que concentraciones elevadas de nitritos en agua para consumo humano pueden reaccionar en el organismo con aminas y amidas, formando nitrosaminas de alto potencial tóxico e incluso cancerígeno (Sasson, 1993; Gil et al., 2013).

La dureza, medida como la concentración de óxido de calcio y carbonato de calcio en el agua, registró valores constantes de 40 y 71 mg.L^{-1} respectivamente, durante los muestreos. Las aguas con concentraciones inferiores a 100 mg.L^{-1} de estos compuestos se consideran aguas blandas. Según la Organización Mundial de la Salud (2006), tiene una capacidad de amortiguación baja y pueden ser más corrosivas en tuberías. La presencia carbonatos de calcio y óxidos de calcio en el agua se debe principalmente a la hidrólisis de la calcita como mineral del subsuelo y/o a la aplicación de cales agrícolas. Aparentemente, la concentración de calcio en el agua fue baja, lo que contribuyó a la presencia de caracoles que requieren metabolizar el elemento para construcción de conchas.

2.3.2 IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA Y CONTENIDOS DE ALGAS Y CARACOLES EN LOS TANQUES DE POTABILIZACIÓN

Los expertos consultados, clasificaron dos especies de caracoles *Melanooides tuberculata* y *Lymnaea columella* (figura 2.1). De igual forma, se identificó una especie de alga *Hydrodictyon reticulatum* (figura 2.2) como responsable de la eutrofización en los tanques de potabilización.

FIGURA 2.1 Caracoles presentes en la PTAP del corregimiento El Vínculo (Buga-Valle del Cauca): a) *M. tuberculata* y b) *L. columella*. Las imágenes fueron tomadas en las canaletas que conducen en los filtros lentos de arena descendentes



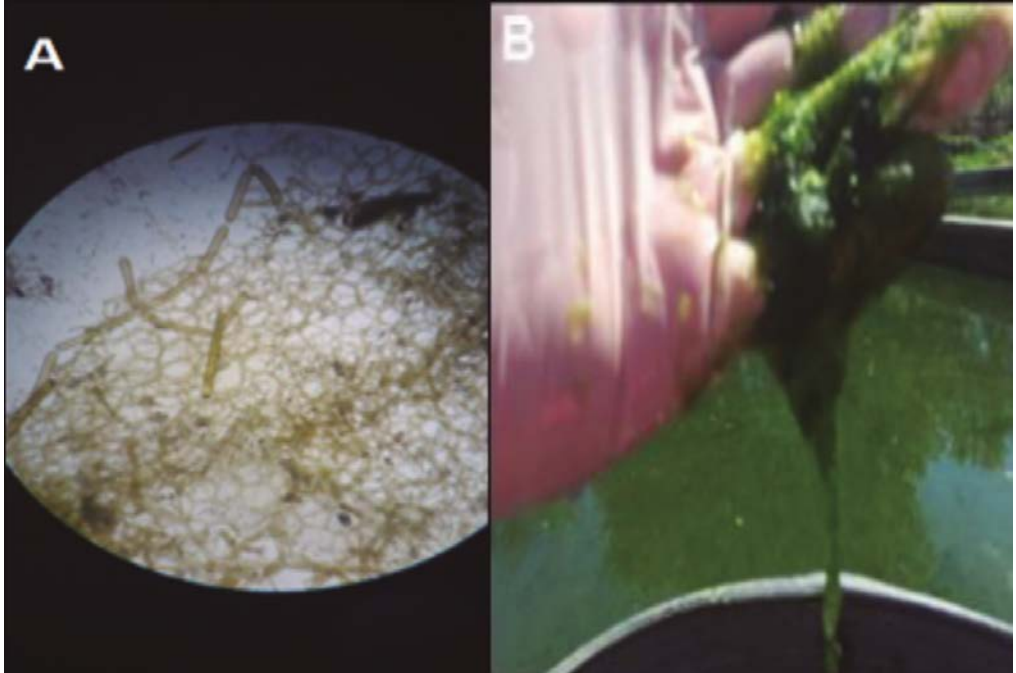
Fuente: Los autores (2017)

De acuerdo con Olivares y Gálvez (2008), *M. tuberculata* presenta tamaño de concha medio de forma cónica y alargada, semejante a un tubérculo. La parte externa de la concha es de color café claro, contiene líneas espirales y nódulos con intervalos regulares. Su reproducción es ovovivípara y por partenogénesis, lo que permite su alta tasa de crecimiento poblacional (García y Carrasco, 2014). Se alimenta de vegetación y de algas, que además le sirven de hábitat. En sistemas acuáticos logran establecerse bien a condiciones de pH entre 7,0 y 8,4 y de oxígeno disuelto entre 6,0 y 9,0 mgL⁻¹ (Pérez et al., 2001). Esta especie ha sido reportada como vector de *Schistosoma* sp., trematodo que ocasiona la esquistosomiasis en humanos (Sri-aroon et al., 2005; Gillespie y Clague, 2009).

Por su parte, *L. columella* es de menor tamaño y presenta una concha ovalada con espirales cruzados de color grisáceo. Es hermafrodita, lo que le permite autofecundarse, siendo la tasa de reproducción mayor en climas cálidos. Los embriones se desarrollan completamente dentro del huevo (Giraldo y Álvarez, 2013; Prepelitchi, 2009). Esta

especie puede habitar en sedimentos, consumir algas y zooplancton presentes en los bordes de ecosistemas acuáticos. Se ha reportado como vector del trematodo *Fasciola hepática* que causa la enfermedad fasciolosis hepática o duela del hígado, que es una zoonosis que afecta a vacunos, ovinos y caprinos, entre otros (Salazar et al., 2006).

FIGURA 2.2 Algas presentes en la PTAP del corregimiento El Vínculo (Buga-Valle del Cauca): a) *H. reticulatum* vista al microscopio Óptico (40X) y b) Biomasa de algas acumulada en tanques de potabilización del agua



Fuente: A: Peña (2017) y B: Los autores (2017)

H. reticulatum pertenece a la familia Hydrodictyceae. Se organiza en forma de colonias con células interconectadas e incrustadas que alcanzan 0,5 m de longitud y redes de 10 -15 mm de diámetro que son visibles en grandes colonias; aprovechan los nutrientes solubles como fuente de química, en especial los nitratos y fosfatos para su proceso reproductivo ya que estos proveen elementos necesarios para la formación de ácido nucleicos y la división celular. En zonas tropicales, la alta radiación e incremento de las temperaturas en ecosistemas acuáticos favorecen su crecimiento, llegando a eutrofizarlos (John et. al, 2002). Según la OMS (2006) la presencia de algas en plantas de agua potable fuera de dificultar la coagulación y filtración puede generar toxinas y cambios en el sabor del agua limitando su calidad.

Los contenidos de caracoles y algas en la PTAP se presentan en la tabla 2.2. De acuerdo con revisión literaria, se lograron establecer niveles de referencia para del riesgo/eutrofización de las especies evaluadas en la investigación mediante su densidad poblacional en ecosistemas acuáticos. Cabe resaltar que aunque la PTAP no es un ecosistema natural, en esta investigación se asumen estos valores de referencia para poder hacer un comparativo y poder resaltar el riesgo potencial a la salud de la presencia de estas especies en el agua a tratar.

TABLA 2.2. Contenidos de caracoles y algas dulceacuícolas en durante los procesos de purificación del agua de la PTAP del Corregimiento El Vínculo (Bugá- Valla del Cauca)

Especie	Unidad	Contenido	Niveles de riesgo / eutrofización
Melanoides tuberculata	individuos.dm ⁻²	36	27 (Dundee y Paine, 1977 citados por Letelier et al., 2007).
Lymnaea columella	individuos.dm ⁻²	24	25 (Giraldo y Álvarez, 2013).
Hydrodictyon reticulatum	mg.L ⁻¹	280	0.8 (Ruibal et al., 2005). 0.5 (OPS y CEPIS, 2006).

Fuente: Los autores (2017)

Para el caso de las dos especies de caracoles dulceacuícolas, a pesar de que en esta investigación no se realizaron estudios microbiológicos para establecer si eran portadores de trematodos patógenos como los descritos anteriormente, se pudieron comparar los contenidos en la PTAP con valores de referencia de patogenicidad humana o animal y, riesgo ecológico publicados por investigadores expertos. Se puede observar que los contenidos de *M. tuberculata* sobrepasan estos valores críticos en 33 %, pudiendo por ejemplo ser indicio de la presencia de *Schistosoma* sp. y otros patógenos asociados, que llegarían a las casas de los consumidores finales del agua vía red de distribución, afectando su salud. Lo anterior, ya que las dosis de clorinación al final del proceso en la planta se consideran bajas (1 mg.L⁻¹) con respecto a las requeridas para controlar este tipo de trematodos, que según la OPS debe ser de al menos 2 mg.L⁻¹. En el caso de *L. columella* su presencia en la PTAP estuvo en el límite de poblaciones de riesgo con 24 individuos. dm⁻² pudiendo generar afectación del ganado bovino presente en la zona de estudio aguas arriba.

El contenido del alga *H. reticulatum* como se puede evidenciar, fue extremadamente alta con relación al valor de riesgo. De acuerdo con Pérez et al., (2001) la biomasa algal puede servir de alimento y hábitat para los caracoles dulceacuícolas, permitiendo su crecimiento exponencial al no haber enemigos naturales aparentes en el sistema.

Otro aspecto negativo de la presencia del alga, son los daños y cortocircuitos en el proceso de tratamiento ligados al taponamiento de filtros que generan altos costos de mantenimiento, al igual que la reducción en la calidad del agua potable entregada a los consumidores debido a la segregación de toxinas y otros metabolitos que pueden afectar su sabor (Organización Mundial de la Salud, 2006).

2.3.3 DIÁLOGO DE SABERES CON ACTORES SOCIALES DEL SITIO DE ESTUDIO

Participó el ingeniero ambiental Édgar Alfonso Largacha González quien realizó descripción del uso del suelo y las principales actividades productivas realizadas en la cuenca del río Sonsito, afluente de la PTAP. El uso actual del suelo es de predominio agropecuario, destacándose la producción de cultivos a pequeña escala (tomate, pimentón, medicinales y aromáticas) y la ganadería extensiva. Tanto en cultivos y pasturas se aplican fertilizantes de síntesis química para incrementar la productividad vegetal; en el caso de cultivos se aplican diversos insecticidas y fungicidas para el control de plagas y enfermedades. El estiércol se acumula y no se estabiliza, ese residuo fresco se dispone directamente al suelo ocasionando un exceso de nutrientes y el aporte microorganismos, entre ellos algunos patógenos. Estas acciones estarían generando un desbalance de nutrientes y aportando otras sustancias nocivas al ecosistema, pudiendo ser arrastrados con la escorrentía y llegar al cauce principal de la cuenca.

De otro lado, se tuvo la participación de operarios de la PTAP con quienes se realizó cualificación y socialización de resultados del estudio, así como construcción de cartografía social. Inicialmente se les aplicó encuesta de presaberes, donde se les preguntó sobre la problemática ligada a sobrepoblación del alga *H. reticulatum* y los caracoles *M. tuberculata* y *L. columella* en la PTAP. Se lograron evidenciar algunas falencias conceptuales relacionadas con el conocimiento de los parámetros de calidad del agua que están definidos por la normatividad vigente. Otra falencia se identificó en el desconocimiento de la mayoría de los participantes sobre los riesgos de salud por la presencia de caracoles en la PTAP.

La cualificación consistió en conceptualización relacionada con el fenómeno de eutrofización, las medidas para el manejo de algas y caracoles y, por último, sobre usos del suelo y actividades agropecuarias realizadas en la cuenca del río Sonsito (figura 2.3), contando con la información suministrada por parte de la CVC. Al finalizar la sesión, se hizo una encuesta para observar el impacto de la cualificación, que evidenció apropiación social de los participantes sobre los conocimientos compartidos durante el diálogo participativo. Los funcionarios de la PTAP mostraron interés y disponibilidad para realizar un manejo adecuado de la problemática y generar monitoreo constante.

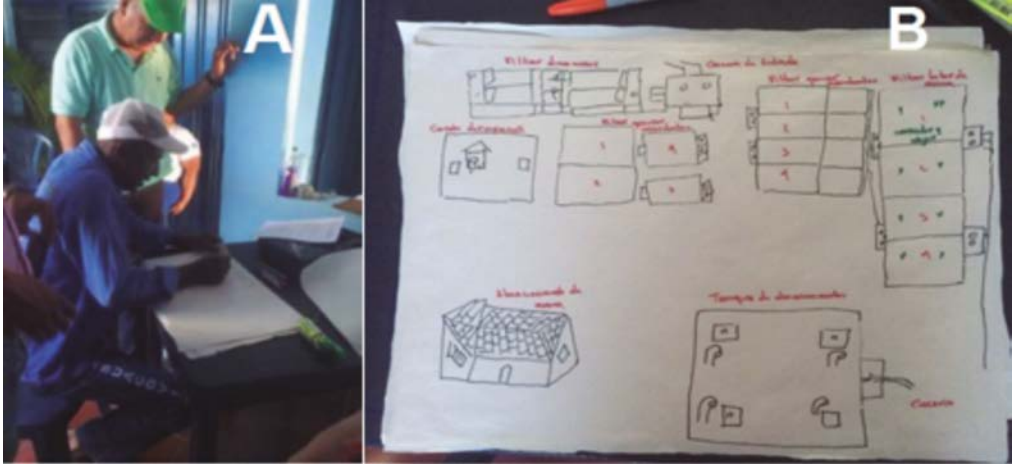
FIGURA 2.3 Reunión con los funcionarios en instalaciones de Planta Potabiladora, Buga-Valle del Cauca



Fuente: Los autores (2017)

La cartografía social permitió la participación colectiva de los funcionarios, que evidenció comprensión y reflexión en torno a la problemática. Este tipo de trabajos permite que los actores interpreten su realidad a nivel investigativo y de manera subjetiva, identifiquen su entorno y lo que acontece en él mediante diálogo de saberes (Barragán y Amador, 2014; Barragán, 2016). En esta investigación, los participantes realizaron ilustración de la PTAP identificando sus diferentes procesos y las problemáticas relacionadas con la presencia de algas (figura 2.4). Esta actividad lúdica permitió a los funcionarios describir las instalaciones de la PTAP y resaltar físicamente los filtros descendentes donde hay prevalencia de algas y aparición de caracoles que a diario observan. Para ellos, esta condición representa un evento y no una problemática frecuente.

FIGURA 2.4 A) Consenso grupal de los integrantes y B) Dibujo de los participantes del diseño de la PTAP

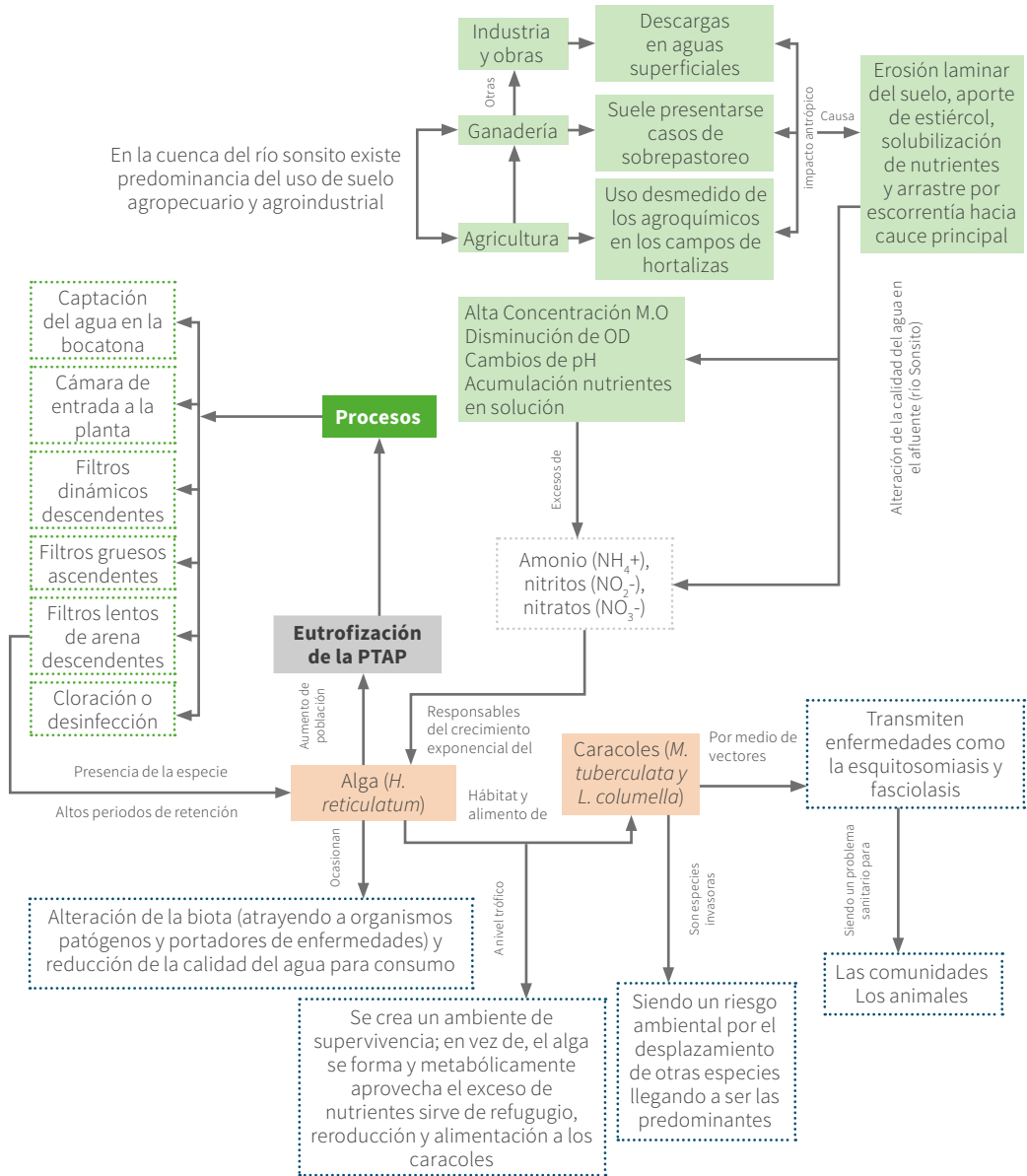


Fuente: Los autores (2017)

2.4 DISCUSIÓN GENERAL

En el esquema (figura 2.5) se ilustra el proceso de eutrofización y demás impactos ambientales relacionados con la PTAP. Se resaltan en color rojo la presencia de *M. tuberculosis* y *L. columella* y las algas *H. reticulatum* como organismos que aumentan sus poblaciones ocasionando eutrofización en tanques de sedimentación y filtros lentos de la PTAP. Este fenómeno se relaciona con altas concentraciones de nutrientes en el agua del afluente (en especial nitratos y nitritos), así como el tiempo prolongado de retención del agua que se va a tratar en los diferentes procesos. La alteración del pH se debió al amonio registrado, que pudo transformarse en nitritos y nitratos por acción bacteriana y favorecer así su asimilación por las algas.

FIGURA 2.5 Esquematación del proceso de eutrofización en la PTAP



Fuente: Los autores

Los sólidos disueltos en el agua son indicadores de materia orgánica en solución, pudiendo esta ser aportada por actividades como la ganadería y agricultura en el sector, así como vertimientos de aguas residuales domésticas y agroindustriales aguas arriba.

Lo anterior fue confirmado con la autoridad ambiental CVC y se relaciona con los diferentes usos del suelo y las problemáticas presentes en la cuenca del río Sonsito.

El manejo realizado tanto para el control de algas y caracoles en la PTAP fue el incremento en la concentración dentro del proceso de cloración (hasta 2 mg.L^{-1}) como lo recomienda la OPS; se pudo evidenciar en el corto plazo disminución significativa tanto en la población de caracoles como en la producción biomásica de algas en los tanques y filtros lentos. Sin embargo, se recomienda explorar otras alternativas que se enfoquen no tanto en el control del problema sino en atacar sus causas, en este caso relacionadas con el exceso de nutrientes y materia orgánica en el afluente.

En este aspecto, las prácticas agrícolas sostenibles o agroecológicas se constituyen en alternativas viables y más sustentables cuyo principio radica en minimizar la dependencia de insumos externos como los agroquímicos y, en cambio, generar un proceso de transición que inicia con la sustitución de insumos por sustancias orgánicas que no afecten el ambiente. Se destacan el uso de abonos orgánicos aprovechando la transformación de estiércoles bovinos, los abonos verdes provenientes de leguminosas que fijan el N_2 atmosférico y lo aportan al suelo y la aplicación de hongos micorrízicos para fomentar simbiosis rizosférica en las plantas cultivadas y así maximizar la absorción de agua y nutrientes del suelo. Para el caso del manejo de la erosión del suelo es conveniente fomentar sistemas silvopastoriles donde se integren pasturas y árboles que amarren el suelo y reduzcan su desprendimiento y arrastre; también emplear coberturas vegetales en sistemas de cultivos que eviten la salpicadura de las partículas sólidas por acción de las gotas de lluvia. De esta manera, se lograría mejorar la condición productiva de los agricultores y, al tiempo, la calidad de vida de la población que se abastece del agua tratada en la planta.

2.5 CONCLUSIONES

El proceso de eutrofización por algas y caracoles se debió a diversas condiciones favorables para su metabolismo como prolongados periodos de retención del agua y al alto contenido de nutrientes presentes en el afluente, en especial nitratos y nitritos. Esta condición del afluente se relaciona con el manejo inadecuado de sistemas agropecuarios en la cuenca hidrográfica, destacándose la aplicación excesiva de agroinsumos de síntesis química y la ganadería extensiva sin manejo adecuado de estiércoles. La presencia de estos caracoles en la PTAP podría generar un riesgo para la salud por ser vectores de parásitos que generan enfermedades como la esquistosomiasis en hu-

manos y la fasciolosis hepática o duela del hígado en el ganado bovino, por lo que es fundamental su manejo y control integral.

La cualificación y socialización aportaron al diálogo constructivo colectivo entre investigadores, funcionarios, miembros de la comunidad y entidades gubernamentales, permitiendo comprender y avanzar sobre los diferentes aspectos relacionados con la problemática de eutrofización por caracoles y algas en la PTAP. Este tipo de trabajos permiten aportar a una solución más integral que pueda atender las causas del problema, por lo que es más efectiva que el control ambiental.

Aunque la clorinación en el sistema es una solución que disminuye considerablemente las poblaciones de algas y caracoles, se recomienda indagar sobre otras acciones relacionadas con las causas de la problemática estudiada como son el uso de prácticas agroecológicas en los sistemas productivos agropecuarios de la cuenca hidrográfica del río Sonsito, que incrementen su sostenibilidad y sean más amigables con el ambiente.

Se recomendó el monitoreo de estas y otras especies invasoras, que permitan registrar sus poblaciones, dinámicas ecosistémicas y su relación con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.



Se recomendó el monitoreo de estas y otras especies invasoras, que permitan registrar sus poblaciones, dinámicas ecosistémicas y su relación con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

2.6 REFERENCIAS

Abella, J. y Martínez, M. (2012). Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del lago de tota (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 243-261. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309028756006>

Álvarez, L. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>

Barragán, D. y Amador, J. (2014). La cartografía social-pedagógica: Una oportunidad para producir conocimiento y re-pensar la educación. *Itinerario educativo*, 28(64), 127-141. <http://revistas.usb.edu.co/index.php/Itinerario/article/view/1422/1215>

Barragán, D. (2016). Cartografía social pedagógica: entre teoría y metodología. *Revista Colombiana de Educación*, (70), 247-285. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcde/n70/n70a12.pdf>

Cárdenas, G. y Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Revista Universidad y Salud*, 15(1), 72-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf>

Claros, J. (2012). *Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17653/tesisUPV3951.pdf?sequence=1>

Dechruksa, W., Krailas, D., Ukong, S., Inkapatanakul, W. y Koonchornboon, T. (2007). Trematode Infections of the Freshwater Snail Family Thiaridae in the Khek River, Thailand. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 38(6), 1016-1028. https://www.researchgate.net/publication/5238316_Trematode_infections_of_the_freshwater_snail_family_Thiaridae_in_the_Khek_River_Thailand

Dundee, D. S. y A. Paine. (1977). Ecology of the snail *Melanoides tuberculata* (Müller), intermediate hosts of the human liver fluke (*Opisthorchis sinensis*) in New Orleans, Louisiana. *Nautilus*, (91), 17-20. <https://www.cabi.org/isc/abstract/20067204778>

Erikson, R. (1985). An evaluation of mathematical models for the effects of pH and temperature on ammonia toxicity to aquatic organisms. *Water Research*, 19(8), 1047-1058. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90375-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90375-6)

Eugercios, A., Álvarez, M. y Montero, E. (2017). Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. Ecosistemas. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 26(1), 37-44. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/152343/1/Ecosistemas%2026\(1\)%2037-44%20\(2017\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/152343/1/Ecosistemas%2026(1)%2037-44%20(2017).pdf)

Flórez, I. y Porras, M. (2012). *Estudio del proceso de potabilización de la planta de agua potable planta Puriblock II del municipio del Socorro, Santander* (tesis de posgrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. <https://aguaspeeligrosasblog.files.wordpress.com/2016/10/calculo-de-contaminacion-de-una-planta-de-acueducto.pdf>

García, E. y Carrasco, M. (2014). Moluscos dulceacuícolas introducidos e invasoras. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, pp. 337-345.

Gil, J., Belloso, G., Vizcaino, C., Maza, I., Sánchez, M., Bolívar, C. y Martínez, P. (2013). Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 154-163. <http://www.bioline.org.br/pdf?cg13020>

Gillespie, R. y Clague, D. (2009). *Encyclopedia of Islands*. University of California Press.

Giraldo, E. y Álvarez, L. (2013). Registro de plantas hospederas de caracoles Lymnaeidae (Mollusca: Gastropoda), vectores de Fasciola hepática (Linnaeus, 1758), en humedales de la región central andina colombiana. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 7(2), 63-74. <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v7n2a05.pdf>

Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Editorial Botanical-Online SL. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVI-CAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

John, D., Whitton, B. y Brooks, A. (2002). *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge University Press.

Letelier, S., Ramos, A. y Huaquín, L. (2007). Moluscos dulceacuícolas exóticos en Chile. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (78), 9-13. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3678017>

Metcalf y Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw Hill.

Olivares, L. y Gálvez, O. (2008). Registro de la especie exótica *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) en la región de Tarapacá (Gastropoda, Prosobranchia, Thiaridae). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, (57), 153-158. https://www.researchgate.net/publication/299437717_REGISTRO_DE_LA_ESPECIE_EXOTICA_MELANOIDES_TUBERCULATA_MULLER_1774_EN_LA_REGION_DE_TARAPACA_GASTROPODA_PROSOBRANCHIA_THIARIDAE

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. OMS. http://who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Esquistosomiasis*. OMS. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs115/es/>

Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente. (2006). Capítulo 7. Instructivo de puesta en marcha y operación normal. En *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada* (pp. 285-314). CEPIS.

Peña, E., Palacios, M. y Ospina, N. (2005). *Algas como indicadoras de Contaminación*. Universidad del Valle

Pérez, R., Saldaña, A., Vicente, V. y Badillo, A. (2001). Hábitat y presencia de *Thiara* (*Melanoides*) *tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae), en la presa de Apizaquito, Tlaxcala. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 50(1), 15-23. <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/143175/50VH%C3%A1bitatPresencia.pdf?sequence=1>

Pointer, J., Coustau, C., Rondelaud, D. y Theron, A. (2007). *Pseudosuccinea columella* (Say 1817) (Gastropoda, Lymnaeidae), snail host of *Fasciola hepatica*: first record for France in the wild. *Parasitology Research*, 101(5), 1389-1392. https://www.researchgate.net/publication/6178240_Pseudosuccinea_columella_Say_1817_Gastropoda_Lymnaeidae_snail_host_of_Fasciola_hepatica_First_record_for_France_in_the_wild

Prepelitchi, L. (2009). *Ecoepidemiología de Fasciola hepática (Trematoda, Digenea) en el norte de la provincia de Corrientes destacando aspectos ecológicos de Lymnaea columella (Pulmonata, Lymnaeidae) y su rol como hospedador intermediario* (tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4546_Prepelitchi.pdf

Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. (2010). *Contaminación y eutrofización del agua. Impactos del modelo de agricultura industrial*. Editorial RAP- AL. <http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>

Resolución 2115 de 2007 [Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2007. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Ruda, E., Mongiello, A. y Acosta, A. (2004). *Contaminación y salud del suelo*. Ediciones UNL.

Ruibal, A., Rodríguez, M., Ruiz, M., Bustamante, M. y Angelaccio, C. (2005). *Cooperación sectorial privado-estatal en el abordaje de la problemática de desarrollos masivos de algas tóxicas. Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata*. <https://www.ina.gov.ar/pdf/Cirsa-Limnologia-10%20AlgasII.pdf>

Salazar, L., Estrada, V. y Velásquez, L. (2006). Effect of the exposure to *Fasciola hepatica* (Trematoda: Digenea) on life history traits of *Lymnaea cousini* and *Lymnaea columella* (Gastropoda: Lymnaeidae). *Experimental Parasitology*, 1(114), 77-83

Sasson, A. (1993). *La alimentación del hombre del mañana*. UNESCO. Reverté. S.A.

Sri-aroon, P., Butraporn, P., Limsomboon, J., Kerdpuech, Y., Kaewpoolsri, M. y Kiatsiri, S. (2005). Freshwater mollusks of medical importance in kalasin province, Northeast Thailand. *Revista de Medicina Tropical y Salud Pública del Sudeste Asiático*, 36(3), 653-657. https://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/2005_36_3/19-3447.pdf

Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D. y Hurtado, I. (2012). Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, (24), 112-128. <http://www.ojs.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/index.php/accb/article/download/81/81>.

Zouiten, H. (2012). *Análisis mediante modelo avanzando de procesos de eutrofización en lagunas litorales: aplicación a masas de agua atlánticas y mediterráneas* (tesis doctoral). Universidad de Cantabria, Santander, España. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96870/TesisHZ.pdf?sequence=1>