

Calidad del agua superficial y sus implicaciones con el agua potable en Las Brisas de Zarcero

Surface water quality and its implications for drinking water in Las Brisas de Zarcero

John Diego Bolaños Alfaro
Universidad de Costa Rica, Sede de
Occidente, Recinto de Grecia.
Alajuela, Costa Rica.
john.bolanos.alfaro@gmail.com

RESUMEN: El artículo describe las características fisicoquímicas y microbiológicas tanto del sistema de abastecimiento de agua potable existente en el distrito Las Brisas, ubicado en el cantón de Zarcero, como del agua superficial del río Jilguero que atraviesa dicha comunidad. Se valora el impacto negativo de las actividades humanas sobre el recurso hídrico durante los años 2019-2021 para determinar su vulnerabilidad a partir del análisis de 45 muestras de agua dulce. Los resultados más importantes son: 1- Existen niveles de amonio y de fosfato en el agua del acueducto, provenientes del expansivo desarrollo agropecuario, que, durante la estación lluviosa, escurren y lixivian a las nacientes. 2- El pH y el cloro libre son dos parámetros que requieren ser mejorados en el acueducto las Brisas, para reducir los riesgos y asegurar la potabilidad del agua en toda la red de distribución. 3- La contaminación del río Jilguero se clasifica entre moderada y severa según normativa nacional, situación generada por la intensa actividad agropecuaria en la zona, así como el irrespeto a las zonas de protección del río.

PALABRAS CLAVE: calidad de agua, salubridad hídrica, química ambiental, agua potable, aguas superficiales

ABSTRACT: The article describes the physicochemical and microbiological characteristics of both the existing drinking water supply system in the Las Brisas district located in the canton of Zarcero, and the surface water of the Jilguero River that crosses said community. The negative impact of human activities on water resources during the years 2019-2021 is assessed to determine its vulnerability based on the analysis of 45 freshwater samples. The most important results are: 1- There are levels of ammonium and phosphate in the aqueduct water that, during the rainy season, run off and leach into the springs, coming from the expansive agricultural development. 2- The pH and free chlorine are two parameters that need to be improved in the Las Brisas aqueduct, to reduce risks and ensure the potability of the water throughout the distribution network. 3- The contamination of the Jilguero River is classified between moderate and severe according to national regulations, a situation motivated by the intense agricultural activity in the area, as well as the disrespect for the river's protection zones.

KEYWORDS: water quality, hydric health, environmental chemistry, drinking water, surface water

Recibido: 18-08-21 | Aceptado: 15-12-21

Introducción

Poseer acceso a cuerpos de agua de alta calidad es la base de todo sistema que contemple la obtención de este líquido de manera apta para uso y consumo humano, según los lineamientos establecidos por las diferentes regulaciones de calidad y considerando la percepción del consumidor (Geta, 2005).

El agua potable es una necesidad humana básica y un pilar para el desarrollo de los pueblos, no obstante, su acceso sigue representando un reto para los países en vías de desarrollo; esto, producto de la contaminación con microorganismos patógenos que derivan en focos de infección y propagación de virus en los humanos, así como también la disminución en la calidad del líquido, consecuencia del aumento en el uso indiscriminado de agroquímicos y procesos industriales con nulo tratamiento de vertidos y escorrentías provenientes de las fuentes domésticas, todo lo cual resulta en una mayor concentración en la cantidad de químicos tóxicos que impiden el uso de este fluido con fines de consumo humano (Castillo, 2004).

En Costa Rica, los esfuerzos por caracterizar el agua potable y superficial se ejecutan normalmente de manera puntual, con el fin de conocer la salubridad y calidad del recurso hídrico ante dudas o problemas ambientales. Por ejemplo, se ha trabajado sobre una estrategia en los cuerpos de agua que abastecen la Gran Área Metropolitana (GAM), ya que son la fuente del líquido vital para la mayor parte del país (Flores, 2005).

Los resultados de dichos estudios sugieren que la disponibilidad del agua será muy limitada y con tendencia a empeorar, como consecuencia de diversas situaciones: pérdida de cobertura boscosa en el centro del país, sobreexplotación de los mantos acuíferos, contaminación por desarrollo urbano e industrial en los cuerpos de agua superficial y subterráneos, impermeabilización de zonas de recarga, cambios en los patrones de precipitación en el valle central, aumento de la densidad demográfica y la expansión urbanística en la zona, así como la inexistente conciencia sobre el real valor económico del agua para la población, sumado a la inoperancia institucional gubernamental en el tema de manejo integral del recurso hídrico (Flores, 2005).

La calidad del agua en las cuencas costarricenses que abastecen una zona específica está intrínsecamente ligada a los procesos antropogénicos que experimentan dichas cuencas. En la mayoría de los casos no se contempla un manejo adecuado del ecosistema y mucho menos del recurso hídrico, lo que pone en riesgo la salud de la población por la falta de control sobre el vertido de las aguas residuales de naturaleza doméstica e industrial, así como el de aguas negras y contaminadas con agroquímicos provenientes de las diversas actividades agropecuarias. Según Tamayo y Esquivel (2014), se generan entonces impactos negativos y directos en los procesos productivos, en la economía y, por ende, en el ecosistema mismo.

Por otra parte, la caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas superficiales en ríos de cuencas en zonas más alejadas al valle central es casi nula. Por ejemplo, la cuenca hidrográfica del río San Carlos, específicamente en la subcuenca por la que transita el río Jilguero en las Brisas de Zarcero, no registra ninguna información sobre la calidad del agua de sus ríos, la cual es utilizada tanto para abastecer con agua potable a los pobladores de la zona como para el desarrollo de actividades económicas. De ahí el interés y preocupación de la ASADA Las Brisas (Administradores locales del recurso hídrico), dado que las actividades agropecuarias propias en el desarrollo de la zona ocurren de manera expansiva, poco planificada y afectando de forma negativa el río (Salguero, 2006).

Metodología y detalles de la investigación

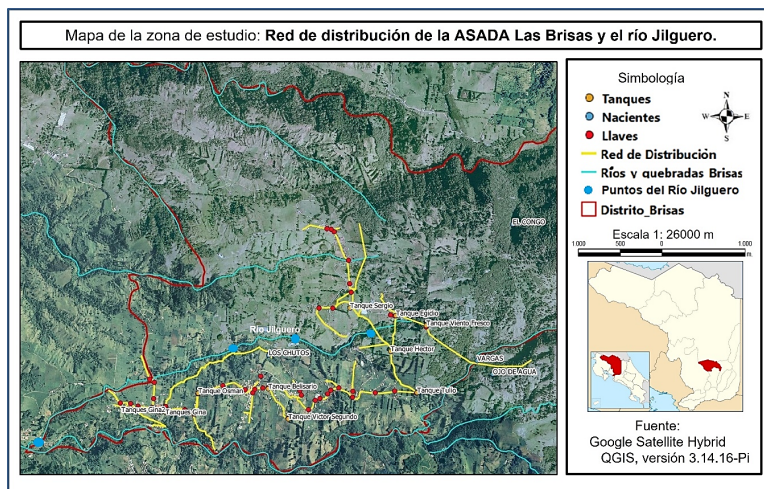
Desde el año 2017, la Municipalidad de Zarcero, la ASADA Las Brisas y otros líderes comunales del mismo distrito trabajan en un proyecto para promover la implementación de un modelo de desarrollo sostenible para la zona. Se le comunicó entonces a la Universidad de Costa Rica, específicamente a la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Laboratorista Químico, la necesidad de conocer el estado real de la calidad del agua en la subcuenca donde se ubica el río Jilguero (incluidas las nacientes cercanas al mismo), con el interés de conocer el potencial impacto que tienen las actividades agropecuarias e industriales.

En consecuencia, se creó el proyecto de investigación denominado Diagnóstico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en ambientes lóticos del río Jilguero, en el distrito Las Brisas de Zarco, y su relación con los índices de calidad de agua; cuyo objetivo fue determinar la calidad del agua en nacientes, el agua de abastecimiento de la ASADA Las Brisas, así como el agua superficial que corre a lo largo del río.

Existen múltiples opiniones por parte de expertos respecto a cómo establecer la calidad del agua, sin embargo, los cuerpos de agua tienen tres componentes importantes: biológicos, físico-químicos e hidrológicos (Ramírez, 2021). El presente análisis consideró únicamente la caracterización físico-química como un primer acercamiento para establecer la calidad del agua superficial del río y de la red de abastecimiento de agua potable.

FIGURA 1

MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO, 2021



Fuente: Elaboración propia con Google maps y QGIS.

Puntos del muestreo: La investigación utilizó cuatro muestras representativas de agua superficial provenientes del río Jilguero y de cuatro nacientes cercanas al río llamadas: Ojo de Agua, Los Vargas, Los Chutos y El Congo; las muestras de agua de la investigación fueron georreferenciadas y se detallan en la figura 1. Las muestras de agua potable pertenecen a la red de abastecimiento

de la ASADA de Las Brisas, incluyen tanques de almacenamiento y puntos específicos de la red representativas (por ejemplo, las Escuelas de Bajo Tapezco, La Legua y Las Brisas, Puesto de Salud, Oficina de la ASADA, entre otros).

Procedimiento y muestreos: Para la cuantificación de iones se utilizó el procedimiento indicado por el *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, establecido por la Asociación Americana de salud pública (APHA por sus siglas en inglés) (1992, p. 3-9, 3-12); con ayuda del equipo modelo Dionex, marca ThermoScientific con las columnas modelo CS12A Thermo para el análisis de cationes y AS23 Thermo para el análisis de aniones, y se siguió el método validado mediante el proyecto N°540-B1-227 en 2013. En total el estudio está compuesto por 45 muestras de agua dulce, correspondientes a tres muestreos, dos realizados en las épocas secas de los años 2019 y 2021, y uno realizado en la época lluviosa del 2020.

Para las muestras microbiológicas se utilizó la prueba Colilert, incubándolas por 24 horas a una temperatura de 39°C, para luego verificar el color, utilizando una lámpara ultravioleta de 6 vatios y 365 nm, que se colocó a una distancia aproximada de 5 pulgadas de la muestra para que, en un entorno oscuro, se denote la presencia de *E.Coli*, y con luz ambiente la presencia de Coliformes Totales en muestras positivas.

Análisis de la información: las muestras de agua potable se compararon con los valores de referencia establecidos en el Decreto N°38924-S, tanto para parámetros de control operativo: turbidez, olor, sabor, pH y Cloro Residual Libre, como los siguientes parámetros de nivel 1, 2 y 3: conductividad, color aparente, Coliformes Totales, *E.Coli*, calcio, sodio, potasio, magnesio, amonio, cloruro, sulfato, fosfato, nitrito, nitrato y dureza total. Se determinaron otros parámetros no indicados en el decreto: sólidos disueltos totales (SDT), hierro y salinidad, que se consideran importantes.

Por otro lado, las muestras del agua provenientes del río Jilguero se compararon con los valores de referencia establecidos según Poder Ejecutivo (2007), en el Decreto N°33903-MINAE-S, específicamente con: cloruros, nitrato, sulfato, turbidez, pH, temperatura, conductividad, Coliformes Totales, *E.Coli*, porcentaje de oxígeno disuelto, oxígeno disuelto, DQO, DBO, salinidad, SDT, calcio, magnesio, potasio, sodio, dureza total, amonio y fosfato, este úl-

timo no se encuentra en el decreto, pero es un anión importante en la caracterización química del agua superficial, al igual que las especies microbiológicas.

Con la comparación se buscó establecer situaciones de interés para la salud pública, tanto del agua potable como del agua superficial, como herramienta de monitoreo para establecer la vulnerabilidad que tiene el agua en la zona de estudio.

Discusión y resultados

Red de abastecimiento de agua potable, ASADA Las Brisas

El monitoreo realizado durante los tres períodos de estudio permitió conocer el comportamiento de las variables físico-químicas cuantificadas, tanto para la época lluviosa como para la época seca. La temperatura presentó valores promedio de 19,26°C en época seca y de 18,32°C durante la estación lluviosa; los valores individuales en 18 puntos muestreados de la red de distribución denotaron ser normales al cotejarse con el rango de ley. Resultados igualmente normales y acorde con la normativa tuvieron la conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales, sulfatos, nitritos, nitratos, calcio, sodio, potasio, magnesio, dureza total, cloruros, sabor y olor, según se aprecia en la tabla 1.

No obstante, el pH se encontró con valores que oscilaban dentro de un rango entre los 5,17 y 8,00; los 18 puntos muestreados en cada período mostraron resultados promedio de 6,00 en época lluviosa para el año 2020 y de 6,13 en época seca de los años 2019 y 2021. Al cotejar contra el Decreto N°38924-S, el cual establece que, para agua potable, el pH debe estar en un rango entre 6-8, 11 puntos de la red no cumplen con este requisito durante la época seca.

Durante el año 2021, las cuatro nacientes de la ASADA Las Brisas denominadas Los Vargas, Ojo de agua, Los Chutos y El Congo obtuvieron valores de pH ácidos: 5,17; 5,26; 5,27 y 5,40 respectivamente; un comportamiento que se mantuvo, por ende, en la red de distribución. La administración de la ASADA Las Brisas debe corregir esos valores de pH ligeramente ácidos, ya que un nivel ácido sostenido en el tiempo ($\text{pH} < 5$) afecta la calidad del recurso hídrico y supone vulnerabilidad de las nacientes, así como riesgo a la salud de los usuarios.

Un régimen de lluvia alto puede favorecer un pH ligeramente ácido en el agua que brota en las nacientes, lo que explicaría el comportamiento del parámetro en estación lluviosa y su relativa estabilización hacia la neutralidad durante la estación seca. Un pH bajo aumenta la solubilidad de los metales pesados (Cuizano et al., 2010). Además, puede favorecer el desarrollo de la bacteria *H. Pylori* a nivel gástrico en los consumidores del líquido vital (Cervantes-García, 2016). No obstante, dicho pH permite que los niveles de cloración del agua mantengan una concentración baja de 0,3 mg/L; esto asegura una adecuada desinfección, lo que se traduce en cambios casi imperceptibles en las propiedades organolépticas del agua.

La ASADA debe utilizar reservorios de piedra caliza en algunos tanques de la red de distribución para provocar un intercambio iónico en el agua. Esto favorece la disolución del ion bicarbonato, y provoca un efecto *buffer* en el agua, haciéndola más neutra y, por consiguiente, regulando el pH (Huaman, 2015).

La concentración de cationes como el calcio y magnesio fue baja (aguas blandas). Además, la concentración baja de sodio y potasio, sumada a las mediciones de conductividad, salinidad y sólidos disueltos totales, evidenciaron la nula exposición de los nacientes a procesos de intrusión salina. Por lo tanto, se considera que el agua es de buena calidad pues la concentración catiónica obtenida durante la estación seca fue óptima, lo cual asegura la salubridad principalmente para personas sal sensibles en términos de presión arterial o que presenten problemas de índole renal, ya que el agua de consumo cotidiano no significa un riesgo según los resultados (López et al., 2007).

TABLA 1

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA PARA 18
PUNTOS DE MUESTREO EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE
DE ASADA LAS BRISAS**

Variable físico-química	Estación seca períodos 2019 - 2021			Estación lluviosa año 2020			Rango* VA - VMA
	Valor máx.	Valor mín.	Prom.	Valor máx.	Valor mín.	Prom.	
pH (±0,01)	8,00	5,17	6,16	6,33	5,77	5,99	6 - 8 *
Temperatura (±0,1 °C)	24,80	17,40	18,32	22,87	16,18	19,26	18 - 30 *
Turbiedad (±0,01 UNT)	2,54	0,24	0,87	0,53	0,26	0,41	1 - 5
Conductividad (±0,01 µS/cm)	103,90	34,80	64,30	82,43	64,95	72,91	400 - 1000
Salinidad (±0,01 mg/µL)	0,10	0,00	0,01	0,10	0,00	0,05	500 - 1000
Cloro libre (±0,01 mg/L)	0,55	0,00	0,20	0,11	0,01	0,06	0,3 - 0,6 *
Cloro total (±0,01 mg/L)	0,52	0,00	0,20	0,26	0,02	0,14	1,0 - 1,8 *
SDT (±0,01 mg/L)	33,50	11,40	21,88	NR	NR	NR	500 - 1000
Sulfato (±0,02 mg/L)	2,21	1,46	1,86	5,36	3,53	4,28	25 - 250
Nitrato (±0,02 mg/L)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	>0,1
Nitrato (±0,02 mg/L)	5,28	0,69	1,76	NC	NC	NC	25 - 50
Amonio (±0,01 mg/L)	NC	NC	NC	12,04	4,71	6,44	0,05 - 0,5
Calcio (±0,02 mg/L)	19,30	7,80	14,60	NR	NR	NR	>100
Magnesio (±0,02 mg/L)	5,61	1,70	3,14	NR	NR	NR	30 - 50
Sodio (±0,02 mg/L)	6,72	2,10	4,14	NR	NR	NR	25 - 200
Potasio (±0,02 mg/L)	3,28	1,40	2,50	NR	NR	NR	>25
Dureza total (±0,02 mg/L)	68,59	30,90	48,05	NR	NR	NR	300 - 400
Cloruro (±0,02 mg/L)	2,36	0,00	0,95	7,39	1,09	2,48	25 - 250
Fosfatos (±0,02 mg/L)	0,79	0,71	0,74	1,45	1,45	1,45	0,5 - 1,0
Color Aparente (±1 U-Pt-Co)	10,00	1,00	6,00	>5	>5	>5	5 - 15
Olor	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Sabor	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Variable microbiológica	Presencia	Ausencia	#Muestras	Presencia	Ausencia	#Muestras	-
<i>E.Coli</i>	0	13	13	0	5	5	Ausente
<i>Coliformes totales</i>	3	9	13	4	1	5	Ausente

Abreviaturas: NR, no realizado; NC, no cuantificable; VA, Valor alerta; VMA, valor máximo admisible.

*Fuente de los rangos admisibles: (Poder Ejecutivo, 2015). Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, destacan también los resultados en el color aparente, principalmente en los tanques de almacenamiento. Por ejemplo, los tanques llamados Belisario, Sergio y Tulio mostraron resultados de 10 ± 1 , 8 ± 1 y 8 ± 1 U-Pt-Co, respectivamente, encima del valor alerta (5 U-Pt-Co) tipificado en la normativa, pero sin superar el VMA (15 U-Pt-Co). La turbidez superó el valor alerta en siete muestras durante todo el estudio, pero nunca superó el valor máximo admisible (5 UNT). En tal sentido, la ASADA debe mejorar los procesos de lavado en los tanques de almacenamiento, principalmente durante el verano, para evitar el movimiento de sedimentos y reducir la turbidez.

Quizás uno de los parámetros más importantes a controlar por la ASADA Las Brisas es el cloro libre; en los períodos de muestreo se mostraron flaquezas para asegurar un valor estable de cloro libre y residual en la red de distribución. En campo se constató que el método realizado es artesanal, si se compara con los diversos métodos y tecnologías de cloración existentes; este consiste en colocar pastillas de cloro en la tubería madre, justo unos metros antes de que el agua ingrese al tanque de almacenamiento.

Así, por ejemplo, de un total de 20 muestras tomadas durante la época seca de los años 2019 y 2021, 10 muestras de agua no tienen la concentración mínima necesaria para asegurar una desinfección adecuada del agua para consumo humano; el 50% de las muestras tienen concentraciones de cloro libre inferior a lo normado (0,3 mg/L), situación que favorece que 3 de 13 muestras sean positivas en *Coliformes Totales* durante el verano.

No obstante, tanto para la época seca como para la lluviosa, todas las muestras microbiológicas analizadas con *E.Coli*, bacteria indicadora de contaminación con materia fecal de origen humano, fueron negativas (18 muestras en total). Se puede asegurar que las nacientes estudiadas aún no son vulnerables a riesgos asociados con infiltraciones de aguas negras o residuales provenientes de uso doméstico o industrial en la zona, pero sí de materia fecal de origen animal, la cual es propia de la biota existente en la zona boscosa donde se ubican tres de las nacientes (Los Vargas, Ojo de Agua, El Congo) o de origen agropecuario, debido a la imperante actividad en los alrededores de la naciente Los Chutos.

Se constatan niveles de amonio y de fosfato elevados en todo el acueducto; ambas sustancias disueltas en el agua, posiblemente,

escurren desde el suelo durante la estación lluviosa y se convierten en un tipo de contaminación indirecta proveniente del expansivo desarrollo agropecuario, por consiguiente, su presencia iónica en agua potable se considera como insegura. Dichas especies son indicativas de contaminación ambiental por procesos de excesiva aplicación de fertilizantes en cultivos y pastos. La escorrentía ocasionada por los aguaceros permite que se infiltren hacia las nacientes y de ahí a la red de distribución.

Tanto el nitrógeno existente en el amonio como el fósforo contenido en los fosfatos son macronutrientes necesarios en procesos de agricultura, no obstante, su utilización en exceso favorece el crecimiento desmedido de algas; su presencia en el agua potable favorece el crecimiento en tanques transparentes o piletas, así como en aguas post consumo, las cuales, sin tratamiento, se convierten en aguas residuales que tienen un impacto considerable en el ecosistema, en los riachuelos y en los cauces donde sean liberadas, pues favorecen procesos eutróficos consolidados (Moreta, 2008).

Se destaca la buena administración del acueducto en los diversos procesos de funcionamiento administrativo. Dicha administración ha realizado una adecuada delimitación de las nacientes para resguardo directo por los pujantes procesos agropecuarios que se desarrollan en la zona. El mantenimiento en los tanques y tuberías asegura una red de distribución menos propensa a la contaminación microbiológica, pero no exenta de ella; por ende, los métodos de cloración deben cambiar a sistemas por goteo con el fin de respetar los parámetros de cloro libre disuelto en agua que aseguren desinfección y potabilidad.

Agua superficial, Río Jilguero

La caracterización físico-química es un primer acercamiento para establecer la calidad del agua superficial del río, mediante la comparación de los resultados del estudio con los valores marco que establece el Decreto N°33903-MINAE-S, denominado Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Se puede apreciar cómo muchos de los parámetros físico-químicos determinados en el río Jilguero como el pH, temperatura, sulfatos, cloruros, nitratos y magnesio, coinciden con la clase 1, lo cual, erróneamente, podría hacer pensar a la comunidad circun-

vecina que el agua superficial se puede utilizar casi para cualquier actividad, con excepción de abastecimiento para consumo humano. Tal condición del agua debe ser, entonces, analizada de una manera más integral, para evitar posibles implicaciones en términos de impactos ambientales que sufre el río o que puedan afectar la salud de las personas.

En la tabla 2, se aprecia que parámetros como la turbidez, los sólidos disueltos totales, el color, oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno tienen valores elevados, lo que implica la catalogación del uso de dicha agua superficial entre las clases 2 y 5, es decir, que dicha agua superficial no es utilizable para el uso agropecuario o como fuente de protección de las comunidades acuáticas.

TABLA 2
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DEL RÍO JILGUERO.

Parámetro analizado	Época seca (2019 – 2021)			Época lluviosa (2020)			Clasificación según Decreto N° 33903-MINAE-S
	Valor Max.	Valor Min.	Prom.	Valor Max.	Valor Min.	Prom.	
Potencial de hidrógeno (±0,01)	6,84	5,16	6,03	6,63	6,13	6,3	Clase 1 (6,5 a 8,5)
Temperatura (±0,1 °C)	19,1	16,1	17,6	18,5	17,2	17,8	Clase 1 (Natural)
Conductividad (±0,1 µS/cm)	270,0	51,5	134,8	377,3	111,0	266,6	NE
Turbiedad (±0,01 UNT)	228,67	1,85	79,75	448,67	8,12	138,99	Clase 3 (100 a 300 UNT)
Salinidad (±0,01 mg/µL)	0,10	0,00	0,08	NR	NR	NR	NE
Sulfatos (±0,02 mg/L)	3,02	2,19	2,59	4,46	2,27	3,50	Clase 1 (<150 mg/L)
Nitritos (±0,02 mg/L)	0,82	0,78	0,80	NR	NR	NR	NE
Nitratos (±0,02 mg/L)	4,31	2,64	3,24	1,60	1,60	1,60	Clase 1 (<5 mg/L)
Amonio (±0,01 mg/L)	0,71	0,16	0,35	82,20	9,88	40,37	Clase 5 (> 5.0 mg/L) <i>N. Amoniacal</i>

Calcio ($\pm 0,02$ mg/L)	16,63	8,91	12,76				NE
Magnesio ($\pm 0,02$ mg/L)	5,60	2,70	4,48				Clase 1 (<30 mg/L)
Sodio ($\pm 0,02$ mg/L)	12,75	10,77	12,01	NR	NR	NR	NE
Potasio ($\pm 0,02$ mg/L)	8,78	2,29	5,82				NE
Dureza ($\pm 0,02$ mg/L)	62,18	33,35	50,53				NE
SDT ($\pm 0,1$ mg/L)	58,9	25,5	39,3				Clase 3 (25 a 100 mg/L)
Cloruros ($\pm 0,02$ mg/L)	12,92	3,73	6,53	118,99	18,31	55,14	Clase 1 (<100 mg/L)
Fosfatos ($\pm 0,02$ mg/L)	1,77	0,69	1,07	5,07	5,07	5,07	NE
Oxígeno disuelto ($\pm 0,01$ mg/L)	5,35	2,07	3,77	NR	NR	NR	NE
PSO ($\pm 0,1$ %)	75,0	26,2	49,5	108,2	2,3	80,4	Clase 2 (71 y 90%) V y Clase 3 (51 y 70 %) I
DQO (± 1 mg/L)	530	280	407	1648	353	1078	Clase 5 (100 a 300 mg/L)
DBO ₅ (± 1 mg/L)	286	150	219	112	35	66	Clase 5 (> 15 mg/L)
Color Aparente (± 1 Pt-Co)	191	70	129	70	30	57	Clase 2 (10 a 100 Pt-Co) (que no afecte su uso)
<i>E.Coli</i> (ausencia/presencia)	NA	NA	Presencia	NA	NA	Presencia	NE
<i>C. Totales</i> (ausencia/presencia)	NA	NA	Presencia	NA	NA	Presencia	NE

Abreviaturas: NA, no aplica. NR, no registrado. NE, no establecido. V, verano. I, invierno.

*Fuente de los rangos admisibles: (Poder Ejecutivo, 2007). Fuente: Elaboración propia.

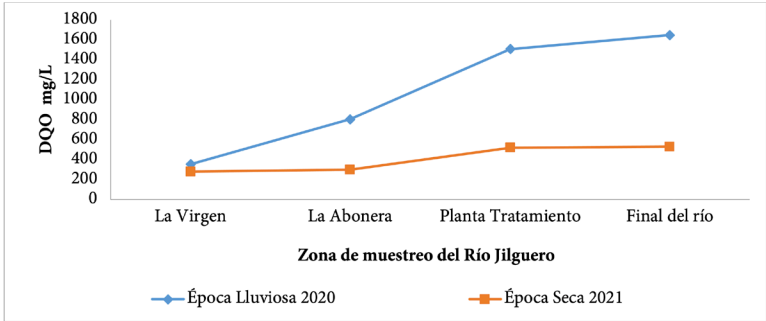
La normativa establece como parámetro microbiológico los *Coliformes Fecales*, no obstante, se destaca en el presente estudio que, sin importar el período estacional (seco o lluvioso), el río tiene presencia de *Coliformes totales* y de *E.Coli*, por ende, su calidad microbiológica es insalubre y su utilización es riesgosa para la salud humana.

De los cuatro puntos muestreados a lo largo del río Jilguero, el sector que tiene menos contaminación se encuentra entre la zona de La Virgen y La Abonera (puntos 1 y 2); es decir, el primer tramo del río, desde donde nace, hasta donde inicia la zona poblada del

distrito de Las Brisas de Zarcero. Su caracterización química denota la existencia de indicadores tangibles de contaminación ambiental; por ejemplo, la concentración de sulfatos, la cual es de 4,46 mg/L promedio en época lluviosa y de 2,78 mg/L en época seca. También, aunque el nitrato presenta una concentración media baja de 3,24 mg/L, el amonio se encuentra disuelto, con un rango entre 9,88 y 22,80 mg/L; finalmente los cloruros están presentes, pero en concentraciones aceptables, entre los 4,01 y 12,92mg/L en época de verano, y 18,31 y 118,39 mg/L en época de lluviosa.

Durante las visitas de campo se constató la presencia de terrenos dedicados a la siembra de hortalizas que provocan tanto la erosión de los suelos como la contaminación de los afluentes por el uso excesivo de agroquímicos. En estos casos no se puede incurrir en un juicio precipitado, dado que los productores de la zona no cuentan con una vía alterna de subsistencia para sus familias (Ramakrishna, 1997). Además, la condición geográfica de Las Brisas de Zarcero y la intensa actividad ganadera favorecen, en época lluviosa, el escurrimiento de nutrientes provenientes de los suelos, así como el lavado de los xenobióticos (fertilizantes y plaguicidas) que, junto con el arrastre de materia orgánica, provocan en el río un aumento considerable de la DQO, según se aprecia en la Figura 2.

FIGURA 2
COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN EL RÍO JILGUERO



Fuente: Elaboración propia.

La DBO_5 , de forma homóloga, supera los valores de un río sano; Marín (2019) señala que la concentración de oxígeno a lo largo del cauce varía según la carga orgánica que recibe, situación que afecta tramos del río donde se modifica el ecosistema acuático y su biodiversidad natural (ver Figura 3). Desde el sector denominado La Abonera y hasta la desembocadura en el río Tapesco, el río Jilguero tiene un proceso de contaminación sostenido que se refleja en incrementos considerables, y llega a alcanzar, por ejemplo, una DQO de 1648 mg/L en la zona final del río.

El incremento de actividades agropecuarias e industriales sin el adecuado tratamiento de sus aguas residuales o con el vertido de aguas que no cumplen normativa según Decreto N°42128-MI-NAE-S, denominado “Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos”, es tangible en el río Jilguero, modifica el estado natural de río y favorece procesos eutróficos que contaminan el agua con material orgánico, que, a su vez, propicia, principalmente en los sectores lénticos del río, procesos de descomposición anaeróbicos que modifican el ecosistema acuático y lo convierten en un río contaminado (Poder ejecutivo, 2019).

FIGURA 3

COMPARACIÓN VISUAL SEGÚN LOS CUATRO PUNTOS DE MUESTREO DEL
Río JILGUERO



Fuente: Elaboración propia.

Según el modelo del índice holandés, establecido en el Decreto N° 33903-MINAE-S, existen cinco categorías para clasificar el río, que son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amónico y el Porcentaje de saturación de Oxígeno, los cuales convierten en un código de colores a cada clase, lo que permite clasificar desde el punto de vista espacial los tramos del río. En la tabla 3 se puede apreciar, entonces, la caracterización del río según este índice; no se consideran resultados correspondientes de la época de invierno, pues así lo indica la normativa empleada.

TABLA 3
ASIGNACIÓN DE CLASES DE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN EL SISTEMA HOLANDÉS DE CODIFICACIÓN POR COLORES, BASADO EN VALORES DE PSO, DBO Y NITRÓGENO AMONICAL.

Estación seca del año 2021				
Punto de muestreo	La Virgen	La Abonera	Planta Tratamiento	Final del río
Puntaje	8	10	11	10
Color	Amarillo	Anaranjado	Anaranjado	Anaranjado
Clase	3	4	4	4
Interpretación de calidad	Contaminación moderada	Contaminación severa	Contaminación severa	Contaminación severa

Fuente: Elaboración propia.

Análisis hídrico en la zona de estudio

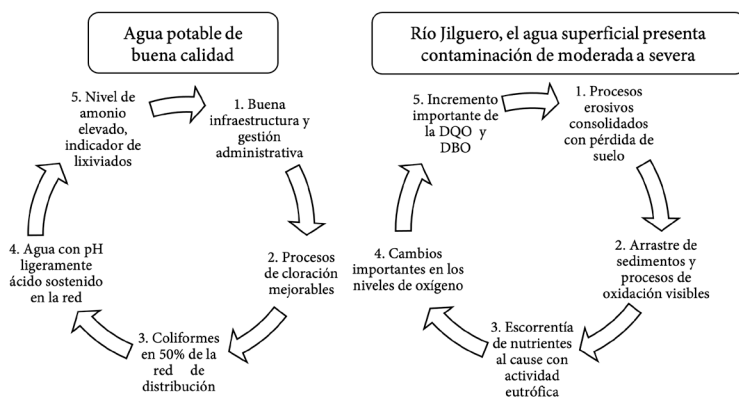
Los cambios en la calidad del agua obedecen principalmente al tipo de incursión antropogénica en la zona de estudio:

1. Actividad agrícola intensa en laderas cercanas al cause, irrespetando zonas de protección.
2. Ganadería extensiva en potreros con desniveles importantes en suelos.
3. Presencia de industrias productoras de fertilizantes, lecherías y chancheras en zonas cercanas al río.
4. Existencia de pequeñas industrias productoras de queso, viveros, entre otras, con plantas de tratamiento en zonas cercanas al río, que facilitan la descarga.
5. Expansión poblacional poco planificada, difusa y en crecimiento.

Todo decanta en un impacto en los ambientes lóticos de la zona. Recapitulando, los principales hallazgos para el agua de estudio se muestran en la figura 4.

FIGURA 4

ANÁLISIS INTEGRAL DE LOS RESULTADOS CON LA GESTIÓN DEL AGUA EN EL DISTRITO LAS BRISAS.



Fuente: Elaboración propia.

La caracterización del agua superficial y potable es un pilar fundamental para proponer programas de capacitación y de educación ambiental que permitan, a través de los actores estatales competentes y del gobierno local, asegurar las actividades agropecuarias e industriales eco-amigables, con un impacto menor sobre el medio ambiente.

También, los resultados permiten que la comunidad en general conozca el estado actual del agua superficial y potable; situación propicia para educar en la materia y promover a mediano plazo cambios en sus actuaciones de desarrollo, considerando modelos socio-productivos más sostenibles. Ambas acciones, sin duda, replican comportamientos de un desarrollo en armonía con el ambiente, que aseguren un buen estado en la salud del recurso hídrico en todos sus usos, minimizando el impacto que se está generando en el río, principalmente.

Conclusiones y recomendaciones

El agua potable que tiene la red de distribución administrada por la ASADA Las Brisas es de alta calidad y presenta un estado de salubridad bueno, pero mejorable en procesos de desinfección y control de pH, con miras a ofrecer a los usuarios un recurso con características idóneas y seguras.

Se recomienda a la ASADA hacer inversión en la cosecha de agua de nacientes, asegurando la compra de terrenos y la reforestación de los potreros, con miras a reducir zonas vulnerables y mejorar la captación del recurso en cantidad, constancia y calidad, evitando la lixiviación de xenobióticos por la actividad agropecuaria.

El río Jilguero presenta una contaminación, debido, principalmente, a la intensa actividad agrícola en laderas de zonas cercanas al cauce, donde no se respetan las zonas de protección del río, sumado al desarrollo de una ganadería extensiva en potreros que tienen suelos con un desnivel importante, sin ninguna cobertura boscosa.

La aplicación excesiva de fertilizantes para mantener los pastos y la producción agrícola provoca procesos erosivos consolidados con pérdida evidente de suelo, lo que produce un alto desprendimiento de partículas orgánicas e inorgánicas y el arrastre de sedimentos, así como procesos de oxidación que se ven incrementados con la escorrentía causada por las fuertes lluvias, donde el azolve notorio es indicativo de contaminación antropogénica, con una incipiente actividad eutrófica en la rivera, lo que afecta el ecosistema acuático autóctono.

Los cambios abruptos de oxígeno disuelto en agua del río, la elevada DBO y la concentración de nitrógeno amoniacal encontrada en los cuatro puntos de muestreo definen el **río con contaminación severa la mayor parte del cauce**, lo que limita el uso del agua para casi cualquier actividad.

Se recomiendan procesos de reforestación y respeto de todas las zonas de protección del río para que sirvan de contención y se mejore la condición del ecosistema acuático; también es importante evitar que se viertan aguas residuales a las alcantarillas que descargan en el río, pues esto afecta la calidad del agua y la propia capacidad purificadora del cauce.

Bibliografía

- Castillo, G (Ed.) (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GD7-N3154OIC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Castillo,+G+\(Ed.\)+\(2004\).+Ensayos+toxicol%C3%B3gicos+y+m%C3%A9todos+de+evaluaci%C3%B3n+de+calidad+de+aguas:+Standarizaci%C3%B3n,+intercalibraci%C3%B3n,+resultados+y+aplicaciones.+International+Development+Research+Centre&ots=Tqes_Ozxx0&sig=hThGCGA-Tqx7mRai27R7E9XDaeKc#v=onepage&q=Castillo%2C%20G%20\(Ed.\)%20\(2004\).%20Ensayos%20toxicol%C3%B3gicos%20y%20m%C3%A9todos%20de%20evaluaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20aguas%3A%20Standarizaci%C3%B3n%2C%20intercalibraci%C3%B3n%2C%20resultados%20y%20aplicaciones.%20International%20Development%20Research%20Centre&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=GD7-N3154OIC&oi=fnd&pg=PA7&dq=Castillo,+G+(Ed.)+(2004).+Ensayos+toxicol%C3%B3gicos+y+m%C3%A9todos+de+evaluaci%C3%B3n+de+calidad+de+aguas:+Standarizaci%C3%B3n,+intercalibraci%C3%B3n,+resultados+y+aplicaciones.+International+Development+Research+Centre&ots=Tqes_Ozxx0&sig=hThGCGA-Tqx7mRai27R7E9XDaeKc#v=onepage&q=Castillo%2C%20G%20(Ed.)%20(2004).%20Ensayos%20toxicol%C3%B3gicos%20y%20m%C3%A9todos%20de%20evaluaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20aguas%3A%20Standarizaci%C3%B3n%2C%20intercalibraci%C3%B3n%2C%20resultados%20y%20aplicaciones.%20International%20Development%20Research%20Centre&f=false)
- Cervantes-García, E. (2016). *Helicobacter pylori: mecanismos de patogenicidad*. *Revista Mexicana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 63(2), 100-109. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=66548>
- Cuizano, N. A., Reyes, Ú. F., Domínguez, S., Llanos, B. P., & Navarro, A. E. (2010). Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(2), 123-130. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2010000200002&lng=es&tlng=es
- Flores, I. A. (2005). *La relación ambiente y sociedad en Costa Rica: entre gritos y silencios, entre amores y odios* (Vol. 15). Editorial Universidad de Costa Rica.
- Geta, J. A. L., Campos, J. C. R., & Martín-Machuca, M. (Eds.) (1-3 de junio de 2005). *VI Simposio del Agua en Andalucía* (No. 14). IGME. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-vzO_DEyWlqkC&oi=fnd&pg=PR1&dq=VI+Simposio+del+Agua+en+Andaluc%C3%ADa.+Tomo+I&ots=eoly-8dZXDy&sig=UW3H8jD8QLNtOGWCpuUDsvnAmZM#v=onepage&q=VI%20Simposio%20del%20Agua%20en%20Andaluc%C3%ADa.%20Tomo%20I&f=false

- Huaman Quispe, P. (2015). *Aplicación del sistema de neutralización con piedra caliza para el proyecto de abastecimiento de agua potable en la comunidad Pias Tusine Grande Lampa Puno-2015* [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/372>
- Marín Galvín, R (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos. <https://n9.cl/ptd8z>
- Moreta J.C (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. [Trabajo final de graduación para optar por el grado de bachillerato, Universidad Técnica del Norte, Ecuador]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/720>
- López, S., Rodríguez, F., Sánchez, E., Meijide, F., Vásquez, S. (2007). Hipertensión arterial y aguas minerales: ¿Sabemos dar el mejor consejo?. *Originales SEMG*, 93-100. <https://n9.cl/0jxhn>
- Poder Ejecutivo (2007). Decreto N° 33903-MINAE-S: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpo de Aguas Superficiales. *Diario Oficial La Gaceta*. <https://n9.cl/qwoz>
- Poder Ejecutivo (2015). Decreto N° 38924-S: Reglamento para la calidad del agua Potable. *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC
- Poder Ejecutivo (2019). Reglamento del canon Ambiental por Vertidos. *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=62896&nValor3=81024&strTipM=TC
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias* (No. 3). IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/17713>
- Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=Ram%C3%ADrez,+CAS+\(2021\).+Calidad+del+agua:+evaluaci%C3%B3n+y+diag%C3%B3stico.+Ediciones+de+la+U.&ots=cdZSRo1Kdq&sig=tR9XnrKHkdiGplaLjKbycbXeabs#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=Ram%C3%ADrez,+CAS+(2021).+Calidad+del+agua:+evaluaci%C3%B3n+y+diag%C3%B3stico.+Ediciones+de+la+U.&ots=cdZSRo1Kdq&sig=tR9XnrKHkdiGplaLjKbycbXeabs#v=onepage&q&f=false)

- Salguero, M (2007). *Caminos y veredas de Costa Rica*. EUNED.
<https://books.google.co.cr/books?id=kI64F2nDJRkC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Tamayo, S. S., & Esquivel, E. M. (2014). Industrial development and its impact on the environment. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 357-363. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubhigepi/chi-2014/chi143h.pdf>