

Caracterización de las aguas tratadas en zonas bananeras y su incidencia sobre la calidad ambiental del río Apartadó mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos*

Characterization of the Treated Waters in Banana-Growing Zones and their Incidence on the Environmental Quality of Apartadó River based on Physical-Chemical and Microbiological Analysis

Lizeth Lorena Muñoz Villarreal^a

SENNOVA-SENA, Colombia

lizethmunozvillarreal@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7413-9871>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.catz>

Redalyc: [http://www.redalyc.org/articulo.oa?](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=151560179006)

id=151560179006

Slim Camilo Álvarez Alarcón

SENNOVA-SENA, Colombia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8686-8203>

Fecha de recepción: 20 Agosto 2018

Fecha de publicación: 30 Diciembre 2018

Resumen:

Apartadó (Antioquia) es un municipio de Colombia, perteneciente al Urabá antioqueño, que se caracteriza por su alta producción de banano, por lo que la agricultura bananera es la principal fuente de sustento en la región. Según la asociación de bananeros en Colombia, en el año 2017 más de 34.000 hectáreas se dedicaron a este cultivo. Solo en el municipio de Apartadó hay 132 fincas bananeras, en las cuales lavan las frutas con el objetivo de garantizar su alta producción y calidad. Este proceso consiste en la eliminación de látex, polvo, insectos y clústeres deformes o que presenten señales de estropeo o rasguños. En él se vierten grandes cantidades de agua a una fuente de agua superficial. Estas aguas deben ser tratadas previamente con el objetivo de eliminar carga contaminante. Para garantizar que esto se lleve a cabo, en Colombia existe la Resolución 0631/15, que estipula los parámetros y valores máximos permisibles para su vertimiento. Por esta razón, en este estudio se evaluaron las aguas residuales de cuatro fincas bananeras y, a su vez, se analizaron las aguas del río Apartadó, con el objetivo de establecer si existe incidencia de las aguas residuales de las fincas en el río. Por otro lado, se verificó si las aguas residuales cumplen con la norma, y se aplicó el índice de calidad de agua (ICA) al río, lo que dio como resultado que hay una buena calidad en los puntos con un índice entre 44 y 66.

Palabras clave: análisis fisicoquímico, análisis microbiológico, Icauca, parámetros, vertimiento.

Abstract:

Apartadó is a Colombian town in the Urabá region of the Antioquia Province, which stands out for a high banana production. Indeed, the banana growing is their main source for making a livelihood. According to the Colombian Association of Banana Producers, in 2017 more than 34,000 hectares were used to this cultivation. The very town of Apartadó has 132 banana-growing farms, which clean the fruits in order to ensure a high production and quality. This process consists in removing the latex, dust, insects and those clusters with signs of damage, scratches, or deformed. To do so, great volumes of water are poured into a shallow pit. These waters require a previous treatment in order to remove any contaminant load. To ensure all this, Colombia passed the Resolution 0631/15 that provides the maximum parameters and values allowed for the water discharges. Therefore, this study evaluates the wastewater coming from four banana-growing farms and, in turn, analyzes the waters of the Apartadó River in order to determine whether there is any impact by the wastewater discharges from the farms. On the other hand, the discharged wastewater was checked to confirm whether they comply with the regulations. The river was applied the water quality index (ICA, Spanish acronym) and the results indicate a good water quality in the study locations with scores between 44 and 66.

Keywords: physical-chemical analysis, microbiological analysis, ICAUCA, parameters, wastewater discharge.

Notas de autor:

^a Autora de correspondencia. Correo electrónico: izethmunozvillarreal@gmail.com

Introducción

Colombia es un país rico en recursos hídricos, con cinco vertientes que abarcan más de 200 ríos (García, 2010). Sin embargo, estos recursos han sido gravemente deteriorados por actividades humanas, entre las que se destaca la agricultura, la cual es una de las principales fuentes de sustento económico del país. Las exportaciones agropecuarias pasaron de 2415 millones de dólares en 2015 a 2565 millones de dólares en 2016, lo que significó un incremento del 6,2% (Arango, 2017).

El Urabá antioqueño tiene 65.000 hectáreas sembradas entre banano y plátano (Restrepo, 2017), lo cual hace que esta zona sea muy productiva; sin embargo, esta actividad económica tiene impactos negativos en el medio ambiente, como el uso de agroquímicos y los vertimientos en los cuerpos de agua superficial. Ejemplos de esto son la quebrada Fray Juana y la quebrada El Hato, ubicadas en el municipio de San Pedro de los Milagros, en el departamento de Antioquia, las cuales, según análisis de laboratorio, contienen carga contaminante en alto grado, ya que la quebrada El Hato presentó contaminación por coliformes de 1600×10^3 NMP/100 ml y por *Escherichia coli* (*E. coli*) de 220×10^3 NMP/100 ml. La quebrada Fray Juana, por su parte, presentó un grado de contaminación de 1600×10^3 NMP/100 ml de coliformes. Además, se encontró igualmente una contaminación de las fuentes hídricas por el uso de diversos plaguicidas, como Lorsban® (clorpirifós), Ráfaga® (clorpirifós), Látigo® (clorpirifós), Neguvón® (metrifonato), Furdán® (carbofurano); de insecticidas, como Ganabaño® (cipermetrina), y de desinfectantes, como Límpido® (hipoclorito de sodio 6%), debido a los vertimientos de la hacienda (Tobón, López y Paniagua, 2010).

Otro caso es el distrito de riego La Doctrina, en Córdoba, en donde la economía se basa en el cultivo de arroz, maíz, palma africana, papaya y hortalizas, para los cuales se utilizan plaguicidas, que contaminan los canales de riego. Estas aguas son utilizadas por los pobladores para uso doméstico y consumo humano, por lo que se investigó la existencia de concentraciones de plaguicidas organoclorados (POCL), organofosforados (POF) y cipermetrina (CP), lo que dio como resultado que habían concentraciones de 73% de CP por encima del límite aceptado por la normatividad colombiana (Arteaga, Marrugo y Sánchez, 2018).

El río Apartadó alcanza una extensión del 30% del área del municipio. Es de vital importancia porque presenta la cuenca abastecedora, con una oferta de $173,8 \text{ mm}^3$, con la que beneficia a la población urbana. Este río nace en la serranía y desciende desde San José de Apartadó; en sus cabeceras confluyen arroyos y quebradas, entre las que se destacan, de sur a norte, respectivamente, El Mariano, La Linda, La Sucia, La Cristalina, El Cuchillo, La Victoria y El Muerto (Alcaldía Municipal de Apartadó, 2016).

A pesar que el río Apartadó es la única fuente hídrica que atraviesa el municipio, en la actualidad no se tiene información acerca de sus condiciones medioambientales, ni tampoco se encuentran reportes acerca de la caracterización de sus aguas en sus diferentes puntos. Por tales motivos es necesario identificar el estado actual del río a nivel ambiental, ya que la región del Urabá antioqueño utiliza grandes cantidades de agroquímicos para producir gran cantidad de banano y plátano con alta calidad. Los estudios realizados para evaluar la contaminación por plaguicidas en algunos cursos de aguas superficiales han revelado que los principios activos analizados se encuentran en concentraciones por debajo de los niveles máximos permitidos para la preservación de la vida acuática; en estos estudios se han incluido plaguicidas de los grupos químicos OC (organoclorados) y OF (organofosforado) (Lans-Ceballos, Padilla-Jiménez y Hernández-Rivera, 2018).

Por tanto, este trabajo tiene la finalidad de caracterizar las aguas del río Apartadó mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, además de hacer un estudio de las aguas tratadas en las fincas bananeras, basándose en la Resolución 0631/15, para así establecer si la actividad agrícola tiene alguna incidencia sobre el estado ambiental del cuerpo de agua superficial. Esto se hace necesario porque en las fincas bananeras se lavan las frutas para su exportación y consumo interno. Para esto, se aplica solución fungicida o desinfectante en tanques de hasta 1000 litros de capacidad, los cuales deben ser preparados con alumbre y fungicida, siendo el Mertect el más utilizado, para lo cual se utilizan hasta 10 kilos de alumbre y 30 cm^3 cúbicos de fungicida;

posteriormente, estas aguas son sometidas a un proceso de recirculación, con el objetivo de sedimentar el látex y los residuos producidos mediante el lavado, para que luego sean vertidas en cuerpos de agua superficial (Milton, Candanoza y Olarte, 2009).

Cabe resaltar que en este estudio no se analizan residuos de pesticidas o plaguicidas, sino que establece, por medio de la normatividad colombiana, si las actividades agroindustriales cumplen con la norma y además verifica que las aguas del río también cumplan con los criterios establecidos por la ley. Para ello, esta investigación inicia con una caracterización de las aguas del río y de los vertimientos de las fincas, con el objetivo de obtener información básica acerca del estado ambiental del río y si los vertimientos arrojados por las fincas inciden en los resultados.

Metodología

En primer lugar, se realizó una visita a los puntos de muestreo, con el objetivo de identificar el terreno y georreferenciar los puntos exactos para la toma de muestras (figura 1), en la que se observó la presencia de casas y de potreros a las orillas del río, y por tanto la existencia de vertimientos de la comunidad en la fuente de agua superficial. De este modo, se tomó como primer punto el corregimiento de San José de Apartadó, el cual llamamos punto cero, debido a que allí hay pocos vertimientos y en esa zona las personas se abastecen de las aguas del río para sus necesidades. A 2,23 km más adelante se tomó el primer muestreo de un vertimiento, proveniente de una finca, el cual abreviamos como V1; a partir de este, se tomaron muestras en el río, las cuales se abreviaron desde P1 (punto 1) hasta P5, y cuyas distancias entre puntos se observan en la tabla 1. Por cada vertimiento se tomó una muestra del efluente con el objetivo de verificar si existe incidencia en los resultados obtenidos; para esto, la distancia de muestreo entre el vertimiento y el río fue de un metro aguas abajo y el procedimiento de toma de muestras fue simple, de acuerdo con el protocolo de muestreo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018).

TABLA 1
Georreferenciación de los puntos de muestreo del río Apartadó

Muestreo	Distancia entre puntos (km)	Coordenadas planas
Punto 0	-	7.864944-76.572403
Punto 1	2,23	7.865265-76.593876
Punto 2	1,38	7.872372-76.604036
Punto 3	0,881	7.871004-76.611671
Punto 4	0,9455	7.874639-76.618795
Punto 5	2,74	7.888971-76.638563

Fuente: elaboración propia, 2018



FIGURA 1
Puntos de muestreo del río Apartadó
 Fuente: elaboración propia, 2018

Las muestras de vertimientos se tomaron al final de su disposición, es decir, al llegar a la fuente hídrica.

Para todas las muestras recolectadas se hicieron análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por el método yodométrico; demanda química de oxígeno (DQO), por reflujos cerrados y volumetría; nitratos, por espectrofotometría UV-VIS; nitritos, por espectrofotometría UV-VIS; sulfatos, por el método nefelométrico; fosfatos, por el método de ácido ascórbico; cloruros, por volumetría; alcalinidad, por volumetría; dureza, por volumetría; potencial de hidrógeno (pH), y conductividad. Los cálculos para los análisis volumétricos se observan en el anexo 1

Los análisis de sólidos suspendidos totales secados entre 103 °C y 105 °C y GYA (grasas y aceites) por extracción líquido-líquido y gravimetría solo fueron realizados en las muestras de vertimientos, ya que estos son más específicos para aguas residuales y están estipulados en la norma (Resolución 0631/15). Mientras que coliformes fecales solo se analizaron en las muestras del río, debido a que este parámetro no se aplica a aguas residuales. Los niveles permitidos por esta norma se observan en el anexo 2.

Cada análisis se hizo por triplicado, de modo que se obtuviera un promedio para hallar cada uno de los valores requeridos.

El índice ambiental que se utilizó para analizar el río fue el Icauca, que es la adaptación del índice de calidad de agua (ICA) al río Cauca (Restrepo y Cardenosa, 1999). Para determinar este índice, se procedió con la ecuación 1 (anexo 3). La tabla 2 clasifica la calidad del agua según el Icauca (Patiño et al., 2004).

TABLA 2
Clasificación de la calidad del agua según el valor del Icauca

Valor del Icauca	Calidad del agua
81-100	Óptima
51-80	Buena
36-50	Aceptable
21-35	Inadecuada
0-20	Pésima

Fuente: elaboración propia, 2018

$$ICA = \sum I_i W_i \quad (1)$$

I_i : subíndice del parámetro

W_i : peso o porcentaje asignado a cada parámetro i

Para la determinación del porcentaje del índice de riesgo de calidad de agua (IRCA) se procede mediante la ecuación 2 (anexo 4). La tabla 3 establece la condición del agua según el porcentaje del IRCA (Resolución 2115/07).¹

$$\text{Porcentaje del IRCA} = \frac{\sum \text{praca}}{\sum \text{pratcan}} \times 100 \quad (2)$$

Donde,

PRACA: puntajes de riesgos asignados a las características no asignables.

PRATCAN: puntajes de riesgos asignados a todas las características analizadas.

La clasificación del análisis de riesgo del IRCA se puede observar en el anexo 5 y en la tabla 3.

TABLA 3
Clasificación en el nivel de riesgo en salud, según el IRCA

Clasificación del IRCA (%)	Nivel de riesgo
80,1-100	Inviabile sanitariamente
35,1-80	Alto
14,1-35	Medio
5,1-14	Bajo
0-5	Sin riesgo

Fuente: elaboración propia, 2018

Resultados

La tabla 4 muestra los parámetros establecidos por la Resolución 0631/15 para vertimientos y los valores arrojados por las muestras en cada uno de los análisis.

Para el caso de los vertimientos, las fincas 1 y 2 son las que más cumplen con la norma, salvo que el parámetro de grasas y aceites está por encima de lo establecido por la resolución, lo cual quiere decir que, de los cinco parámetros que evalúa la Resolución 0631/15, las fincas en mención solo incumplen con uno. El vertimiento proveniente de la finca 3, pese a que tienen unas DBO y DQO aceptables, presenta altos niveles de sólidos suspendidos totales, al igual que grasas y aceites, pero si se tiene en cuenta que las muestras de vertimiento fueron tomadas en el punto final de su disposición, es decir, al llegar a la fuente de agua superficial, es posible que los niveles de sólidos hayan aumentado debido al recorrido que el vertimiento hace desde la finca hasta el río. El vertimiento de la finca 4 no cumple con los estándares establecidos por la norma, ya que presenta valores de DQO por encima del límite permitido y, a su vez, los valores de sólidos al igual que grasas y aceites sobrepasan el valor máximo aceptable.

El vertimiento de la finca 5 se ubica en el casco urbano de la ciudad de Apartadó. Ahí se desechan las aguas residuales del municipio, ya que este no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales. Por tanto, los resultados obtenidos no son específicos de la finca 5; sin embargo, fue necesario analizar este punto con el objetivo de evaluar la calidad del agua antes y durante su tránsito por el casco urbano. Por esta razón los resultados obtenidos en este vertimiento sobrepasan los límites permitidos por la norma.

TABLA 4
Relación entre análisis de vertimientos y la Resolución 0631/15

Punto	Parámetro	Resultado	Límite máximo (Res. 06351/15)
V1	DBO	3,84 mg/L O ₂	50 mg/L O ₂
	DQO	182 mg/L O ₂	200 mg/L O ₂
	GYA	16 mg/L GYA	10 mg/L GYA
	SST	8 mg/L sólidos	100 mg/L sólidos
	pH	7,9	6-9
V2	DBO	15,56 mg/L O ₂	50 mg/L O ₂
	DQO	3,2 mg/L O ₂	200 mg/L O ₂
	GYA	18 mg/L GYA	10 mg/L GYA
	SST	1,5 mg/L sólidos	100 mg/L sólidos
	pH	8,2	6-9
V3	DBO	25,92 mg/L O ₂	50 mg/L O ₂
	DQO	195,2 mg/L O ₂	200 mg/L O ₂
	GYA	11,2 mg/L GYA	10 mg/L GYA
	SST	102 mg/L sólidos	100 mg/L sólidos
	pH	7,3	6-9
V4	DBO	2,4 mg/L O ₂	50 mg/L O ₂
	DQO	409 mg/L O ₂	200 mg/L O ₂
	GYA	57,5 mg/L GYA	10 mg/L GYA
	SST	1156 mg/L sólidos	100 mg/L sólidos
	pH	7,6	6-9
V5	DBO	80,04 mg/L O ₂	50 mg/L O ₂
	DQO	358 mg/L O ₂	200 mg/L O ₂
	GYA	1474,6 mg/L GYA	10 mg/L GYA
	SST	126 mg/L sólidos	100 mg/L sólidos
	pH	7,3	6,00-9,00

Fuente: elaboración propia, 2018

Nota: SST: sólidos suspendidos totales; DBO: demanda bioquímica de oxígeno; DQO: demanda química de oxígeno; GYS: grasas y aceites; pH: potencial de hidrógeno.

Para las aguas del río Apartadó se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos con el objetivo de obtener el índice de calidad del agua, que en este caso es el Icauca, para cada uno de los puntos, como se muestra en la tabla 5.

En la tabla 6 se pueden observar los análisis de alcalinidad, dureza, cloruros, DQO y sulfatos para cada una de las muestras.

TABLA 5
Índice Icauca para el río Apartadó

Punto	Parámetro	I	W_i	$\Sigma I_i W_i$	Icauca
0	DBO	2	0,11	0,22	53,243
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	5	0,08	0,4	
	pH	73,079	0,14	10,231	
	ColF	73,091	0,17	12,425	
	NT	86,748	0,11	9,542	
	FT	99,317	0,11	10,924	
1	DBO	91,129	0,11	10,024	66,288
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	21,824	0,08	1,745	
	pH	85,464	0,14	11,965	
	ColF	76,967	0,17	13,084	
	NT	86,390	0,11	9,502	
	FT	95,142	0,11	10,465	
2	DBO	82,618	0,11	9,088	64,520
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	5	0,08	0,4	
	pH	86,309	0,14	12,083	
	ColF	79,630	0,17	13,537	
	NT	86,273	0,11	9,490	
	FT	94,747	0,11	10,422	
3	DBO	48,626	0,11	5,348	58,758
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	17,469	0,08	14,556	
	pH	88,780	0,14	12,429	
	ColF	73,062	0,17	12,420	
	NT	85,579	0,11	9,413	
	FT	74,985	0,11	8,248	
4	DBO	69,698	0,11	7,666	64,522
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	11,418	0,08	0,913	
	pH	92,353	0,14	12,929	
	ColF	82,100	0,17	13,957	
	NT	86,366	0,11	9,500	
	FT	91,412	0,11	10,055	
5	DBO	2	0,11	0,22	41,446
	OD	50	0,19	9,5	
	Turb	5	0,08	0,4	
	pH	90,880	0,14	12,723	
	ColF	2	0,17	0,34	
	NT	86,555	0,11	9,521	
	FT	79,469	0,11	8,741	

Fuente: elaboración propia, 2018.

Nota: Turb: turbiedad; ColF: coliformes fecales; NT: nitrógeno total; FT: fósforo total.

TABLA 6
Análisis fisicoquímicos de todos los puntos

	DQO mg/L O ₂	Alcal. mg/L CaCO ₃	Dureza mg/L CaCO ₃	Cloruros mg/L Cl	Sulfatos mg SO ₄ /L	DBO mg/L O ₂
P0	118,4	118	127	7,997	33,50	3,24
P1	358,4	125	134	2,999	23,10	0,66
P2	448	179	170	9,497	40,66	1,56
P3	624	161	156	12,496	26,66	21,12
P4	243,2	135	157	7,997	33,27	3,36
P5	433,6	170	153	11,496	29,00	42,96
V1	176	140	164	12,995	14,18	3,84
V2	3,2	280	170	50,984	100,76	16,56
V3	188,8	78	254	20,943	175,27	25,92
V4	384	134	182	24,992	9,21	2,4
V5	358	78	190	3,998	10,59	80,04

Fuente: elaboración propia, 2018

Nota: P: punto de muestreo; V: vertimiento; Alcal.: alcalinidad.

Como se dijo anteriormente, las aguas de este río son utilizadas para consumo humano, especialmente fuera del casco urbano, como en el corregimiento de San José de Apartadó. Para esta zona se tomaron tres muestras: la primera identificada como P0, la segunda como P1 y la tercera como P2, a las cuales fue necesario hallarles el IRCA, para así comparar estos valores con los de la Resolución 2115/07.

La tabla 7 compara los valores de estos puntos con la norma.

TABLA 7
Estimación del porcentaje del IRCA para los puntos P0, P1 y P2

Parámetro	Muestra	Valor máximo aceptable (Res. 2115/07)
Turbiedad (UNT)	P0: 123	2
	P1: 85,54	
	P2: 148,5	
Nitritos (mg/L N-NO ₂)	P0: 0,007	0,1
	P1: 0,007	
	P2: 0,026	
Nitratos (mg/L N-NO ₃)	P0: 0,169	10
	P1: 0,265	
	P2: 0,278	
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	P0: 118	200
	P1: 125	
	P2: 179	
Cloruros (mg/L Cl)	P0: 7,997	250
	P1: 2,999	
	P2: 9,497	
Dureza (mg/L CaCO ₃)	P0: 127	300
	P1: 134	
	P2: 170	
Fosfatos (mg/L P-PO ₄)	P0: 0,116	0,5
	P1: 0,156	
	P2: 0,149	
Sulfatos (mg/L SO ₄)	P0: 33,501	250
	P1: 23,100	
	P2: 40,660	
Coliformes fecales (UFC/ml)	P0: 0,12	0
	P1: 0,640	
	P2: 0,450	
pH	P0: 8,3	6,5-9,0
	P1: 8,1	
	P2: 8,0	

Fuente: elaboración propia, 2018

El porcentaje del IRCA para las muestras de agua fue de 74% en los tres puntos.

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, la calidad ambiental del río es óptima según el Icauca. Vale la pena resaltar que este índice maneja diez parámetros, de los cuales solo se analizaron siete, debido al agotamiento de las muestras. Los análisis faltantes fueron de color y sólidos, tanto sedimentables como totales, los cuales aparentemente están en buenas condiciones, especialmente en el tramo de San José de Apartadó, donde el agua se observa más clara.

El P5, por su parte, obtuvo el Icauca más bajo, debido a que corresponde al casco urbano; sin embargo, el ICA establece que se encuentra en condiciones óptimas, a pesar de los altos niveles de DBO y DQO, esto puede deberse a la baja concentración de nitratos y nitritos, los cuales son requeridos para el cálculo de este índice, ya que los nitratos, por ejemplo, son muy solubles y susceptibles a contaminar cuando llegan a una masa de agua, debido a que las algas y cianobacterias encuentran un medio óptimo para crecer (Empresa Agraria, 2017). Debido a este fenómeno, el ICA establece que el cuerpo de agua se encuentra en condiciones óptimas, teniendo en cuenta que en aguas superficiales cuando los niveles de nitritos no superan el valor de 0,1 mg/L es porque el agua se encuentra en niveles óptimos, ya que en niveles superiores a 0,75 mg/L puede provocar stress en peces, y en mayores a 5 mg/L puede ser tóxico. También, los niveles de nitratos entre 0 mg/L y 40 mg/L son generalmente seguros para los peces; cualquier valor superior a 80 mg/L puede ser tóxico (Lenntech, 2018).

Es necesario resaltar que, aunque el río tiene un pH óptimo y a su vez los nitratos y nitritos están en condiciones normales, los valores de DBO y DQO están muy elevados, lo cual puede indicar contaminación por materia orgánica e inorgánica, pudiendo ocasionar agotamiento de oxígeno en la fuente superficial y así disminuir la biodiversidad del sistema acuático en mención, afectando la calidad de vida de los individuos allí residentes (Pascual, 2018).

Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior, los vertimientos V1, V2, V3 y V4 no inciden directamente en la calidad ambiental del río, ya que en esos puntos el río se encuentra en condiciones óptimas, lo cual podría sugerir un alto potencial autodepurador; por el contrario, el V5 sí evidencia incidencia en la calidad ambiental del río, ya que para ese punto el ICA disminuyó considerablemente hasta un valor de 41,46, lo cual indica una incidencia directa en la calidad del río por el vertimiento en este punto.

Aunque el Icauca establece los puntos 0 y 2 como aguas de buena calidad, estas no son aptas para el consumo humano, ya que según el IRCA el nivel de riesgo de estas aguas es alto, esto se debe en gran parte a los niveles de coliformes y la alta turbiedad en la fuente que sobrepasan los valores máximos permisibles (Resolución 2115/07).

Los cloruros y sulfatos varían mucho en aguas naturales y sus niveles dependen de la naturaleza de la fuente hídrica, teniendo en la mayoría de los casos bajos niveles de ambos. El nivel máximo de sulfatos sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las Directrices para la Calidad del Agua Potable, establecidas en Génova, en 1993, es de 500 mg/L. Las directrices de la Unión Europea más recientes, sugieren un máximo de 250 mg/L de sulfato en el agua destinada al consumo humano (Lenntech, 2017). Los valores de sulfatos y cloro en el río son óptimos y sus valores están por debajo de los límites máximos establecido por la OMS, lo cual garantiza el buen estado del río.

En cuanto a la alcalinidad para las estaciones andinas de baja montaña, el estado ideal es de 150-200 mg/L (Ramírez, 1988). Por tanto, los valores de alcalinidad en los distintos puntos del río permiten deducir que el agua se encuentra en óptimas condiciones, ya que incluso están por debajo del valor máximo permisible expuesto por la Resolución 2115/07 para aguas de consumo humano.

Pese a los óptimos niveles de DBO que presenta el río, los niveles de DQO están muy elevados, incluso por encima de lo establecido por la norma para los vertimientos de tipo agroindustrial, este fenómeno puede deberse a la presencia de componentes inorgánicos susceptibles a la oxidación, como sulfuros, sulfitos y yoduros, entre otros, que pueden estar asociados a la actividad agroindustrial de la zona; ejemplo de esto es el sulfato, el cual es altamente utilizado como sulfato de potasio para el aporte de nutrientes o fertilización de

suelos, ya que este abastece a la planta de potasio. En muchas ocasiones los sulfatos por acción bacteriana se reducen a sulfuros, que provocan malos olores y contaminación en aguas naturales, producto de vertimientos a estos sitios puntuales o por lixiviación de aguas de riego (Olivero, Mercado y Montes, 2013). Sin embargo, cuando los niveles de DBO se encuentran entre 0,75 mg/L O₂ y 1,5 mg/L O₂, el agua se considera pura, y entre 5 mg/L O₂ y 50 mg/L O₂ el agua se considera como poco contaminada (Freide, 2017).

Por último, los ICA varían en todo el recorrido del río. En la zona cero, por ejemplo, la comunidad, además de abastecerse del río, también hacen actividades de lavado de enseres en él, con lo que ocasionan un incremento en la contaminación del área. A su vez, a medida que el río avanza, se oxigena, y los microorganismos presentes en la fuente hídrica utilizan la materia orgánica existente en las aguas, metabolizándola y transformándola en materia viva, o bien coagulando las partículas más gruesas, de modo que se sedimenta parte de la materia en suspensión (Sánchez, 2015).

Un estudio semejante se realizó en los ríos Cali y Meléndez, en el cual se analizaron parámetros como DBO, oxígeno disuelto, turbidez, residuo total, pH, nitratos, fosfatos y temperatura, el cual dio como resultado un ICA de 50 en todos los sitios de muestreos, tanto en el río Cali como en el Meléndez, a excepción de un punto de análisis ubicado en el casco urbano, el cual arrojó un ICA de 30, que se cataloga como inadecuada calidad (Behar, Zuñiga y Rojas, 1997).

Conclusiones

Los vertimientos arrojados al río provenientes del lavado del banano en fincas bananeras contienen valores elevados de grasas y aceites, sin embargo, no generan contaminación por materia orgánica, ya que los valores de DBO y DQO se encuentran por debajo del límite máximo estipulado por la Resolución 0631/15. Excepto para el caso del vertimiento V5.

Según el Icauca, el río se encuentra en óptimas condiciones ambientales, aun con valores elevados de DQO, de lo cual es pertinente hacer una evaluación sobre el índice de contaminación (ICO).

Aunque el ICA establece que el río se encuentra en condiciones ambientales favorables, este no es apto para el consumo humano, debido a que los límites de coliformes y de turbiedad superan los valores establecidos por la Resolución 2115/07.

Los altos valores de DQO en la fuente hídrica pueden ser ocasionados por materia inorgánica oxidable proveniente de residuos de tipo doméstico o lixiviación del suelo por uso de agroquímicos, ya que durante todo el recorrido se pudo observar la existencia de vertimientos de tipo doméstico desde la comunidad hacia el río; sin embargo, es necesario hacer un estudio más profundo que permita identificar la causa puntual de los altos niveles de este parámetro en el río.

Finalmente, se pudo establecer que las fincas bananeras en lo posible cumplen con la normatividad vigente requerida para el control de vertimientos en cuerpos de agua superficial. Se puede evidenciar con base en los análisis de este estudio que no existe una relación directa entre los vertimientos arrojados por las empresas agroindustriales y el estado ambiental del río; sin embargo, es prudente seguir con este tipo de investigaciones para establecer un diagnóstico más profundo acerca del estado de contaminación del río y sus causas, con el objetivo de crear estrategias que permitan su recuperación.

Agradecimientos

Al Complejo Agroindustrial Pecuario y Turístico Sena por apoyar este tipo de investigaciones. Al Centro de Comercio Industria y Turismo por ofrecernos su ayuda en temas de análisis químicos. A la aprendiz Anyi Hurtado por todo su apoyo en este proceso. Al ingeniero Jhoan Galarcio por su colaboración y apoyo.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Apartadó. (2016). Plan de Desarrollo Territorial 2016-2019. Recuperado de <http://bit.ly/2MqwoNM>
- Arango, L. (2017, 24 de marzo). Sector agropecuario durante el 2016 y perspectivas para el 2017. Portafolio. Recuperado de <http://bit.ly/2WGcUII>
- Arteaga, G., Marrugo, J., y Sánchez, J. (2018). Plaguicidas en canales de riego del distrito de La Doctrina (Córdoba-Colombia). *Temas Agrarios*, 23(1), 29–36.
- Behar, R., Zúñiga, M., y Rojas, O. (1997). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: caso ríos Cali y Meléndez. *Ingeniería y Competitividad*, 1(1), 17–27.
- Empresa Agraria. (2017). *Agua, nitratos y contaminación*. Recuperado de <http://bit.ly/2ENeTlx>
- Freide, M. (2017). *Demanda bioquímica de oxígeno*. Recuperado de <http://bit.ly/2WjNiSI>
- García, A. (2010). *Toda Colombia, la cara amable de Colombia*. Recuperado de <http://bit.ly/2JREInL>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2018). *Protocolo de monitoreo del agua*. Recuperado de <http://bit.ly/2HNKWm5>
- Lans-Ceballos, E., Padilla-Jiménez, A., y Hernández-Rivera, S. (2018). Characterization of organochloride pesticides residues in sediments from the Ciénaga Grande of the lower Sinu river of Colombia. *Cogent Environmental Science*, 4(1), 1436930.
- Lenntech. (2017). Sulfatos. Recuperado de <http://bit.ly/2WDorIT>
- Lenntech. (2018). Nitratos y nitritos. Recuperado de <http://bit.ly/2wwlJX5>
- Milton, J., Candanoza, J., y Orlarte, F. (2009). *Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de plátano de exportación en la región de Urabá*. Medellín: Comunicaciones Augura. .
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 2015, de 18 de abril. *Diario Oficial* n.º 49.486. Recuperado de <http://bit.ly/2My3dIS>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 2007, de 22 de junio. *Diario Oficial* N.º 46.679. Recuperado de <http://bit.ly/2JQrw2j>
- Olivero, R., Mercado, I., y Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción+ Limpia*, 8(1), 18–27.
- Pascual, E. (2018). ¿Por qué hay contaminación en los ríos? Cómo se produce y cómo evitarla. [Blog]. Recuperado de <http://bit.ly/2Wg07xi>
- Patiño, P., Holguín, J., Barba, H., Cruz, C., Ramírez, C., Duque, A., y Baena, L. (2004). Metodología para la adaptación de un índice de calidad del agua a las condiciones medioambientales del río Cauca en el tramo Salvajina-La Virginia. Seminario Internacional Visión Integral en el Mejoramiento de la Calidad del agua. Recuperado de <http://bit.ly/2KZR3Wy>
- Ramírez, A. (1988). *Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental*. Contrato 64/87 INDERENA. Bogotá.
- Restrepo, J. C. (2017). ¡Urabá es banano y mucho más! *Agronegocios*. Recuperado de <http://bit.ly/2IeU0zo>
- Restrepo, R., y Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89–99.
- Sánchez, D. (2015). Calidad del agua en ríos. Recuperado de <http://bit.ly/2MoZmxv>
- Tobón, F., López, N., y Paniagua, R. (2010). Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. *Salud Pública*, 12(2), 300–307.

Anexos

Parámetro	Unidades	Ecuación
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	$\frac{(V. gastado - V. bk) * [H2SO4] * 50.000}{V. muestra}$
Acidez	mg/L CaCO ₃	$\frac{(V. gastado - V. bk) * [NaOH] * 50.000}{V. muestra}$
Dureza cálcica	mg/L Ca	$\frac{(V. gastado - V. bk) * [EDTA] * 40,1 * 1000}{V. muestra}$
Dureza total	mg/L CaCO ₃	$\frac{(V. gastado - V. bk) * [EDTA] * 100.000}{V. muestra}$
BDO	mg/L O ₂	$\frac{[(ODi - Odf) - (ODi, ino - Odf, ino)] * 300}{V. muestra}$
DQO	mg/L O ₂	$\frac{(V. FAS en bk - V. FAS en muestra) * NFAS * 800}{V. muestra}$

ANEXO 1

Ecuaciones para análisis volumétrico

Nota: V.: volumen; bk: blanco reactivo; FAS: sulfato ferroso amoniacal.

Fuente: elaboración propia, 2018

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD.	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD.
		Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 625,00 Kg/día Y MENOR O IGUAL A 3.000,00 Kg/día DBO ₅	Y AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS - ARND DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO, CON UNA CARGA MAYOR A 3.000,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,0 ⁺	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	90,00	70,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L		Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L		Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L		Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrogeno			
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrogeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrogeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones			
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

ANEXO 2

Límites establecidos por la Resolución 0631/15

Fuente: Resolución 0631, 2015

Parámetro	Unidad	Función del subíndice I
Coliformes fecales (ColiF)	UFC	$I_{ColiF} = e^{(4,5685 - 0,1305 \ln(ColiF) - 0,0129 [\ln(ColiF)]^2)}$ Si ColiF > 10 ⁵ /100 mL, I _{ColiF} = 2
Sólidos suspendidos (SST)	mg/L	$I_{SST} = -0,3005(SST) + 102,11$ Si SST ≤ 10 mg/L, I _{SST} = 100 Si SST ≥ 340 mg/L, I _{SST} = 2
Fósforo total (FT)	mg/L	$I_{FT} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143(FT) + 0,00074(FT)^2}$ SI FT > 10 mg/L, I _{FT} = 2
DBO ₅	mg O ₂ /L	$I_{DBO_5} = e^{(4,5824 - 0,1078(DBO_5) + 2,4581 * 10^{-14} e^{DBO_5})}$ Si DBO ₅ > 30 mg/L, I _{DBO₅} = 2

ANEXO 3

Funciones de los subíndice de cada parámetro para el cálculo del Icauca

Fuente: elaboración propia, 2018

Parámetro	Unidad	Función del subíndice I
Porcentaje de saturación de Oxígeno (% sat)	% sat	$I_{\% \text{ sat}} = e^{(1.663 + 0.063(\% \text{ sat}) - 0.000303(\% \text{ sat})^2)}$ Si % sat > 140, $I_{\% \text{ SAT}} = 50$
Turbiedad (Turb)	UNT	$I_{\text{Turb}} = e^{(4.561 - 0.0196(\text{Turb}) + 2.4167 \cdot 10^{-5}(\text{Turb})^2)}$ Si Turb > 100 UNT, $I_{\text{Turb}} = 5$
Sólidos totales (ST)	mg/L	$I_{\text{ST}} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 \cdot 10^{-5}(\text{ST}) + 9.265 \cdot 10^{-8}(\text{ST})^2}$ Si ST > 500 mg/L, $I_{\text{ST}} = 20$
pH	Unidades	$I_{\text{pH}} = e^{(-7.6434(\text{pH}) + 18.5352 \cdot \frac{1}{\text{pH}} + 14.625[\text{Ln}(\text{pH})]^2)}$ Si pH < 2 o pH > 12, $I_{\text{pH}} = 0$

ANEXO 3 (CONT.)

Funciones de los subíndice de cada parámetro para el cálculo del Icauca

Fuente: elaboración propia, 2018

Características	Puntaje de riesgos
Turbiedad	15
pH	1,5
Alcalinidad total	1
Fosfatos	1
Dureza total	1
Sulfatos	1
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Coliformes totales	15

$$\text{Porcentaje del IRCA} = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgos asignados a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}} * 100$$

$$\text{Porcentaje del IRCA P0} = \frac{\sum 15+15}{40,5} * 100 = 74\%$$

$$\text{Porcentaje del IRCA P1} = \frac{\sum 15+15}{40,5} * 100 = 74\%$$

Porcentaje del IRCA P2

ANEXO 4

Determinación del porcentaje del IRCA en P0, P1 y P2 del río

Fuente: elaboración propia, 2018

Clasificación del IRCA (%)	Nivel de riesgo	IRCA por muestra (notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (acciones)
0-5	Sin riesgo	Continuar el control y la vigilancia	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia
5,1-14	Bajo	Informar a la persona prestadora y al COVE	Agua no apta para consumo humano. Susceptible de mejoramiento
14,1-35	Medio	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y gobernador	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa de la persona prestadora
35,1-80	Alto	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, gobernador y a la SSPD	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa de acuerdo a la competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos
80,1-100	Inviabile sanitariamente	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General	Agua no apta para consumo humano. Gestión directa de acuerdo a la competencia de la persona prestadora y de los alcaldes, gobernadores y entidades de orden nacional

ANEXO 5
 Clasificación del nivel de riesgo de salud según el IRCA
 Fuente: IRCA

Notas

* Artículo de investigación Este artículo surge del proyecto de investigación Caracterización de las Aguas Tratadas en Zonas Bananeras y su Incidencia sobre la Calidad Ambiental del Río Apartadó Mediante Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos.

1 Por medio de la cual se establecen las características para aguas de consumo humano.

Licencia Creative Commons CC BY 4.0

Cómo citar este artículo: Muñoz Villarreal, L. L., y Álvarez Alarcón, S. C. (2018). Caracterización de las aguas tratadas en zonas bananeras y su incidencia sobre la calidad ambiental del río Apartadó mediante análisis físicoquímicos y microbiológicos. *Ambiente y Desarrollo*, 22(43). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.catz>