SOCIEDAD AEROPUERTO DEL CAFÉ

CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA Y BATERIOLÓGICA DE AGUA SUPERFICIAL DE LOS CAUCES EXISTENTES EN EL ZODME “CAUCE SUR” PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO AEROPUERTO DEL CAFÉ

PALESTINA – CALCAS

Revisión 1.0

Mayo de 2023

(Página en blanco intencionalmente)

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 5

OBJETIVO 6

OBJETIVO GENERAL 6

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

1. MARCO LEGAL 7

2. METODOLOGÍA 8

2.1. Ubicación de los puntos de muestreo 8

2.2. Método de muestreo 10

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS 12

3.1. Resultados agua superficial 12

3.2. Análisis de resultados 15

3.3 Índices de Calidad del Agua (ICA) y de Contaminación (ICO) 24

Índice de Calidad de Agua (ICA) 25

Índices de Contaminación (ICO) 26

CONCLUSIONES 28

BIBLIOGRAFÍA 29

ANEXOS 29

Anexo 1. Certificado calibración de equipos 29

Anexo 2. Formatos de campo 29

Anexo 3. Reportes de análisis de laboratorio externo 29

Anexo 4. Registro fotográfico 29

Anexo 5. Resoluciones de acreditación de laboratorios 29

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo 9
Tabla 2. Descripción puntos de muestreo 9
Tabla 3. Resultados fisicoquímicos aguas superficiales – Quebrada Pitaya 13
Tabla 4. Niveles de OD y posibles consecuencias 17
Tabla 5. Clasificación de la dureza del agua 20
Tabla 6. Ecuación y escala de clasificación del agua, según intervalos del ICA 25
Tabla 7. Índices de Calidad de la quebrada Pitaya 25
Tabla 8. Significado de los índices de contaminación ICO 26
Tabla 9. Índices de contaminación de la Q. Pitaya 27

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. pH en agua superficial – Quebrada Pitaya 15
Gráfico 2. Temperatura en agua superficial – Quebrada Pitaya 16
Gráfico 3. Conductividad en agua superficial – Quebrada Pitaya 16
Gráfico 4. Oxígeno disuelto en agua superficial – Quebrada Pitaya 17
Gráfico 5. DBO y DQO en agua superficial – Quebrada Pitaya 18
Gráfico 6. Acidez y alcalinidad en agua superficial – Quebrada Pitaya 19
Gráfico 7. Dureza en agua superficial – Quebrada Pitaya 20
Gráfico 8. Sólidos en agua superficial – Quebrada Pitaya 21
Gráfico 9. Turbiedad y color en agua superficial – Quebrada Pitaya 22
Gráfico 10. Compuestos de nitrógeno en agua superficial – Quebrada Pitaya 23
Gráfico 11. Coliformes totales y termotolerantes en agua superficial – Quebrada Pitaya 24
Gráfico 12. Valores del índice de calidad en agua superficial – Quebrada Pitaya 26

INTRODUCCIÓN

La categorización absoluta de la "calidad" del agua es inaplicable hacerla, pero sí es posible definir una tendencia según sus características físicas, químicas y biológicas, para un uso específico; además, el concepto de contaminación debe estar referido a los posibles usos del agua (beber, nadar, pescar, irrigar, entre otros). El esquema de monitoreo de la calidad del agua está dirigido a comprobar si la calidad del recurso hídrico cumple con las condiciones para los usos requeridos, con la determinación de las tendencias de la calidad del ambiente acuático y cómo se ve afectado por el vertimiento de contaminantes y nutrientes depositados por actividades humanas.

El recurso hídrico tiene gran cantidad de usos, es por eso por lo que el monitoreo debe reflejar las necesidades de información de los diferentes usuarios involucrados, y los administradores del recurso o autoridades similares, deben buscar que se genere información valiosa, como la relación existente entre la calidad y la cantidad de agua en el cuerpo de agua con los requerimientos de los usuarios y el establecimiento de límites autorizados, entre otras, que permita tomar decisiones sobre su manejo.

LA ASOCIACIÓN AEROPUERTO DEL CAFÉ, contrató los servicios de Gestión & Medioambiente S.A.S (laboratorio ambiental acreditado por el IDEAM bajo la Resolución 1592 de diciembre de 2021, ver anexo 5), para caracterizar las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas del cuerpo hídrico dentro del área de influencia del Zodme Cauce sur, quebrada Pitaya en jurisdicción del municipio de Palestina (Caldas).

Con la información obtenida en campo y el posterior análisis fisicoquímico de las muestras, se establece la comparación con los límites máximos permisibles en la normatividad ambiental vigente, con el fin de conocer el estado actual del recurso hídrico en el área de influencia.

El informe se encuentra estructurado así: objetivos, componente fisicoquímico y microbiológico con: metodología utilizada para los muestreos, resultados y análisis para las muestras de aguas superficiales en la caracterización fisicoquímica y microbiológica, índices de calidad y de contaminación, finalmente, conclusiones, bibliografía y anexos.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y definir una línea base con análisis de condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas en el cauce Pitaya del Zodme Cauce Sur, requeridos para el proyecto Aeropuerto del Café, en el municipio de Palestina, Caldas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evidenciar las condiciones del cuerpo hídrico a través de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de la fuente superficial (Quebrada Pitaya) en Palestina (Caldas).
- Realizar comparación de los parámetros medidos con los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la sección 9 Disposiciones transitorias, para los diferentes usos.
- Realizar la medición de los parámetros para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación para el cuerpo de agua superficial (Quebrada Pitaya).

1. MARCO LEGAL

La determinación del estado de la calidad del agua estará referida a sus características químicas, físicas y biológicas, para un uso específico. De igual manera el concepto de contaminación ha de estar referido a los usos posteriores del agua (beber, nadar, pescar, riego, etc.). El esquema de monitoreo de la calidad del agua está dirigido a confrontar si la calidad del recurso hídrico cumple con las condiciones para los usos requeridos, con la determinación de las tendencias de la calidad del ambiente acuático y como se ve afectado por el vertimiento de contaminantes y nutrientes originados por actividades humanas.

Debido a que el recurso hídrico tiene gran cantidad de usos, el monitoreo debe reflejar las necesidades de información de los diferentes usuarios involucrados, y los administradores del recurso o autoridades similares, deben buscar que se genere información valiosa, como la relación existente entre la calidad y la cantidad de agua en el cuerpo de agua con los requerimientos de los usuarios y el establecimiento de límites autorizados, entre otras, que permita tomar decisiones sobre su manejo.

De acuerdo con lo estipulado por el Decreto 3930 de 2010, se consideran los siguientes posibles usos del agua (artículos del 10 al 18):

Uso para consumo humano y doméstico: empleo del recurso en actividades como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, así como en la satisfacción de necesidades domésticas (individuales o colectivas), como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y en la preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

Uso agrícola: utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

Uso para la preservación de flora y fauna: se refiere al empleo en actividades destinadas a preservar la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.

Uso pecuario*:* hace referencia al consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.

Uso recreativo: uso del agua cuando se produce contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales, y contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

Si se asignan usos múltiples al cuerpo de agua, los criterios de calidad para la destinación del recurso corresponderán a los valores más restrictivos de cada referencia (Decreto 1575 de 2007).

La empresa Gestión & Medioambiente S.A.S con base en su política de calidad y con el propósito de establecer claridad en el procesamiento de datos determina que: en el momento de comparar los resultados con los límites máximos permitidos establecidos por normatividad vigente u otras especificaciones establecidas por el cliente, se hará una declaración de conformidad simple (Guía ILAC G8), teniendo en cuenta la incertidumbre de la medición como límite de tolerancia, de acuerdo con las siguientes reglas:

a. Cuando el resultado de la medición más la incertidumbre no sobrepasa el valor límite, se declara “Conforme” o “Cumple”, en el informe técnico.
b. Cuando el resultado de la medición esté justo en el valor límite, se declara “Conforme” o “Cumple”.
c. Cuando el resultado de la medición menos la incertidumbre sobrepasa el valor límite, se declara “No Conforme” o “No Cumple”, en el informe técnico.
d. Cuando el resultado de la medición está por debajo del límite y al sumarle la incertidumbre, sobrepasa el valor límite, se declara “Conforme” o “Cumple”, en el informe técnico.
e. Cuando el resultado de la medición está por encima del límite y al restarle la incertidumbre, no sobrepasa el valor límite, se declara “No Conforme” o “No Cumple”, en el informe técnico.
f. Cuando el resultado de la medición está por debajo del límite de detección del laboratorio y éste sea menor al límite de la norma, se declara “Conforme” o “Cumple”.

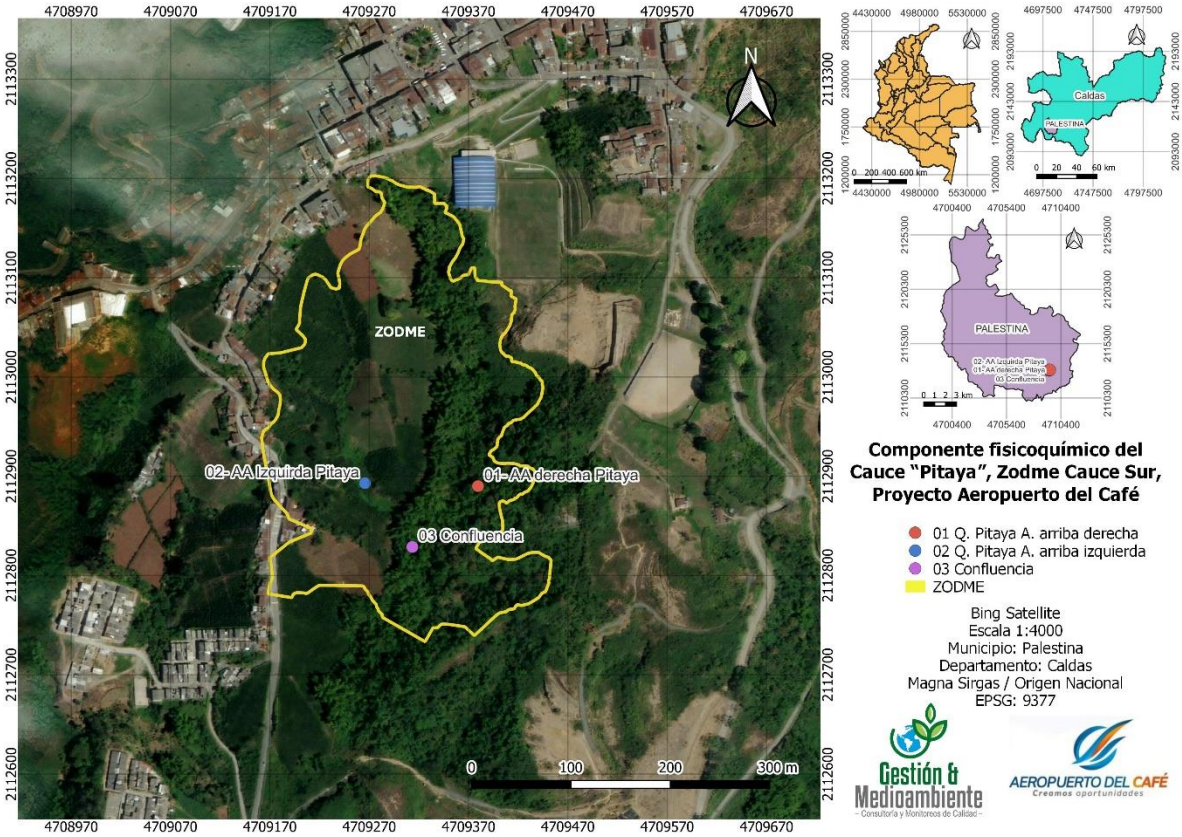
2. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación de los puntos de muestreo

Se ejecutó un plan de muestreo para la evaluación física, química y microbiológica de las fuentes señaladas, según el procedimiento estandarizado PR-207 Muestreo de aguas y aforo de caudal del sistema de gestión de calidad, que tiene como referencia principal el protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM, el cual fue ejecutado de común acuerdo con el cliente y donde se consideraron aspectos como: tipo de muestreo, preparación del material de muestreo según la recolección de todos los grupos de analitos específicamente seleccionados, cantidad de muestras, personal responsable del muestreo, identificación y almacenamiento de muestras, custodia de muestras e ingreso al laboratorio para análisis y control de calidad del muestreo.

La toma de muestras bacteriológicas y fisicoquímicas se realizó en 1 cuerpo de agua superficial, en tres puntos: 2 aguas arriba y 1 aguas abajo de la confluencia (box Colvert). Estos muestreos se realizaron el día 10 de mayo de 2023. En la Figura 1 se muestra la ubicación general de los puntos de muestreo de agua superficial y en la Tabla 1 se describen los puntos.

Figura 1. Localización general de los puntos de muestreo



Fuente: Trabajo de campo Gestión & Medioambiente SAS, 2023

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Cód.	Nombre punto			Coordenadas Geográficas	
				Este	Norte
01	Palestina (Caldas)	Quebrada Pitaya (Zodme Cauce Sur)	Aguas Arriba (afluente 1)	-75°37'18.66"	5° 0'59.16"
02			Aguas Arriba (afluente 2)	-75°37'22.35"	5° 0'59.24"
03			Aguas abajo confluencia	-75°37'20.80"	5° 0'57.15"

Fuente: Trabajo de campo Gestión & Medioambiente SAS, 2023

Tabla 2. Descripción puntos de muestreo

Cuerpo de agua muestreado		Descripción
Nombre	Fotografía	
01 Aguas arriba (afluente 1)		Cuerpo de agua superficial con una profundidad menor a 20 cm y un ancho aproximado de 1 metro. Presenta poca turbulencia, el color es traslúcido y no se percibe olor. Como sustrato presenta arenas, grava y rocas. Con vegetación arbórea y guaduales. Se presenta un periodo de pocas lluvias en las últimas 24 horas, no se evidencian signos de contaminación.
02 Aguas arriba (afluente 2)		Escorrentía o fuente de agua superficial con una profundidad menor a 10 cm y un ancho aproximado de 0,3 metros. Presenta poca turbulencia, el color es traslúcido y no se percibe olor. Como sustrato presenta arenas, grava y rocas. Con vegetación arbórea y cultivos de café. Se presenta un periodo de pocas lluvias en las últimas 24 horas y no se evidencian signos de contaminación.

Cuerpo de agua muestreado		Descripción
Nombre	Fotografía	
02 Aguas abajo Confluencia	 	Cuerpo de agua superficial canalizado mediante un box coulvert, con una profundidad menor a 5 cm y un ancho aproximado de entre 0,5 y 0,7 metros. Presenta poca turbulencia, el color es traslúcido y no se percibe olor. Algunos sustratos presentan coloración naranja que pueden indicar contenido de hierro. Se presenta un periodo de pocas lluvias en las últimas 24 horas y no se evidencian signos de contaminación. En este punto confluyen los afluentes 1 y 2 de la quebrada Pitaya en un box culvert.

Fuente: Trabajo de campo Gestión & Medioambiente SAS, 2023

La finalidad del muestreo es obtener una parte representativa de la quebrada Pitaya, en el municipio de Palestina (Caldas) para identificar las condiciones de calidad del agua y realizar un control a las variaciones que pueda presentar, para lo cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés.

2.2. Método de muestreo

En los formatos de campo (anexo 2) del laboratorio se registraron las características de cada uno de los sitios, tiempo del muestreo, identificación y origen de la muestra, resultados de análisis de campo y condiciones particulares de cada muestreo.

El muestreo de agua superficial se hizo de forma integrada a lo ancho de la fuente; tomando la muestra de agua en balde, se utilizaron los diferentes recipientes de vidrio y plástico, según los grupos de analitos que se analizan, se adicionaron los conservantes correspondientes, se hizo la identificación y el almacenamiento de muestras en neveras de icopor con geles refrigerantes, para garantizar que la temperatura fuera cercana a 4°C para su conservación hasta llegar al laboratorio que realiza los análisis.

Para el muestreo puntual de grasas y aceites, alcalinidad, hidrocarburos y ortofosfatos, la muestra se tomó directamente en la fuente, retirado de las orillas, y llenando el recipiente con el volumen requerido. Para la medición de parámetros *in situ* (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH), se sumerge directamente la sonda multiparamétrica en el cuerpo de agua a una profundidad que cubra el sensor. Se usaron los conos Imhoff para los sólidos sedimentables durante un periodo de tiempo de una hora.

Fotografía 1. Actividades de muestreo

Análisis in situ y toma de muestra



Preservación y manejo de muestras



Fuente: Trabajo de campo Gestión & Medioambiente SAS, 2023

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Resultados agua superficial

Se presentan los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del agua en los puntos de muestreo descritos anteriormente. Los límites de comparación que se usaron corresponden a los establecidos en las disposiciones del Decreto único 1076/2015 Disposiciones transitorias (artículos 2.2.3.3.9.2 a 2.2.3.3.9.10) que recopilan los artículos 37 al 45 del Decreto 1594 de 1984, para consumo humano y doméstico, uso agrícola y pecuario, preservación de flora y fauna y recreación. Cuando no se establece el límite en el Decreto 1076/2015, se tienen en cuenta los criterios establecidos en la Resolución 2115 de 2007 para tener una referencia en las fuentes de agua que se puedan usar para consumo humano directo.

Los resultados del análisis fisicoquímico y bacteriológico de las muestras de agua superficial se presentan en la Tabla 3, que incluyen los parámetros medidos *in situ* y los obtenidos por el laboratorios aliado y acreditado ante el IDEAM (CHEMILAB Resolución 2234 de 2022, anexo 5). En el anexo 3, se presentan los reportes del laboratorio, con los métodos analíticos usados y los límites de detección de los métodos que aplican, respectivamente.

Tabla 3. Resultados fisicoquímicos aguas superficiales – Quebrada Pitaya

Parámetro	Unidades	Quebrada Pitaya			Resolución 2115/2007	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.3.						
		Aguas arriba		Aguas abajo		9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.10
		Afluente 1	Afluente 2	Confluencia		Consumo humano		Uso agrícola	Pecuario	Recreación contacto		Flora y fauna
Acidez	mg $CaCO_3$/l	<5	<5	<5	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Alcalinidad	mg $CaCO_3$/l	68,1	33,1	35,70	200	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
DBO_5	mg O_2/l	<5	<5	<5	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
DQO	mg O_2/l	15	19	20	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Dureza total	mg $CaCO_3$/l	7,81	<5,0	<5,0	300	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Dureza cálcica	mg $CaCO_3$/l	6,52	<5,0	<5,0	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Fenoles	mg fenol/l	<0,100	<0,100	<0,100	NE	0,002	0,002	NE	NE	0,002	NE	1
Fósforo total	mg P/l	<0,07	<0,07	<0,07	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Grasas y aceites	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	Sin película visible			NE	NE	Sin película visible		0,01 CL
Nitrógeno total-Kjeldahl	mg N/L	5,4	<3,0	<3,0	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Sólidos totales	mg/l	135,1	60,3	85	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Sólidos disueltos totales	mg/l	78,1	24,3	39	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Sólidos suspendidos totales	mg/l	57	36	46	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Sólidos sedimentables	mL/L - h	<0,1	<0,1	<0,1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Color real	UPC	11,4	12,9	10,5	15	75	20	NE	NE	NE	NE	NE
Turbiedad	NTU	51,6	30,20	42,30	2	NE	190	NE	NE	NE	NE	NE
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	562	206	296	NE	2000	NE	1000	NE	200	NE	NE
Coliformes totales	NMP/100 ml	1856	2450	4611	0 UFC	20000	1000	5000	NE	1000	5000	NE
Arsénico	mg As/L	<0,00250	<0,00250	<0,00250	0,01	0,05	0,05	0,1	0,2	NE	NE	0,1
Bario	mg Ba/l	<0,50	<0,50	<0,50	0,7	1,0	1,0	NE	NE	NE	NE	0,1 CL
Cadmio	mg Cd/l	<0,0100	<0,0100	<0,0100	0,003	0,01	0,01	0,01	0,05	NE	NE	0,01 CL
Cinc	mg Zn/L	<0,050	<0,050	<0,050	3	15	15	2	25	NE	NE	0,01 CL
Cobre	mg Cu/L	<0,100	<0,100	<0,100	1	1	1	0,2	0,5	NE	NE	0,1 CL
Cromo total	mg Cr/l	<0,100	<0,100	<0,100	0,05	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Mercurio	mg Hg/L	<0,00100	<0,00100	<0,00100	0,001	0,002	0,002	NE	0,01	NE	NE	0,01 CL

Parámetro	Unidades	Quebrada Pitaya			Resolución 2115/2007	Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.3.						
		Aguas arriba		Aguas abajo		9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.10
		Afluente 1	Afluente 2	Confluencia		Consumo humano		Uso agrícola	Pecuario	Recreación contacto		Flora y fauna
Níquel	mg Ni/L	<0,200	<0,200	<0,200	0,02	NE	NE	0,2	NE	NE	NE	0,01 CL
Plata	mg Ag/ l	<0,0500	<0,0500	<0,0500	NE	0,05	0,05	NE	NE	NE	NE	0,01 CL
Plomo	mg Pb/l	<0,100	<0,100	<0,100	0,01	0,05	0,05	5	0,1	NE	NE	0,01 CL
Selenio	mg Se/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,01	0,01	0,01	0,02	NE	NE	NE	0,01 CL
Conductividad	uS/cm	122	38	61	1000	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Oxígeno disuelto	mg/l	7,13	5,25	5,67	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	4
Saturación de oxígeno	%	93,1	68,1	74,3	NE	NE	NE	NE	NE	70	70	NE
pH	Unidades	6,92	6,87	7,24	6,5 al 9,0	5.0 al 9.0	6,5 a 8,5	4,5 al 9,0	NE	5.0 al 9.0	5.0 al 9.0	4,5 al 9,0
Temperatura	°C	20,03	19,82	20,4	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Fuente: G&MA, 2023*Decreto 1076/2015 (Art. 2.2.3.3.9.3 y 9.4 consumo humano “T. convencional” y “desinfección”; 9.5 uso agrícola; 9.6 uso pecuario;.9.7 y 9.8 Recreación contacto directo y secundario; 9.10 preservación de flora y fauna).

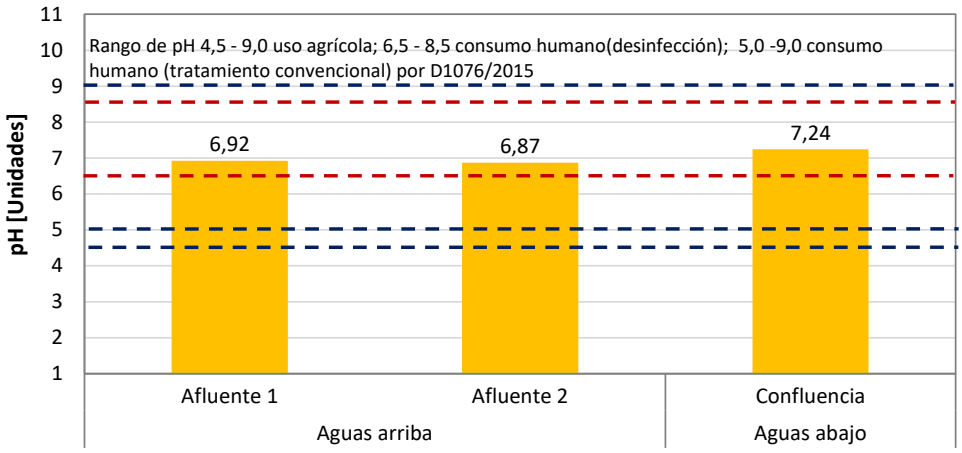
NE: No establece la norma; NA: no aplica; ND no disponible o no se realiza

3.2. Análisis de resultados

pH

El pH es una propiedad química importante del agua para el desarrollo de la vida acuática, debido a que el rango de pH en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido y si es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados y/o inhibidos con consecuencias adversas. Se debe al equilibrio carbónico (disolución de carbonatos y dióxido de carbono, insolubilización de bicarbonatos) y a actividades vitales de los microorganismos acuáticos como la fotosíntesis y la respiración, lo que altera drásticamente el pH de cualquier cuerpo de agua, así como el aporte de ácidos naturalmente que la pueden acidificar, como el sulfuro de hidrógeno, que se forma en aguas con fuerte ambiente reductor, poco oxigenadas y además generan malos olores.

Gráfico 1. pH en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Los valores medidos de pH indican una tendencia neutra, con resultados de 6,92 unidades, 6,87 unidades y 7,24 unidades en el afluente 1, el afluente 2 aguas arriba y aguas abajo en la quebrada Pitaya respectivamente (Gráfico 1). Los valores reportados de pH se encentran dentro de los permisibles para consumo humano con tratamiento previo, para uso agrícola, recreación con contacto primario y secundario, para uso en preservación de flora y fauna establecidos en el decreto 1076/2015, y para consumo directo (Resolución 2115/2007).

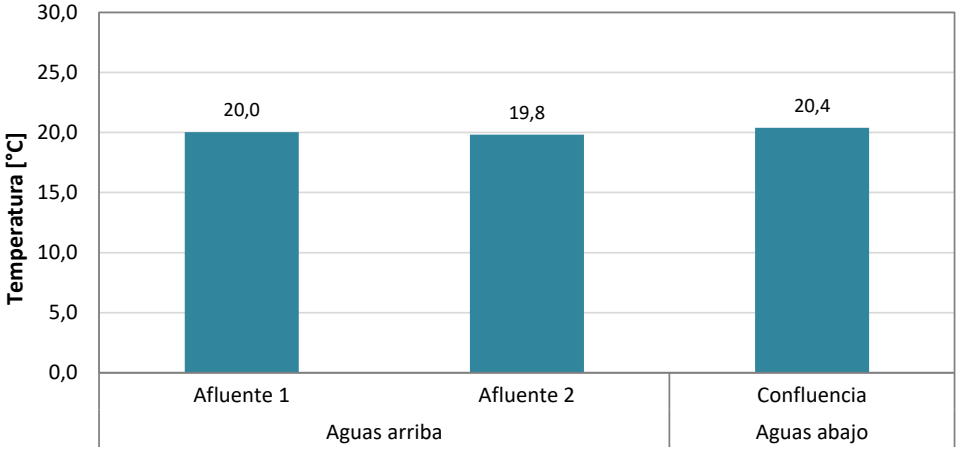
Temperatura

La temperatura es un factor que indica la existencia de un gradiente de energía que provoca transferencia de calor. Esta variable cumple un papel fundamental en todos los procesos biológicos y en el comportamiento de otras variables como pH, conductividad, oxígeno disuelto y solubilidad, entre otras y que afectan la diversidad, distribución, y grado de actividad metabólica de un ecosistema acuático y que depende en su momento de la profundidad y de la hora en la que sea tomada la muestra. El aumento de temperatura incrementa la velocidad de las reacciones del metabolismo que acelera la putrefacción y la concentración de sales, también reduce la solubilidad de gases (oxígeno).

La temperatura presenta un comportamiento similar en todos los puntos de muestreo, con valores alrededor de los 20,0 °C, lo cual permite el desarrollo adecuado de las comunidades biológicas. La temperatura se encuentra dentro de lo esperado teniendo en cuenta la temperatura ambiental y la hora del día a la cual fue

tomada cada muestra. Para este parámetro no se tiene establecido un límite máximo admisible dentro de la normatividad para los diferentes usos del agua superficial.

Gráfico 2. Temperatura en agua superficial – Quebrada Pitaya

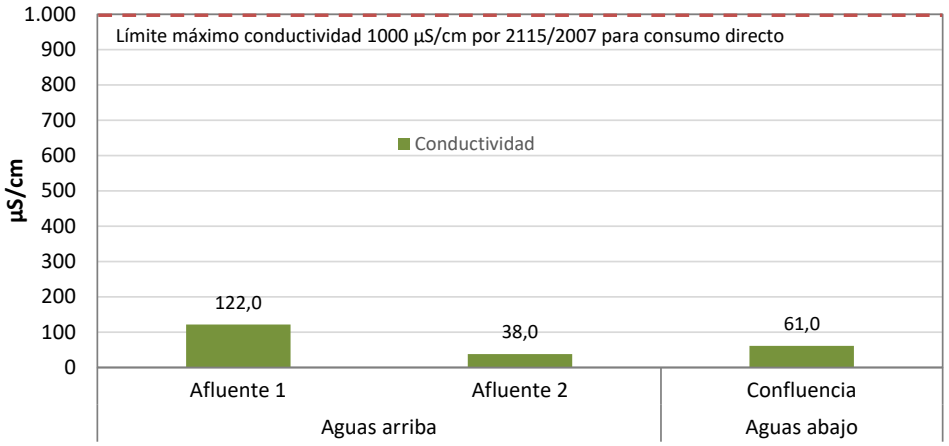


Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Conductividad

La conductividad es producida por electrolitos de sales disueltas en el agua a una temperatura determinada, por lo tanto, está muy relacionada con los sólidos disueltos totales (sustancias o minerales disueltos) en las aguas naturales. La conductividad del agua natural es mayor y proporcional a la cantidad y características de los electrolitos disueltos que contiene. Para las aguas continentales naturales colombianas se tienen tres rangos, basados en la abundancia más no a la diversidad de especies í: muy pobres (<50 µS/cm), medio (50-100 µS/cm) y alto (>100 µS/cm).

Gráfico 3. Conductividad en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

En el Gráfico 3 se observan los resultados medidos de la conductividad en los puntos muestreados de la quebrada Pitaya, con valores de 122,0 µS/cm aguas arriba en el afluente 1, éste es el valor de conductividad más alto, lo que indica mayor presencia de minerales disueltos en el agua en comparación con los otros dos puntos muestreados; 36,0 µS/cm aguas arriba en el afluente 2 y de 61,0 µS/cm aguas abajo de la confluencia. Los resultados de conductividad en todos los puntos muestreados exhiben valores se encuentran por debajo del límite máximo permisible por la Resolución 2115 de 2007 que exige que la conductividad sea menor a 1000 µS/cm, para consumo directo. El decreto único reglamentario del sector de medio ambiente y desarrollo sostenible no especifica un valor para los diferentes usos del agua.

Oxígeno disuelto

Se conoce como Oxígeno Disuelto (OD) a la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelta en el agua que proviene del intercambio gaseoso con el aire, por difusión o mezcla turbulenta de las corrientes hídricas (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que disminuye el OD); es uno de los indicadores más importantes porque permite definir si un cuerpo de agua tiene la capacidad para sustentar la vida acuática además de servir como indicador de contaminación del agua (Tabla 4). Las concentraciones de OD varían de acuerdo con la fotosíntesis y la temperatura, lo que conlleva a que durante el día las concentraciones de OD sean mayores y en la noche bajas. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas, en días de sol, pueden presentar sobresaturación de OD.

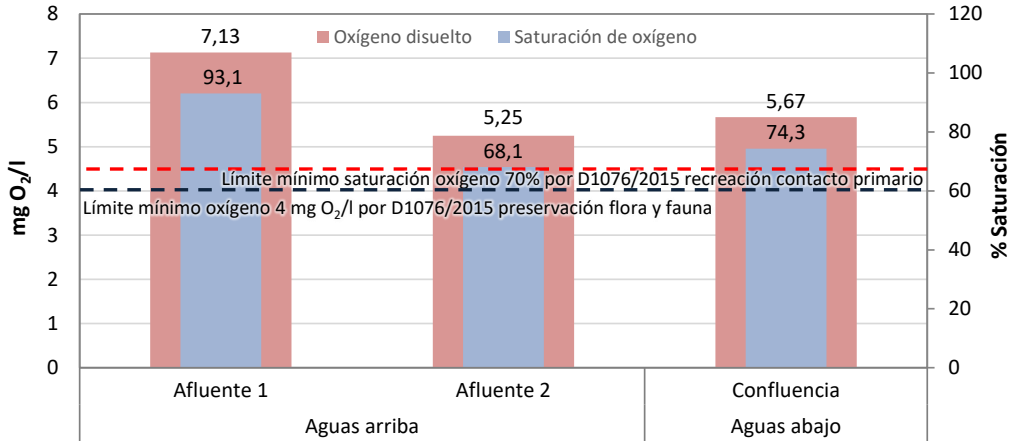
Tabla 4. Niveles de OD y posibles consecuencias

Rangos OD (mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Guillermo Goyenola, Guía para la utilización de las Valijas Viajeras, RED MAPSA, 2007

Así mismo, este parámetro depende de la temperatura: aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno, por esto, una descarga de agua caliente puede significar una menor concentración de OD llegando a niveles por debajo del límite necesario para algunas formas de vida. Los animales acuáticos suelen ser más vulnerables a bajas concentraciones de OD por la mañana, en días cálidos de verano, porque las plantas acuáticas no producen oxígeno desde el atardecer anterior. El Decreto 1076/2015 especifica que se tiene como límite mínimo de oxígeno disuelto 4 mg O_2/l para aguas dulces cálidas para preservación de flora y fauna y para saturación del 70% para uso recreativo.

Gráfico 4. Oxígeno disuelto en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

La concentración de oxígeno presenta valores de 7,13 mg O_2/l aguas arriba afluente 1, 5,25 mg O_2/l aguas arriba afluente 2 y 5,67 mg O_2/l aguas abajo confluencia, lo que indica que la quebrada presenta una condición aceptable, ya que la cantidad de oxígeno disuelto es adecuada para la vida y el desarrollo de organismos acuáticos; estos valores, además, muestran cumplimiento con la normatividad ambiental para uso en preservación de flora y fauna. En el caso de la saturación de oxígeno, que tiene establecido un límite normativo de 70% en el Decreto 1076/2015 para recreación con contacto primario, es posible afirmar que el afluente 2 aguas arriba en la quebrada Pitaya no cumple, ya que presenta un valor de 68,1% y es debido probablemente a que fluye entre mucha vegetación y no presenta turbulencia. En el afluente 1 se detecta la mayor cantidad de oxígeno disuelto, indicando mayor interacción del agua con el aire. El punto aguas abajo está dentro de una estructura cubierta que no permite la interacción con el aire, aunque sí presenta un valor aceptable.

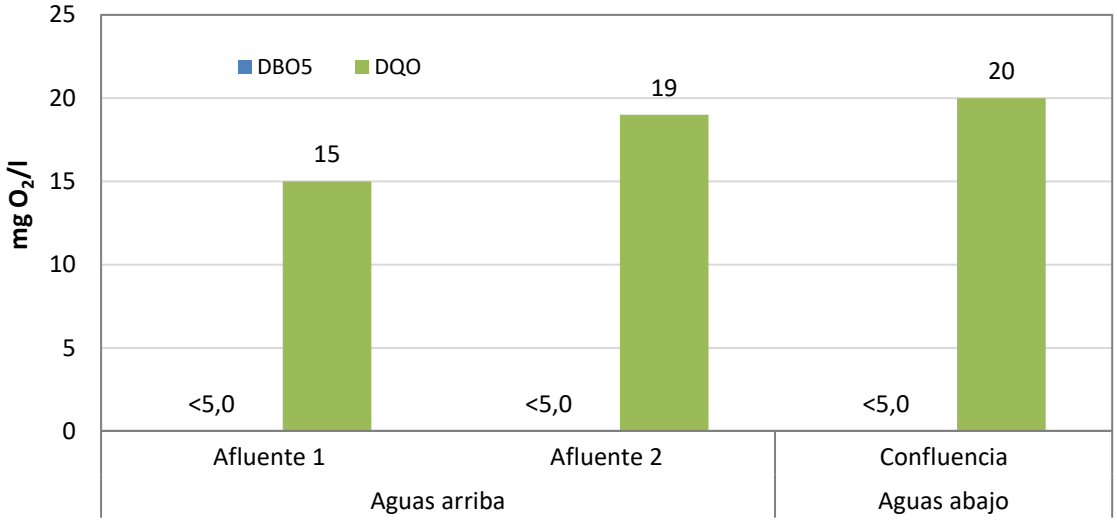
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DBO_5 es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Este parámetro se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción; proviene principalmente de vertimientos domésticos (hogares) y de actividades industriales, como la producción de alimentos y bebidas, entre otros.

Un incremento de la DBO_5 conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), lo que origina efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego agrícola se ha realizado con agua contaminada. Algunos valores de DBO_5 que sirven como indicadores de calidad son; excelente (no contaminada), ≤3 mg/l; buena calidad (bajo contenido de materia orgánica biodegradable, +3 a 6 mg/l; aceptable (indicios de contaminación), +6 a 30 mg/l; contaminada (descargas de AR sin tratar), +30 a 120 mg/l, y fuertemente contaminada, >120 mg/l. Las aguas naturales generalmente tienen valores muy bajos de DBO_5 (Indicadores de calidad, Comisión Nacional del Agua, de México).

La DQO está definida como una estimación del total de materia oxidable, biodegradable y no biodegradable, que se encuentra en un cuerpo de agua; es una medida que abarca no solo el valor total máximo de DBO sino también otras necesidades de oxígeno del agua; en aguas poco contaminadas deberá ser inferior a 50 ppm. Algunos valores indicativos de la calidad del agua son: de calidad excelente es de <10 mg/l; calidad buena, 10 a ≤20 mg O_2/l; aceptable, 20 a ≤40 mg/l; contaminada, 40 a ≤200 mg O_2/l, y fuertemente contaminada >200 mg O_2/l (Indicadores de calidad, Comisión Nacional del Agua, de México).

Gráfico 5. DBO y DQO en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Las concentraciones en todos los puntos de DBO_5 se encuentran por debajo del límite de detección (<5 mg O_2/l) del método de análisis. En el caso se DQO se reportan valores bajos de 15 mg O_2/l en afluente 1 hasta 20 mg O_2/l en el punto aguas abajo en la confluencia, que se relacionan con agua de calidad buena (gráfico 5). Para estos parámetros no se establece un límite normativo en el Decreto 1076/2015 para los diferentes usos.

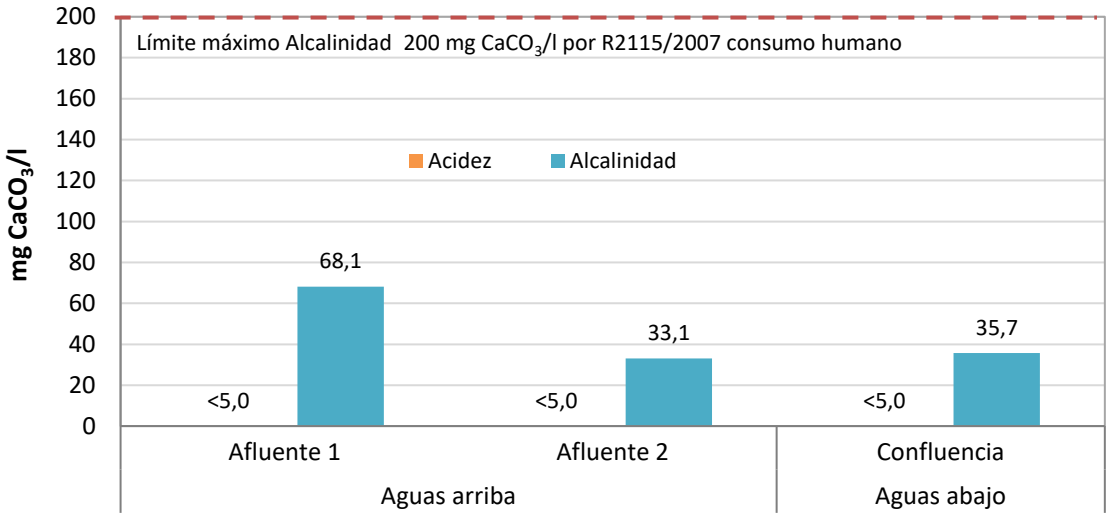
Alcalinidad total

Es la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato (CO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-), los cuales son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. La determinación de la acidez es una propiedad adicional del agua y puede ser interpretada en términos de sustancias específicas sólo cuando la composición química de la muestra es conocida y tiene importancia debido a las características corrosivas de las aguas ácidas y su tratamiento, además también interfiere en diferentes procesos biológicos.

La causa más común de acidez en aguas es el dióxido de carbono (CO_2) el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución de CO_2 atmosférico. En las aguas superficiales limpias la acidez es menor a 50 mg/l $CaCO_3$; entre 50 y 100 mg/l $CaCO_3$ para aguas superficiales limpias o ligeramente contaminadas, y mayor a 100 mg/l $CaCO_3$ en aguas superficiales contaminadas o aguas residuales (Standard Methods, Ed. 23). La acidez en los puntos monitoreados desciende a lo largo del cauce, con valores desde 13,40 mg $CaCO_3$/l en P11 hasta 5,99 mg $CaCO_3$/l en P13 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), indicando aguas superficiales limpias bajo este parámetro.

La alcalinidad del agua se debe principalmente a sales de ácidos débiles y bases fuertes que actúan como amortiguadoras para resistir la caída de pH resultante a la adición de ácidos, está directamente relacionada con la cantidad de iones carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua, los cuales son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua. Internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de $CaCO_3$/l para mantener la vida acuática. Cuando tiene alcalinidades inferiores se vuelve muy sensible a la contaminación, ya que no posee la capacidad de oponerse a las modificaciones que generan disminuciones de pH (acidificación). Para agua de consumo directo se admite una alcalinidad máxima de 200 mg CaCO3/l (R2115/2007).

Gráfico 6. Acidez y alcalinidad en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

La alcalinidad medida en las aguas, muestra valores desde 68,1 mg $CaCO_3$/l en el punto aguas arriba afluente 1, 33,1 mg $CaCO_3$/l en el afluente 2 y 35,7 mg $CaCO_3$/l en el punto aguas abajo (gráfico 6), lo que demuestra poca contaminación por carbonatos y bicarbonatos, además se puede conservar la vida acuática con estos valores. La acidez está por debajo de 5,0 mg $CaCO_3$/l. En el decreto 1076/2015 no se tiene establecido un límite permisible para los diferentes usos del agua superficial.

Dureza

En general, la dureza se origina en zonas donde la capa superficial del suelo contiene formaciones de piedra caliza y es gruesa. Aguas duras son aguas satisfactorias para el consumo humano (por simple desinfección) pero para fines de limpieza, a mayor dureza, se requiere un mayor uso de jabón (mayor costo).

La dureza de las aguas varía considerablemente en los diferentes sitios. En general, las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas. La dureza de las aguas refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto.

Teniendo en cuenta que la dureza es un factor importante para clasificar la calidad del agua y es indeseable dependiendo el uso para el que esté destinada, debido a que deposita incrustaciones en las superficies con

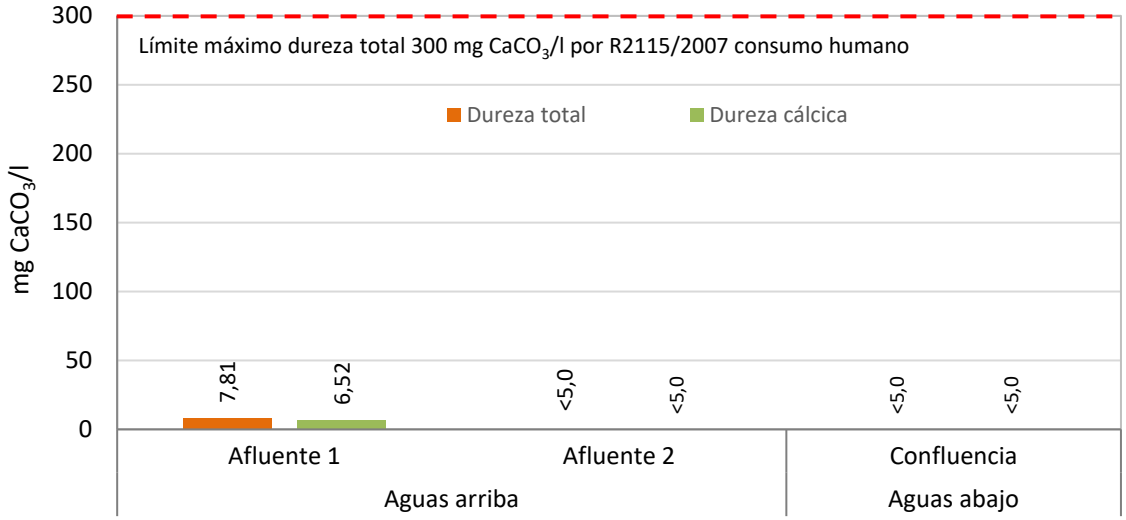
las que tiene contacto, y su valor esta dado principalmente por las concentraciones de calcio y magnesio, se clasifican en blandas y duras según la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de la dureza del agua

Dureza (mg $CaCO_3$/l)	Tipos de Agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

Fuente: Organización Mundial para la Salud

Gráfico 7. Dureza en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

De acuerdo con lo reportado en los puntos muestreados para la quebrada California los valores de dureza total estuvieron en su mayoría por debajo de 5,0 mg $CaCO_3$/l, y el punto afluente 1 con un valor de 7,81 mg $CaCO_3$/l (gráfico 7), por lo que se consideran aguas blandas, con un aporte mayor de dureza cálcica que magnésica. No se establece un límite máximo permisible en el decreto 1076/2015 para este parámetro.

Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos que están constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal; que poseen características químicas como: baja densidad, baja o nula biodegradabilidad y poca solubilidad en agua, por lo cual es necesario controlarlas para evitar que se acumulen el agua y formen natas en la superficie del líquido; interfieran con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera (oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO_2 hacia la atmósfera); en casos extremos pueden llegar a producir acidificación del agua acompañado de bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites provienen de usos domésticos, talleres automotrices, industria del petróleo, entre otras.

Según lo reportado por el laboratorio de análisis el contenido de grasas y aceites aumentó en ambos puntos de monitoreo de la quebrada La Reseca, siendo levemente más alta la concentración en el punto aguas arriba de 0,757 mg/l que el punto aguas debajo de 0,728 mg/l. Para este parámetro no se tiene establecido un límite máximo permisible en la normatividad ambiental, por lo que no se indica cumplimiento para los diferentes usos.

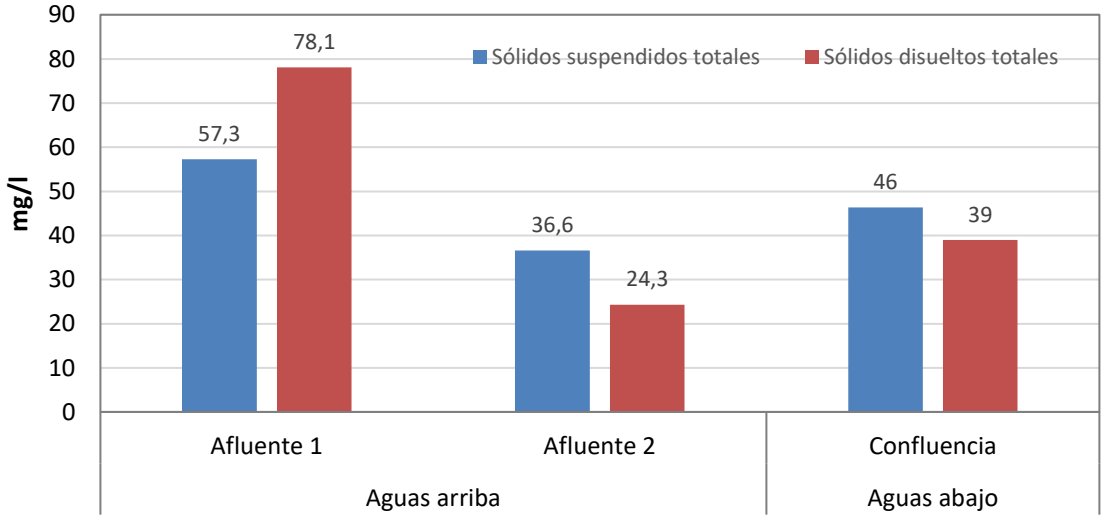
En los puntos muestreados se reportaron concentraciones de grasas por debajo del límite de detección del método analítico de 0,2 mg/l. No se presenta película visible, y cumple con lo establecido en el D1076/2015..

Sólidos suspendidos, totales y sedimentables

Los sólidos totales son la suma de sólidos suspendidos y disueltos. El aporte de sólidos al agua se encuentra relacionado con consecuencias ecológicas, incremento de la turbidez y del color, presencia de materia orgánica e inorgánica; además, adsorben nutrientes, contaminantes bioacumulables, persistentes, y tóxicos que pueden ingresar en la cadena trófica y disminuyen la aptitud para usos como el consumo humano, el riego agrícola, uso pecuario, recreación, y la preservación de la fauna y la flora.

Los sólidos suspendidos son todas aquellas sustancias en estado sólido, diferentes del agua que tienen un tamaño mayor a 0,2 µm y se encuentran suspendidas en ella; están relacionados con el aporte de sólidos a las vertientes de corrientes superficiales, con origen natural (arrastre debido a la precipitación), y antrópico (erosión del suelo por labores agrícolas de labranza y arado, remoción de cobertura vegetal con fines de urbanización y la realización de obras de infraestructura). Los sólidos suspendidos se componen de material orgánico como algas o microorganismos principalmente e inorgánico (arcillas, silicatos, feldespatos, etc.); valores por encima de 340 mg/l son calificados con muy alta contaminación por sólidos suspendidos (Índices de calidad, IDEAM, 2007).

Gráfico 8. Sólidos en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Los sólidos sedimentables presentaron en los tres puntos valores inferiores a 0,1 ml/l-h. Mientras que los sólidos suspendidos totales están entre 36,6 mg/l Afluente 2, y 57,3 mg/l aguas arriba afluente 1 y aguas abajo con 46 mg/l, respectivamente. Cabe aclarar que para los sólidos no se tienen límites para agua superficial en la normatividad vigente.

Turbiedad y color

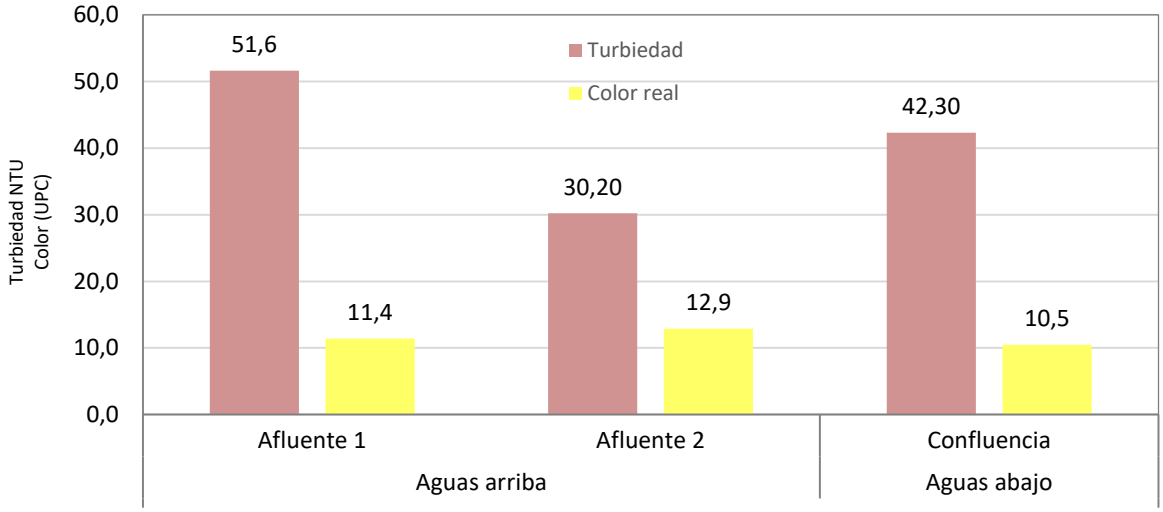
La turbidez, junto con el color, olor y sabor, son parámetros que juntos le dan calidad al agua refiriéndose a sus características estéticas que son muy importantes para el consumidor o usuario. La turbiedad es el grado de opacidad producido en el agua debido a la presencia de material particulado en suspensión y coloidal, como material orgánico e inorgánico finamente dividido plancton, algunos microorganismos, arcilla y arena. En general. La turbiedad es variable en las aguas ´superficiales y es producida por material particulado en suspensión y coloidal.

El Decreto 1076/2015 establece el límite máximo permisible de turbidez en 10 UJT unidades de turbidez Jackson (JTU) basadas en el antiguo método Jackson que equivalen a 190 NTU para el agua cruda. Los valores

están muy relacionados con sólidos suspendidos totales y que están por debajo de la norma con valores entre 30,2 y 51,6 NTU (gráfico 9).

El color en las aguas superficiales resulta principalmente de la presencia de materia orgánica de tipo natural como materia húmica acuática, materiales disueltos y suspendidos dentro del agua. En la medición del color tanto del agua como las aguas residuales, existe una distinción entre el color aparente y el color real. El color aparente es el color recibido de la muestra, dicho color incluye tanto los materiales suspendidos como los disueltos dentro del agua. El color verdadero es el color de la muestra luego de que ha sido filtrada y los materiales suspendidos han sido removidos, tales como algas y demás partículas que pueden causar turbidez.

Gráfico 9. Turbiedad y color en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Las fuentes monitoreadas tienen color real entre 10,5 y 12,9 UPC que cumple con el límite máximo establecido de 15 UPC dado en la Resolución 2115 de 2007 para el uso doméstico.

Compuestos de fósforo

Estos macronutrientes integrados principalmente por el elemento fósforo son encontrados usualmente en los sistemas acuáticos; son de suma importancia en las plantas acuáticas y en la productividad primaria del fitoplancton; no obstante, cuando se encuentran en gran abundancia, es indicativo de condiciones eutróficas.

El fosforo total en el agua se puede dividir en: orgánico se deriva principalmente de la descomposición de la materia orgánica presente en aguas residuales provenientes del sector doméstico, agrícola e industria de alimentos por lo que los fosfatos forman una parte importante de la carga en las aguas residuales; y el inorgánico, proviene de algunos procesos de lavado con detergente, tratamientos de aguas y de aguas residuales provenientes de procesos agrícolas.

Se debe resaltar que el Decreto 1076 de 2015 no tiene establecido un límite máximo permisible para compuestos de fósforo. Para los puntos de aguas evaluados se encontraron por debajo del límite de detección del método de 0,07 mg P/l.

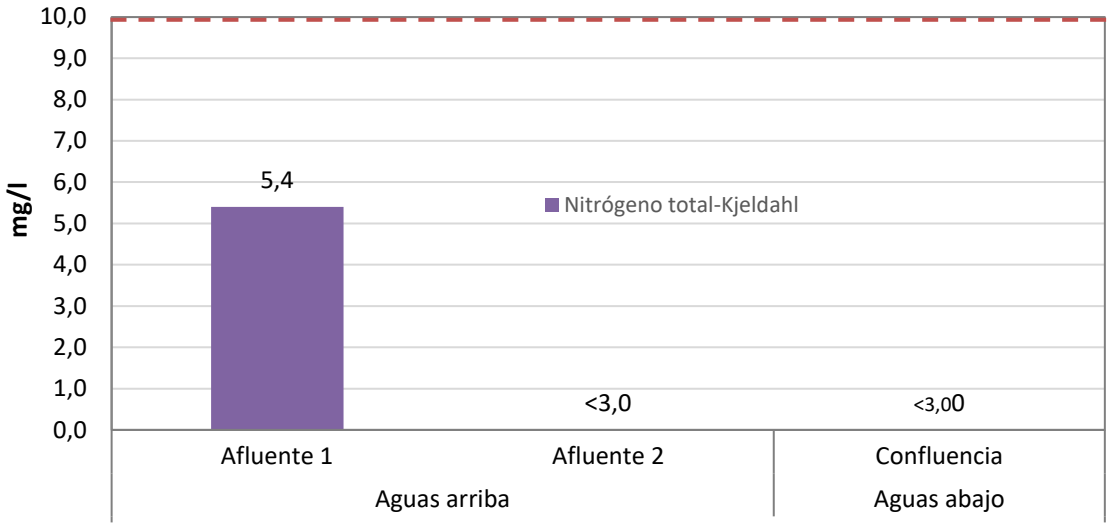
Compuestos de nitrógeno

El nitrógeno proviene de la descomposición de animales, vegetales y heces que cuando llegan al agua se transforman rápidamente en nitrógeno amoniacal, pasando después a nitritos y finalmente a nitratos. Esas dos últimas transformaciones suceden aguas con altas concentraciones de oxígeno disuelto. El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato.

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua; proviene de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas superficiales normalmente no deben contener amoniaco, de lo contrario, la presencia de este compuesto se considera como una prueba química de contaminación reciente con materia orgánica en descomposición y en un medio pobre de oxígeno. Su fuente es de aguas residuales industriales y agrícolas (basuras, excrementos, fertilizantes), descomposición de productos nitrogenados orgánicos en el suelo y putrefacción de plantas.

Los nitratos presentes en el agua se dan como consecuencia de una nitrificación del nitrógeno orgánico o proceden de la disolución de los terrenos irrigados por el agua. Como contaminantes debido a actividades humanas provienen de contaminación orgánica o por abonos químicos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) incluye a los nitratos entre los componentes del agua que pueden ser nocivos para la salud, debido a que por acción bacteriana se reducen a nitritos en el estómago, pasan a la sangre y son responsables de la formación de metahemoglobina en sangre, que disminuye la capacidad de oxigenación.

Gráfico 10. Compuestos de nitrógeno en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

Para todas las muestras, el nitrógeno total está por debajo de 3 mg N/l, en el afluente 2 y en la confluencia aguas abajo, el punto aguas arriba Afluente 1 presenta un valor de 5,4 (gráfico 10). Para este parámetro no se establece norma en el D1076/2015

Metales

Los metales generalmente se encuentran en concentraciones consideradas trazas en los sistemas naturales y algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas. No obstante, varios de estos metales como los que poseen un peso molecular muy alto como el plomo, cadmio, cromo, etc., cuando sus concentraciones son muy elevadas pueden tener efectos muy nocivos para los organismos. El incremento de concentración en las aguas de estos compuestos se debe principalmente a contaminación puntual de origen industrial o minero. Pueden ser también una fuente de contaminación los lixiviados de vertederos o vertidos de aguas residuales.

Las concentraciones de metales pesados analizados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis y por ende de las normas establecidas para cada uso

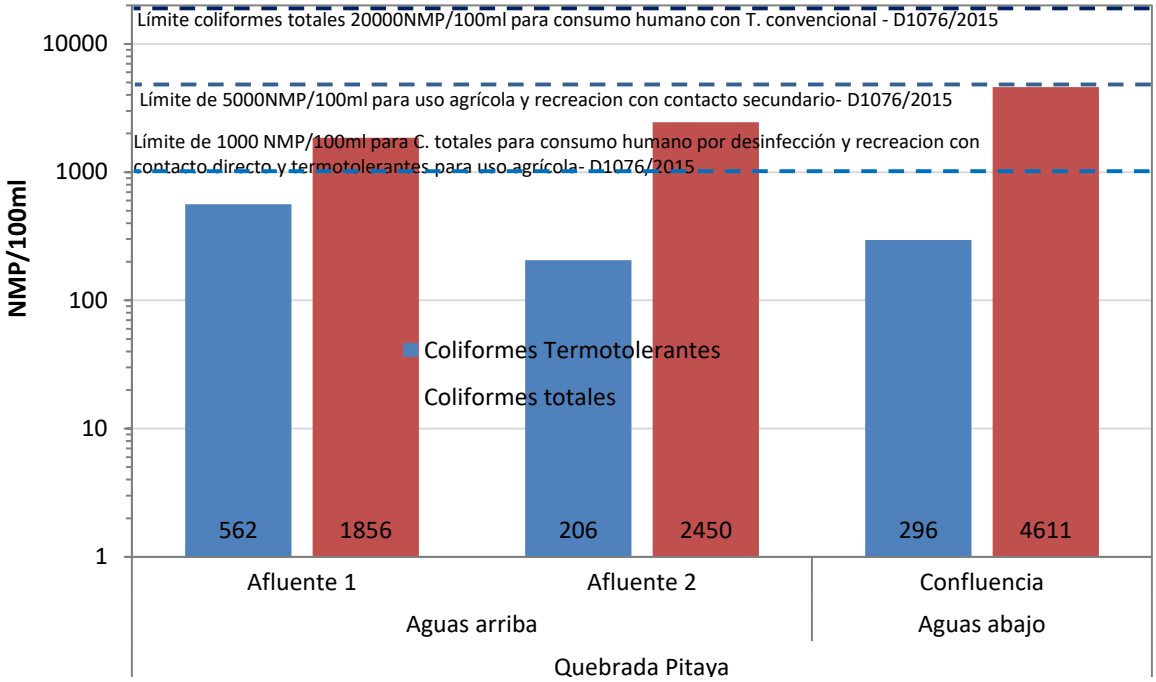
Coliformes totales y termotolerantes

Los coliformes son un grupo de bacterias que por sí mismos no constituyen organismos patógenos, pero sí son susceptibles de vigilancia dado que se asocian a menudo con organismos que lo son. No todos los coliformes son de origen fecal, también se encuentran distribuidos en el suelo, semillas y vegetales, por lo que

fue necesario desarrollar pruebas para poderlos diferenciar y emplearlos como indicadores de contaminación; por lo que se diferencian: los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo, los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal, y E. coli indica que la contaminación por heces es reciente.

La presencia de bacterias coliformes totales en el agua no garantiza que cause una enfermedad, pero indica que existe una vía de contaminación entre una fuente de bacterias (agua superficial, desechos de animales, etc.) y el suministro de agua. Las bacterias que causan enfermedades pueden usar esta vía para ingresar al suministro de agua, como algunas cepas de Escherichia coli.

Gráfico 11. Coliformes totales y termotolerantes en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente SAS, mayo 2023

3.3 Índices de Calidad del Agua (ICA) y de Contaminación (ICO)

La valoración de la calidad del agua se entiende como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica, en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. Para hacer más simple la interpretación de los datos de su monitoreo, es cada vez más frecuente el uso de índices de calidad de agua, los cuales son herramientas prácticas que reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión sencilla dentro de un marco unificado. Los ICA tienen como objetivo la estimación de un número generalmente entre 0 y 1, que defina el grado de calidad de una determinada fuente hídrica. Este índice pretende reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas. Se recomienda seleccionar las variables de las 5 categorías más comúnmente reconocidas: (1) nivel de oxígeno, (2) eutrofización, (3) aspectos de salud, (4) características físicas y (5) sustancias disueltas.

Se presenta una aproximación a la caracterización de las aguas superficiales en el área de influencia de la PTAR Los Cámbulos, para lo cual se calcularon el Índice de Calidad del Agua (ICA o WQI_{NSF}) propuesto por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (Canter, 1998), que lleva los distintos parámetros a una misma escala mediante diagramas y sumados aritméticamente mediante la asignación de pesos específico, y los índices de contaminación (ICO) propuestos por Ramírez et al (1997), los cuales se basan en técnicas de agregación de variables que explican diferentes mecanismos de contaminación y su escalamiento se hace a partir de ecuaciones que incluyen un amplio rango de variación de los parámetros en los que se basa. El

desagregar los tipos de contaminación presenta una gran ventaja porque permite una mejor visualización de los diferentes problemas ambientales en un sistema hídrico.

Índice de Calidad de Agua (ICA)

Este índice es muy útil para establecer la calidad del agua de las corrientes hídricas, ya que identifica de manera cualitativa y cuantitativa, su potencialidad para usos agropecuarios y para consumo. El Índice de Calidad del Agua (ICA o WQI) (NSF) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0%, en tanto que en el agua en excelentes condiciones tendrá un valor del índice cercano a 100%. En la Tabla 6 se muestra la clasificación del agua de acuerdo con el valor de ICA estimado y la ecuación utilizada para el cálculo de cada uno de los parámetros.

Tabla 6. Ecuación y escala de clasificación del agua, según intervalos del ICA

Ecuación	Intervalos de calidad	Calidad del agua	
$WQI = \sum_{i=1}^{9} W_i \times Q_i$	91-100	Excelente	No requiere purificación
	71-90	Buena	Aceptable, requiere una purificación menor
	51-70	Media	Levemente contaminada, dudoso su consumo sin purificación
	26-50	Mala	Contaminada, es necesario purificarla
	0-25	Muy malo	Muy contaminada, inaceptable para consumo

Fuente: Jiménez y Vélez, 2006

Su determinación requiere la medición de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (OD), coliformes fecales (CF), termotolerantes o E. Coli, pH, cambio de temperatura del punto muestreado (respecto a otro localizado aguas arriba), fosfatos (P), nitratos (NH_3), turbidez, DBO_5 o DQO y sólidos disueltos totales, asignándole un factor de ponderación (W_i) a cada parámetro según el grado de importancia y para cada uno se estima el factor de escala Q_i o subíndice de cada parámetro por medio de diagramas construidos para cada variable que permite llevarlas a una misma escala antes de ser agregadas en un solo valor. En la Tabla 7 se presentan los valores de WQI o ICA calculados para cada fuente hídrica.

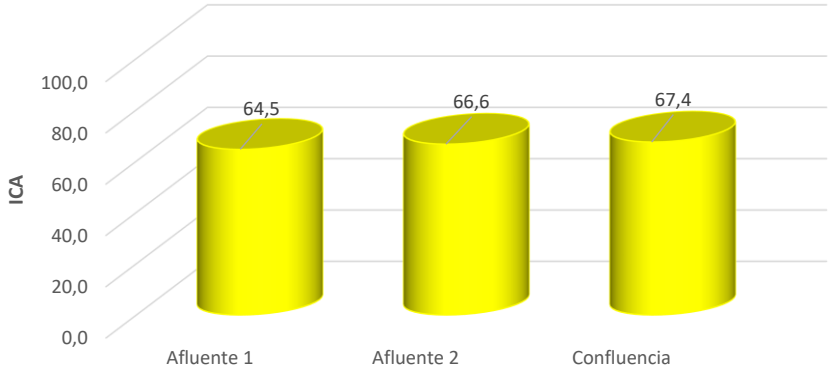
Tabla 7. Índices de Calidad de la quebrada Pitaya

Parámetro	W_i	Quebrada Pitaya					
		Aguas arriba 1		Aguas arriba 2		Aguas abajo	
		Valor	Qi	Valor	Qi	Valor	Qi
% O.D.	0,17	68,10	70,69	68,10	70,69	74,30	79,23
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	0,15	562	27,38	206	36,39	296	32,95
pH	0,12	6,92	86,60	6,87	85,29	7,24	92,62
Cambio de Temp	0,10	0,00	90,00	0,00	90,32	0,00	90,00
Fosfatos (mg PO4/l)	0,10	0,11	89,48	0,11	89,48	0,11	89,48
Nitratos (mg NO3/L)	0,10	0,50	97,28	0,50	97,28	0,50	97,28
Turbidez (NTU)	0,08	51,6	38,23	30,2	51,39	42,3	43,18
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,08	135	80,44	61	85,89	85	85,18
DQO (mg O2/l)	0,10	15,00	20,47	19,00	13,97	20,00	12,66
WQI= $\sum W_i Q_i$		64,5	**MEDIA**	66,6	**MEDIA**	**67,4**	**MEDIA**

Fuente: Gestión & Medioambiente S.A.S, mayo 2023

De acuerdo con los resultados del cálculo del ICA se observa que los puntos de muestreo tienen clasificación de calidad media (ICA de 51 a 70) teniendo el ICA más bajo en punto aguas arriba Afluente 1 con 64,5; y un mejor puntaje agua abajo. Todos están afectados principalmente por sólidos y coliformes termotolerantes.

Gráfico 12. Valores del índice de calidad en agua superficial – Quebrada Pitaya



Fuente: Gestión & Medioambiente S.A.S, mayo 2023

Índices de Contaminación (ICO)

Como el ICA es una herramienta para caracterizar de forma general la calidad el agua, algunos procesos físicos, químicos y biológicos que indican alta degradación de las aguas pueden ser enmascarados por otros que no sugieren contaminación alguna o mínima. Esta limitación se puede superar con los cuatro índices de contaminación que fueron calculados, los cuales son complementarios en sentido ecológico y, por lo tanto, permiten precisar problemas ambientales, así como profundizar en la identificación de especies con potencial indicador. A partir de ellas, se definieron grupos de variables fisicoquímicas que denotan una misma condición ambiental y se seleccionaron algunas de las variables más representativas o de fácil determinación, para ser involucradas en los índices de contaminación (ICO). Los índices próximos a cero indican muy baja contaminación e índices cercanos a uno, el caso contrario.

Los índices de contaminación (ICO) son correlaciones matemáticas entre parámetros, que permiten evaluar cuantitativamente el impacto que produce una carga contaminante sobre un cuerpo de agua, asignando valores entre 0 y 1 (Tabla 8).

Tabla 8. Significado de los índices de contaminación ICO

ICO	Contaminación
0 - 0,2	Ninguna
>0,2 - 0,4	Baja
>0,4 - 0,6	Media
>0,6 - 0,8	Alta
>0,8 - 1	Muy Alta

Fuente: Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos, 1999

Con la correlación de las variables más significativas se definieron los siguientes índices de contaminación (Ramírez, et al, 1997):

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), se expresa en las siguientes variables fisicoquímicas: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica.

$$ICOMO = 1/3 * (I_{DBO} + I_{coliformes\ totales} + I_{oxígeno\ \%})$$

DBO mayores a 30 mg/l tienen $I_{DBO} = 1$; DBO menores a 3 mg/l tienen $I_{DBO} = 0$

Coliformes totales mayores a 20 000 (NMP/100ml) tienen $I_{Coliformes\ totales} = 1$; los menores a 500 (NMP/100ml) tienen $I_{Coliformes\ totales} = 0$

Porcentajes de oxígeno disuelto mayores a 100 tienen un índice de oxígeno de 0.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): determinado solamente con la concentración de sólidos suspendidos, los cuales están unidos solo a compuestos inorgánicos. A continuación, se presenta la expresión de la cual surge su resultado:

ICOSUS = -0,02 + 0,003 * Sólidos Suspendidos (mg/l)

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l tienen ICOSUS = 1; sólidos suspendidos menores a 10 mg/l tienen ICOSUS = 0

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): relaciona las variables de conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza (cationes calcio y magnesio) y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

$$ICOMI = 1/3 * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Conductividades mayores a 270 (µS/cm), tienen un índice de conductividad igual a 1.

Durezas mayores a 110 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 1$; Durezas menores a 30 mg/l tienen un $I_{Dureza} = 0$

Alcalinidades mayores a 250 mg/l tiene un $I_{Alcalinidad} = 1$; alcalinidades menores a 50 mg/l tiene un $I_{Alcalinidad} = 0$

Estos índices son de gran utilidad para establecer la calidad del agua de las corrientes hídricas, porque identifican el grado de intervención que presentan los cuerpos de agua (Ramírez *et al., 1997)*. Del análisis de los índices de contaminación se reportan en la Tabla 9. Los índices próximos a cero indican muy baja contaminación e índices cercanos a uno, el caso contrario.

Tabla 9. Índices de contaminación de la Q. Pitaya

Punto		ICOMO	ICOSUS	ICOMI	ICOpH	ICOTRO
Quebrada Pitaya	Aguas arriba 1	0,25	0,15	0,1446	0,0007	Hipereutrofia
		Baja	Ninguna	Ninguna	Ninguna	
	Aguas arriba 2	0,35	0,09	0,0240	0,0006	Hipereutrofia
		Baja	Baja	Ninguna	Ninguna	
	Aguas abajo	0,3842	0,1192	0,0452	0,0022	Hipereutrofia
		Baja	Ninguna	Ninguna	Ninguna	

Fuente: Gestión & Medioambiente S.A.S, mayo 2023

Según el índice de contaminación por:

- **Materia orgánica – ICOMO**: por contenido de materia orgánica se clasifican con contaminación baja en los tres puntos, influenciado principalmente por la presencia de coliformes totales a lo largo del cauce.
- **Sólidos suspendidos – ICOSUS:** en el punto aguas arriba Afluente 1 en la quebrada Pitaya se obtuvo una condición de ninguna contaminación, sin embargo, en el punto Afluente 2 aguas arriba se evidencia una ganancia en la cantidad de sólidos por lo que la calificación de contaminación pasa a ser baja. Aguas abajo en la confluencia los sólidos suspendidos disminuyen y pasa a ninguna contaminación
- **Mineralización _ ICOMI:** por mineralización se clasifican con ninguna contaminación tanto en los dos puntos aguas arriba como el punto aguas abajo, ya que presentan bajas conductividades, son aguas blandas y según la alcalinidad soportarían cierto tipo de contaminación acida.
- **ICOpH: t**ampoco presentan contaminación por pH, ya que los valores son con tendencia neutra
- **ICOTRO**: presentan niveles de fósforo total bajo de hipereutrofia

CONCLUSIONES

El monitoreo realizado en los tres puntos de la quebrada Pitaya del ZODME Cauce Sur (aguas arriba: Afluente 1 y 2, y aguas abajo confluencia), en Palestina, Caldas, permitió establecer a través de la determinación de las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas el estado actual de la calidad del agua y nivel de contaminación revisando cumplimiento con la normatividad.

Los resultados de los parámetros in situ indican que: la temperatura en todos los puntos se encuentra entro de los valores esperados para un cuerpo de agua superficial en la zona muestreada. El pH presenta una tendencia neutra a lo Larco del cauce, lo que indica que el agua es apta para la mayoría de los usos establecidos en el Decreto 1076/2015 bajo este parámetro. El oxígeno disuelto presenta los valores más bajos en el punto aguas arriba Afluente 2, lo que se les atribuye a poco caudal y estar entre vegetación espesa; sin embargo, se presenta una mejora en el punto aguas abajo, demostrando condiciones aceptables y buenas en todos los puntos. Condiciones que son adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos. La conductividad presenta valores con leve variación en el punto aguas arriba Afluente 1, que indica una mayor mineralización.

Se aprecia que analitos como grasas y aceites, metales pesados, fenoles, fósforo y nitrógeno total, DBO5 y DQO presentan concentraciones no detectables, esto sumado a los resultados de parámetros in situ, podría indicar que la quebrada posee una buena asimilación de contaminantes.

La DBO_5 no es cuantificable en los puntos de agua, los cuales durante el muestreo no evidenciaron contaminación por materia orgánica. Pero en casi todas las muestras se reporta presencia de coliformes totales y termotolerantes, que supera los límites establecidos para todos los usos mencionados en el Decreto 1076/2015.

El índice de calidad del agua (ICA) clasifica el agua analizada de los puntos de muestreo con calidad media, el índice es afectado principalmente por los niveles de coliformes y sólidos; presentando porcentajes de calidad con una tendencia ascendente desde el punto aguas arriba hasta aguas abajo.

Los índices de contaminación en todos los puntos indican ninguna contaminación por materia orgánica, algunos contaminación baja por sólidos suspendidos, ninguna contaminación por pH y ninguna contaminación por minerales.

BIBLIOGRAFÍA

AAWW. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 23 ed., New York, 2017.

GESAMP. Anthropogenic Influences on Sediment Discharge to the Coastal Zone and Environmental Consequences. UNESCO-IOC, Journal Series Reports and Studies. 1993.

IDEAM, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D. C., 2021. 631 páginas.

JIMÉNEZ, M. y VÉLEZ, M. Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. Escuela de Geociencia y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. En: Avances en recursos hidráulicos. Número 14, febrero de 2006.

Ministerio de la Protección Social. Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Calidad del agua. Consultado 2016-05-27 en https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=860&conID=1373.

RAMÍREZ, A., RESTREPO, R. y CARDEÑOSA, M. 1999. Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. Ciencia, Tecnología y Futuro. Volumen 1 Núm.5

Metcalf and Eddy, Inc. (1998). *Ingenieria de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilizacion.* Madrid (Spain): McGraw-Hill.

Stumm, W., & Morgan, J. (1981). *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters* (2nd Edition ed.). New York: John Wiley & Sons Ltd.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado calibración de equipos

Anexo 2. Formatos de campo

Anexo 3. Reportes de análisis de laboratorio externo

Anexo 4. Registro fotográfico

Anexo 5. Resoluciones de acreditación de laboratorios

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO 2369

Cliente	**AEROPUERTO DEL CAFÉ**	Dirección	Carrera 22 Nro. 18-09, piso 2
Contacto	Paulo César Mejía	Correo electrónico	paulocesarmv@hotmail.com mejiapaulo7@gmail.com
Proyecto:	Proyecto construcción Aeropuerto del Café	Identificación:	2369
Matriz	Comunidades hidrobiológicas (Macroinvertebrados bentónicos)	Plan de muestreo nro	2369-FT-223-HC-01
Lugar de monitoreo o muestreo	Quebrada Pitaya, ZODME Cauce Sur, área de influencia del proyecto de construcción Aeropuerto del Café en el municipio de Palestina, Caldas		
Fecha de monitoreo	2022/02/08	Fuentes	1 quebrada y 5 drenajes
Descripción	• Caracterización de fuentes superficiales en el área de influencia del proyecto de construcción Aeropuerto del Café.		
Fecha de recepción de muestras	2023/05/10	Fecha de análisis	2023/05/10
Responsable del muestreo y análisis in situ	Gestión & Medioambiente SAS NIT 900.492.960-0 Carrera 28D 71-12 Palermo. Manizales Caldas (6)8903777)	Laboratorio subcontratado	Chemilab SAS NIT 900.329.160-9 Carrera 21 No.195-50 Bogotá D.C (1)6702853



César Augusto Castañeda
Director técnico



Diana Lucía Castrillón Monroy
Directora de Calidad

Nota 1: los resultados que se relacionan en este informe sólo están relacionados con las muestras ensayadas, en los tiempos indicados.