

UNIVERSIDAD DE CUENCA



Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Ambiental

"Influencia de las actividades desarrolladas en el
campamento Guarumales sobre la calidad del agua superficial"

**Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental**

Autoras:

Ana Magaly Jiménez Ordóñez

0105739544

magalyjimenez321@gmail.com

Jessica Lizbeth Torres Sánchez

0705852978

jessik_torres0802@hotmail.com

Director:

Ing. Fausto Fernando García Ávila, PhD.

0301454617

Cuenca- Ecuador

08-enero-2020

Resumen

En el presente proyecto se evaluó la calidad de agua superficial que atraviesa por el campamento Guarumales perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), sede Hidropaute, ubicado en el cantón Sevilla de Oro, y la relación existente con las diferentes actividades realizadas dentro del mismo; para lo cual se estableció una valoración cuantitativa y cualitativa de impacto ambiental que definió al tratamiento de aguas y residuos como la de mayor impacto. Para definir la calidad del agua se aplicó el Índice de Calidad de Agua (ICA) Montoya 97, después de monitorear el caudal y diecisiete variables fisicoquímicas y microbiológicas, esto permitió establecer el grado de contaminación existente en el agua, siendo la quebrada 2 y el canal PTAR los más afectados, registrando relevantes variaciones entre aguas arriba y aguas abajo. En el canal PTAR se registraron valores que catalogaron al agua entre “Poco contaminada” y “contaminada”. Finalmente se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) de las quebradas y canal PTAR, tanto en invierno como en verano, lo cual permitió una mejor comprensión de las interrelaciones entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas, las correlaciones registradas entre los parámetros indicaron contaminación por aguas residuales domésticas, sobre todo en el canal PTAR y la quebrada 2.

Palabras claves: ICA. ACP. Agua superficial. Impacto ambiental. Calidad de agua. Guarumales. Parámetros fisicoquímicos. Parámetros microbiológicos.

Abstract

In this project, the quality of surface water that passes through the Guarumales camp belonging to the Electric Corporation of Ecuador (CELEC EP), Hidropaute headquarters, which is located in the town of Sevilla de Oro, and the existing relationship with the different activities carried out inside of it were evaluated. A quantitative and qualitative assessment of environmental impact was established that defined the treatment of water and waste as the one with the greatest impact. To define the water quality, the Water Quality Index (WQI) Montoya 97 was applied, after monitoring the flow rate and seventeen physicochemical and microbiological variables. This allowed establishing the degree of contamination in the water, being the hillside 2 and the channel of wastewater treatment the most affected, which recorded relevant variations between upstream and downstream. The water's values recorded in the channel of wastewater treatment were cataloged between "slightly polluted" and "polluted". Finally, a Principal Component Analysis (PCA) of the hillsides and the channel of wastewater treatment was carried out, both in winter and in summer, which allowed a better understanding of the interrelations between the physicochemical and microbiological variables. The correlations recorded between the parameters indicated contamination by domestic wastewater, especially in the PTAR channel and the hillside 2.

Key words: ICA. ACP. Surface water. Environmental impact. Water quality. Guarumales. Physicochemical parameters. Microbiological parameters.

LISTA DE ABREVIATURAS

Aa: Aguas arriba

Ab: Aguas abajo

ACP: Análisis de Componentes Principales

ALC: Alcalinidad

CaCO₃: Carbonato de calcio

CELEC EP: Corporación Eléctrica del Ecuador – Empresa Pública

Cl⁻: Cloruro

CR: Color Real

CP: Componentes Principales

COLIF_T : Coliformes Totales

COLIF_F : Coliformes Fecales

CE: Conductividad Eléctrica

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

DT: Dureza Total

E. Coli: *Escherichia coli*

Est: Estación

GyA: Grasas y Aceites

ICA: Índice de calidad de agua

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

NH₃-N: Nitrógeno Amoniacal

NO₃: Nitratos

OD: Oxígeno disuelto

PO₄⁻³: Fosfatos Totales



PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

S1a: Quebrada 1 aguas arriba

S2a: Quebrada 2 aguas arriba

S3a: Quebrada 3 aguas arriba

S4a: Quebrada 4 aguas arriba

S1b: Quebrada 1 aguas abajo

S2b: Quebrada 2 aguas abajo

S3b: Quebrada 3 aguas abajo

S4b: Quebrada 4 aguas abajo

S5: Canal PTAR

SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno

SDT: Sólidos disueltos totales

SST: Sólidos suspendidos totales

TEMP: Temperatura

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

TURB: Turbiedad

UPC: Unidades de Platino Cobalto

UNT: Unidad Nefelométrica

NMP: Número Más Probable



Índice del Trabajo

Resumen	1
Abstract	2
LISTA DE ABREVIATURAS	3
DEDICATORIA	17
AGRADECIMIENTOS.....	19
CAPÍTULO I.....	20
INTRODUCCIÓN	20
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	20
1.3 ANTECEDENTES	22
1.3.1 Unidad de Negocio Hidropaute	22
1.3.2 Campamento Guarumales	24
1.3.3 Aguas superficiales en el campamento Guarumales.....	25
1.4 HIPÓTESIS	26
1.5 OBJETIVOS	26
1.5.1 Objetivo general:.....	26
1.2 Objetivos específicos:	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1 AGUAS SUPERFICIALES.....	27
2.2 CALIDAD DE AGUA.....	27
2.3 INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA CALIDAD DEL AGUA.....	28
2.4 IMPACTO AMBIENTAL.....	30
2.4.1 Valoración de impacto ambiental	30
2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA	31
2.5.1 Parámetros Físicoquímicos	31
2.5.2 Parámetros Microbiológicos	36
2.6 MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES	36
2.6.1 Tipo de muestra	37
2.7 MEDICIÓN DEL CAUDAL	37
2.8 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA.....	38
2.9 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	42
2.9.1 Matriz de correlación.....	43



2.9.2 Desviación estándar	43
2.9.3 Varianza	44
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	44
3.1.1 Perfil altitudinal	45
3.1.2 Pendiente	46
3.1.3 Geología	47
3.1.4 Meteorología	48
3.2 EQUIPOS USADOS	49
3.3 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA	52
3.4 MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES	53
3.4.1 Estaciones de Muestreo	53
3.4.2 Frecuencia y procedimiento de muestreo	58
3.4.3 Tipo de Muestras	60
3.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL	60
3.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA	61
3.6.1 Cálculo del Índice de Calidad de Agua de Montoya 1997 (ICA)	61
3.7 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1 ACTIVIDADES DESARROLLADAS EL CAMPAMENTO	63
4.1.1. Matriz de valoración de impacto ambiental	68
4.2 CAUDAL	70
4.2.1 Análisis del caudal	70
4.3 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	73
4.3.1 Temperatura (TEMP)	76
4.3.2 pH	77
4.3.3 Conductividad eléctrica (CE)	78
4.3.4 Oxígeno disuelto (OD)	79
4.3.5 Sólidos disueltos totales (SDT)	81
4.3.7 Color real (CR)	83
4.3.8 Dureza total (DT)	84
4.3.10 Turbiedad (TURB)	86
4.3.11 Cloruros (Cl ⁻)	87



4.3.12 Fosfatos (PO_4^{-3})	88
4.3.13 Nitratos (NO_3)	90
4.3.14 Nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$).....	91
4.3.16 Coliformes totales (COLIF_T)	93
4.3.17 Coliformes fecales (COLIF_F).....	95
4.4 DETERMINACIÓN DEL ICA DE MONTOYA 97	97
4.4.1. Promedio del ICA de Montoya 97	97
4.4.2 ICA de la quebrada 1	99
4.4.3 ICA de la quebrada 2	100
4.4.4 ICA de la quebrada 3	101
4.4.5 ICA de la quebrada 4	102
4.4.6 ICA del canal PTAR	103
4.5 ACP DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS	105
4.5.1 ACP de la quebrada 1	105
4.5.2 ACP de la quebrada 2.....	108
4.5.3 ACP de la quebrada 3.....	111
4.5.4 ACP de la quebrada 4.....	114
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1 CONCLUSIONES:.....	120
5.2 RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA:.....	126
ANEXOS	135
ANEXO 1: BITÁCORA DE PARÁMETROS TOMADOS IN SITU	135
ANEXO 2: DATOS DE LABORATORIO	136
ANEXO 3: CÁLCULO DEL ICA DE MONTOYA 97	142
ANEXO 4: SCRIPT DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	143
ANEXO 5: COMPONENTES PRINCIPALES Y MATRIZ DE CORRELACIONES	144

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del campamento Guarumales dentro del territorio ecuatoriano	43
Figura 2. Ubicación del canal PTAR, quebradas y estaciones de monitoreo.....	44
Figura 3. Perfiles altitudinales del canal PTAR y quebradas del campamento Guarumales...	44
Figura 4. Pendientes del campamento Guarumales.....	45
Figura 5. Variación de la precipitación en el campamento Guarumales, durante el periodo de monitoreo.....	47
Figura 6. Medidor multiparámetro U52G-10.....	56
Figura 7. Recipientes recolectores.....	57
Figura 8. Hielo artificial y contenedor.....	57
Figura 9. Análisis de las muestras en el laboratorio.....	58
Figura 10. Correntómetro.....	59
Figura 11. Bitácora.....	59
Figura 12. Diagrama de actividades cercanas a las quebradas y canal PTAR.....	63
Figura 13. Actividades identificadas dentro del campamento Guarumales.....	64
Figura 14. Canal de la quebrada 4 en Ab.....	68
Figura 15. Quebrada 4 en Ab.....	68
Figura 16. Variabilidad espacial y temporal del Caudal en las quebradas y canal PTAR.....	69
Figura 17. Variabilidad espacial y temporal de la TEMP en las quebradas y canal PTAR....	74
Figura 18. Variabilidad espacial y temporal del pH en las quebradas y canal PTAR.....	75
Figura 19. Variabilidad espacial y temporal de la CE en las quebradas y canal PTAR.....	76
Figura 20. Variabilidad espacial y temporal del OD en las quebradas y canal PTAR.....	77
Figura 21. Variabilidad espacial y temporal de SDT en las quebradas y canal PTAR.....	78
Figura 22. Variabilidad espacial y temporal de SST en las quebradas y canal PTAR.....	79
Figura 23. Variabilidad espacial y temporal del CR en las quebradas y canal PTAR.....	81



Figura 24. Variabilidad espacial y temporal de la DT en las quebradas y canal PTAR.....	82
Figura 25. Variabilidad espacial y temporal de la ALC en las quebradas y canal PTAR.....	83
Figura 26. Variabilidad espacial y temporal de la TURB en las quebradas y canal PTAR.....	84
Figura 27. Variabilidad espacial y temporal de CL en las quebradas y canal PTAR.....	85
Figura 28. Variabilidad espacial y temporal de PO_4^{-3} en las quebradas y canal PTAR.....	86
Figura 29. Variabilidad espacial y temporal de NO_3 en las quebradas y canal PTAR.....	87
Figura 30. Variabilidad espacial y temporal de $\text{NH}_3\text{-N}$ en las quebradas y canal PTAR.....	88
Figura 31. Variabilidad espacial y temporal del DBO en las quebradas y canal PTAR.....	89
Figura 32. Variabilidad espacial y temporal de COLIF_T en las quebradas y canal PTAR.....	91
Figura 33. Variabilidad espacial y temporal de COLIF_F en las quebradas y canal PTAR.....	92
Figura 34. Promedio del ICA de Montoya 97 en las quebradas.....	93
Figura 35. Variabilidad del ICA de Montoya 97 en la quebrada 1.....	94
Figura 36. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 2.....	95
Figura 37. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 3.....	96
Figura 38. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 4.....	97
Figura 39. Variabilidad del ICA Montoya 97 en el canal PTAR.....	98
Figura 40. ACP de las variables de la quebrada 1 en invierno.....	101
Figura 41. ACP de las variables de la quebrada 1 en verano.....	101
Figura 42. ACP de las variables de la quebrada 2 en invierno.....	103
Figura 43. ACP de las variables de la quebrada 2 en verano.....	103
Figura 44. ACP de las variables de la quebrada 3 en invierno.....	105
Figura 45. ACP de las variables de la quebrada 3 en verano.....	106



Figura 46. ACP de las variables de la quebraba 4 en invierno.....	107
Figura 47. ACP de las variables de la quebraba 4 en verano.....	108
Figura 48. ACP de las variables del canal PTAR en invierno.....	109
Figura 49. ACP de las variables del canal PTAR en verano.....	110
Figura 50. Ejemplo de bitácora de los parámetros monitoreados insitu.....	126



Índice de Tablas

Tabla 1. Criterios de clasificación de impactos ambientales	29
Tabla 2. Subíndices de los parámetros para el cálculo del ICA "Montoya 97"	39
Tabla 3. Coeficientes de ponderación para el ICA de Montoya 97.....	40
Tabla 4. Rango de clasificación del Ica de acuerdo al criterio general.....	41
Tabla 5. Equipos utilizados durante el monitoreo y principio utilizado	47
Tabla 6. Ubicación de las estaciones de muestreo y sus características.....	52
Tabla 7. Coordenadas UTM de las estaciones monitoreadas	55
Tabla 8. Matriz de valoración de impacto ambiental de las actividades antropogénicas sobre las quebradas y el canal PTAR.....	66
Tabla 9. Variación espacial del caudal promedio de las quebradas	69
Tabla 10. Promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el invierno.....	71
Tabla 11. Promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el verano.....	72
Tabla 12. Criterio general ICA en las quebradas	93
Tabla 13. Criterio general del ICA de la quebrada 1	94
Tabla 14. Criterio general del ICA de la quebrada 2.....	95
Tabla 15. Criterio general del ICA de la quebrada 3.....	96
Tabla 16. Criterio general del ICA de la quebrada 4.....	97
Tabla 17. Criterio general del ICA del canal PTAR.....	98
Tabla 18. Resultados de laboratorio – abril.....	127
Tabla 19. Resultados de laboratorio – mayo.....	128
Tabla 20. Resultados de laboratorio – junio.....	129
Tabla 21. Resultados de laboratorio – julio.....	130
Tabla 22. Resultados de laboratorio – agosto.....	131
Tabla 23. Resultados de laboratorio – septiembre.....	132
Tabla 24. Ejemplo de hoja de cálculo del ICA de Montoya 97.....	133
Tabla 25. Componentes principales de las variables de la quebrada 1 en invierno.....	135
Tabla 26. Componentes principales de las variables de la quebrada 1 en verano.....	136
Tabla 27. Componentes principales de las variables de la quebrada 2 en invierno.....	137
Tabla 28. Componentes principales de las variables de la quebrada 2 en verano.....	138



Tabla 29. Componentes principales de las variables de la quebrada 3 en invierno.....	139
Tabla 30. Componentes principales de las variables de la quebrada 3 en verano.....	140
Tabla 31. Componentes principales de las variables de la quebrada 4 en invierno.....	141
Tabla 32. Componentes principales de las variables de la quebrada 4 en verano.....	142
Tabla 33. Componentes principales de las variables del canal PTAR en invierno.....	143
Tabla 34. Componentes principales de las variables del canal PTAR en verano.....	144
Tabla 35. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 1 en invierno.....	145
Tabla 36. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 1 en verano.....	146
Tabla 37. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 2 en invierno.....	147
Tabla 38. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 2 en verano.....	148
Tabla 39. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 3 en invierno.....	149
Tabla 40. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 3 en verano.....	150
Tabla 41. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 4 en invierno.....	151
Tabla 42. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 4 en verano.....	152
Tabla 43. Matriz de correlación de las variables del canal PTAR en invierno.....	153
Tabla 44. Matriz de correlación de las variables del canal PTAR en verano.....	154

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Ana Magaly Jiménez Ordóñez, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Influencia de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad del agua superficial", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de enero de 2020


Ana Magaly Jiménez Ordóñez

C.I: 0105739544

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jessica Lizbeth Torres Sánchez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Influencia de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad del agua superficial", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de enero de 2020



Jessica Lizbeth Torres Sánchez
C.I: 0705852978

Cláusula de Propiedad Intelectual

Ana Magaly Jiménez Ordóñez, autora del trabajo de titulación "Influencia de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad de agua superficial", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 08 de enero de 2020


Ana Magaly Jiménez Ordóñez

C.I: 0105739544

Cláusula de Propiedad Intelectual

Jessica Lizbeth Torres Sánchez, autora del trabajo de titulación “Influencia de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad del agua superficial”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 08 de enero de 2020



Jessica Lizbeth Torres Sánchez
C.I: 0705852978

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia porque ha sido el pilar fundamental en mi vida, a mi madre Ana y mi padre Miguel, por su cariño a pesar de nuestras diferentes opiniones, son mis ejemplos de esfuerzo y perseverancia, a mis hermanos Miguel y Diego, a mis abuelitos, Darío, Raúl (+) y Rosalina (+), a mis tíos y primos que me apoyan en cada nuevo reto en la vida.

Este trabajo, también lo dedico a todas las circunstancias, y coincidencias que se presentaron durante toda mi etapa universitaria e hicieron posible el desarrollo de esta tesis. A todo mi grupo de Metallura - Equipo de Gestión Ambiental que me enseñan a trabajar en equipo, a soñar y a influir en la solución de problemas ambientales en el mundo. A esa persona realmente especial en mi vida, que con su amor me inspira cada día a ser mejor persona y profesional. A mis incondicionales amigos, por la felicidad causada en mi vida y más.

*“La magia es creer en ti mismo. Si puedes hacer eso,
puedes hacer que suceda cualquier cosa”.*

-Johann Wolfgang von Goethe

Ana Magaly Jiménez Ordóñez

Dedico esta tesis primeramente a Dios por sus bendiciones a lo largo de toda mi vida, por darme salud y guiarme en mi camino para llegar a mis objetivos.

“Ver el esfuerzo que han hecho a diario para que no nos falte nada me conmueve y me hace sentir una hija muy afortunada”. Con amor incondicional dedico esta investigación a mis padres, Juan Carlos y Luz Emérta por brindarme todo su apoyo en mis proyectos académicos y personales, por formarme en mi niñez e inculcarme valores con su infinito amor.

A mis hermanas Karla y Nicole porque sé que en cada reto me acompañan y me alientan a continuar mi formación profesional. A mis abuelitas Blanca y Evangelina, y a mis mejores amigos por la confianza depositada en mí.

Este trabajo lo dedico de manera especial a mi hermano menor Juan Pablo y a mi sobrina Aroha Melina, quienes motivan mi día a día, y tengan presente que con esfuerzo, amor y dedicación se pueden lograr grandes cosas que aportan a un mundo mejor.

Jessica Lizbeth Torres Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Primero, empezamos agradeciendo a Dios por brindarnos la fortaleza, sabiduría y paciencia, necesarias para desarrollar el presente trabajo, por permitirnos cumplir cada una de nuestras metas propuestas a pesar de los obstáculos que se nos han presentado.

Al personal de CELEC EP - Hidropaute por abrirnos las puertas para la realización de este trabajo, de manera especial agradecemos al Ing. Pedro Alvarado y el Lcdo. Juan Amón, guías y amigos de quienes aprendimos y compartimos inolvidables experiencias durante la realización de esta tesis. También agradecemos al Ing. Pablo Guzmán, Ing. Boris Galán, Ing. Rafael Vélez, Ing. José Arias y el Téc. Rodrigo Yeroví.

A nuestro querido tutor el Ing. Fausto Fernando García, por su incondicional ayuda, criterio, paciencia y dedicación para guiar este trabajo de la mejor manera, sobre todo por alentarnos a mejorar cada día y por la confianza brindada. Al Dr. Giovanni Larriva y sus colaboradores del Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca. A los docentes de la Universidad de Cuenca por compartir sus conocimientos, indispensable para nuestra formación profesional.

De manera afectuosa agradecemos a nuestros familiares más cercanos, por el absoluto apoyo moral, ético y económico. Además, agradecemos a nuestros estimados amigos que formaron parte de esta experiencia académica y en la realización de esta tesis, principalmente a Mateo, Pedro, Israel, Kristí, David y Nicole.

Finalmente agradecemos a nuestra amistad forjada durante este último año, al esfuerzo y dedicación de cada una para cumplir con nuestro objetivo y llegar a la meta establecida.

Jessica & Magaly

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Debido a que las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural y de origen antrópico, surge la necesidad de evaluar y determinar las principales actividades que modifican la calidad del recurso hídrico (Lozada, Vélez, & Patino, 2009). Los ríos y quebradas se consideran como aguas superficiales que pueden ser incluidos como fuentes de captación. Para garantizar el uso sostenible del recurso hídrico es necesario conocer su comportamiento y respuesta ante diferentes intervenciones antrópicas.

El término calidad del agua se refiere a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. El ICA posibilita la evaluación de los constituyentes que afectan la calidad del agua para sus diferentes usos y resumir esta evaluación en un simple valor que nos sirva como una manera de comunicar y representar la calidad en los cuerpos de agua.

Este estudio se enfocó en la evaluación de la calidad del agua superficial que atraviesa el campamento Guarumales, integrando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua y su relación con dichas actividades desarrolladas en el campamento. Los resultados permitirán a la empresa CELEC EP planificar acciones para el manejo del recurso hídrico y se podrá incentivar a la población del campamento a que sea cuidadosa con este recurso.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) es una empresa pública dedicada a la generación eléctrica definida como estratégica por su ámbito de acción. Está conformada por 14 unidades de negocio, entre ellas Hidropaute, ubicada en la carretera Paute - Méndez, conformada por tres proyectos, Molino, Mazar y Sopladora, y por dos campamentos Arenales y

Guarumales, los cuales albergan a los funcionarios de la empresa (CELEC EP, 2017).

En el campamento Guarumales habitan aproximadamente 500 personas, a las cuales se les proporciona servicios de alimentación, vivienda, salud, educación y recreación, su infraestructura es similar a la de una pequeña ciudad, con 6 barrios, 12 oficinas, área recreativa, cocina, comedor, talleres mecánicos, automotriz y carpintería. Todas sus instalaciones cuentan con servicios básicos como agua potable, energía eléctrica y saneamiento, las aguas residuales son llevadas a través de tuberías hacia dos plantas de tratamiento.

La calidad del agua superficial se ve afectada con la introducción de sustancias contaminantes de origen antrópico (Sosa Pérez, 2007). Determinar las fuentes de contaminación es clave para el control del deterioro de la calidad de agua y sus potenciales riesgos ecológicos y a la salud humana, permitiendo tener conocimiento del estado de este recurso para tomar importantes decisiones en materia de legislación, medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente (Yuan, Wang, Lan, Ji & Zhao, 2016).

Las fuentes de agua superficial como ríos son incapaces de neutralizar la carga contaminante proveniente de las aguas residuales comerciales e industriales sin ningún o un deficiente tratamiento, provocando que las masas de agua pierdan su apariencia estética y la capacidad de sustentar vida en y cerca de las fuentes.

Este problema no es ajeno a nuestra realidad, en el campamento Guarumales, se desarrollan actividades que podrían estar afectando la calidad del agua superficial. La empresa CELEC EP, tiene el objetivo de monitorear la calidad de agua del sistema de generación eléctrica “Paute Integral”, como una estrategia básica para un manejo sustentable de los recursos hídricos. Por lo antes mencionado es importante identificar las

actividades del campamento que estarían provocando cambios en la calidad del agua de las quebradas que atraviesan este predio.

1.3 ANTECEDENTES

La principal razón para establecer programas de monitoreo y evaluación de agua superficial tiene que ver con la necesidad de confirmar si las características del recurso hídrico se ven afectadas por las diferentes labores y vertimientos originados por las actividades antrópicas (Lozada, Vélez, & Patino, 2009). Las aguas residuales sin ningún o un deficiente tratamiento representan un potencial vehículo de enfermedades y trastornos medioambientales (Garzón, Rodríguez, Miranda & Hernández, 2017).

1.3.1 Unidad de Negocio Hidropaute

La Unidad de Negocio Hidropaute, pertenece a la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, la cual se encarga del mantenimiento, operación y administración del complejo hidroeléctrico Paute Integral, se desarrolla en las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago, conformado por los proyectos Mazar, Molino y Sopladora ubicados en sucesión para el aprovechamiento del agua de la cuenca del río Paute, para la generación energética del Ecuador.

Las oficinas administrativas de la Unidad de Negocio Hidropaute están ubicadas en el cantón Cuenca, en la vía Panamericana Norte km 7; en el cantón Sevilla de Oro se encuentran los campamentos Arenales y Guarumales, en dónde se realiza el trabajo de planificación, operación y mantenimiento en distintas instalaciones, tales como talleres mecánicos, automotriz y de carpintería; oficinas, viviendas, entre otros, esenciales para el funcionamiento adecuado de las hidroeléctricas.

1.3.1.1 Plan Estratégico

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP - Unidad de Negocio Hidropaute, tiene como objetivo: monitorear la calidad del agua del sistema

de generación eléctrica “Paute Integral” como parte de su estrategia de manejo sustentable de los recursos hídricos.

1.3.1.2 Sociedad y Ambiente

a) Desarrollo Socio Ambiental

La Unidad de Negocio HIDROPAUTE al contar con un departamento de Gestión Ambiental, Geología y Social, trabajan con un modelo de gestión que impulsan procesos productivos en las comunidades vecinas a las centrales, proyectos y campamentos con el fin de mantener alianzas entre Hidropaute y los actores sociales, mejorando la economía comunitaria y su calidad de vida.

b) Monitoreo de agua, componente biótico y suelo

Hidropaute realiza constantemente monitoreos de agua, componente biótico y suelo en el área de las centrales hidroeléctricas y campamentos, considerando las normas vigentes establecidas en la legislación ambiental ecuatoriana en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, sobre la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua.

Los sitios auto monitoreados por la empresa CELEC EP y monitoreados por contrataciones externas son los siguientes:

1. Monitoreo de plantas de agua potable de los campamentos.
2. Monitoreo de plantas de tratamiento de aguas residuales de campamentos.
3. Monitoreo de descargas a cuerpos de agua en las instalaciones de HIDROPAUTE.
4. Monitoreo de suelos potencialmente afectados por actividades de CELEC EP – HIDROPAUTE
5. Monitoreo en ríos y quebradas del área de influencia del Complejo Paute Integral.
6. Monitoreo de agua turbinada de las centrales.

c) Calidad Ambiental

El proceso de calidad ambiental en toda actividad desplegada por la Unidad de Negocio Hidropaute, pretende minimizar y prevenir la contaminación, manteniendo los niveles óptimos de calidad de agua, aire y suelo exigidos por la normativa vigente, disposiciones legales y compromisos suscritos, a través de monitoreos de control, auditorías internas y externas, programas preventivos de inspecciones, entre otros (CELEC EP, 2013).

1.3.2 Campamento Guarumales

El campamento Guarumales es la base donde se opera y maneja el proyecto hidroeléctrico Molino y Sopladora, se ubica en la Cordillera Real en el flanco derecho del río Paute, coordenadas 9'714.000 - 9'715.500 y 777.000 - 779.000 (UTM) a 7 km aguas abajo de la entrada a la Presa Daniel Palacios a 70 km de Cuenca - Ecuador (CELEC EP, 2013).

Influencia Biótica:

Durante 30 años en los inicios de la construcción del proyecto hidroeléctrico Paute Molino se talaron especies como guayacán, nogal, cedro, etc. Hoy en día se sigue afectando toda la flora y fauna silvestre, como también el cuerpo fluvial que se encuentra en el interior del campamento Guarumales y las instalaciones en general del proyecto hidroeléctrico.

Flora:

En el margen derecho del campamento se puede visualizar que la vegetación se ha modificado casi en su totalidad, se observa el reemplazo de bosques por pastizales; se puede ver por otro lado remanentes de vegetación nativa como el chuncho, los canelos etc., de gran valor en lo que constituye el Parque Nacional Sangay y que forman refugios y comedores para varias especies, dando un gran valor a los alrededores del campamento (CELEC EP, 2013).

Fauna:

En la periferia del campamento e incluso dentro de las instalaciones se puede apreciar especies importantes de aves, mamíferos, insectos, etc., se

registran aves pequeñas con la capacidad de adaptarse a hábitats perturbados e insectívoras, por otro lado, se observa mamíferos de orden Rodentia y Carnívora, sin embargo, el avistamiento constante del Oso de anteojos en el campamento, es un indicador preocupante de cómo el hábitat se ha modificado (CELEC EP, 2013).

1.3.3 Aguas superficiales en el campamento Guarumales

En el campamento Guarumales se localizan cuatro quebradas, las cuales atraviesan el predio cruzando cerca de algunas actividades desarrolladas dentro del mismo, y un canal de agua proveniente de la descarga de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) que llega a la segunda quebrada, todas estas caen directamente sobre el río Paute, más no son utilizadas en ninguna actividad específica, sin embargo, aportan a la conservación de flora y fauna del campamento. Las cuatro quebradas y el canal de agua, son considerados dentro del área de influencia directa al campamento, en el plan de manejo ambiental.

1.4 HIPÓTESIS

Las diferentes actividades desarrolladas dentro del campamento Guarumales, modifican la calidad del agua superficial de las quebradas que atraviesan este campamento.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general:

- Evaluar el efecto de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad del agua superficial que atraviesa este campamento.

1.2 Objetivos específicos:

- Identificar las diferentes actividades desarrolladas dentro del campamento que afectan la calidad del agua de las quebradas que atraviesan el campamento.
- Evaluar la calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en cada quebrada de la zona de estudio calculando el índice de calidad de agua ICA Montoya.
- Determinar la relación existente entre las diferentes actividades identificadas en el campamento con la calidad de agua de las quebradas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS SUPERFICIALES

Todo cuerpo de agua que fluye o se almacena en la superficie de un terreno, pueden ser aguas lógicas o lenticas según su comportamiento cinético. Se originan al emerger las aguas subterráneas o por escorrentía generada de las precipitaciones (Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España, 2016).

2.2 CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua está dada por los elementos que contenga la misma, los cuales determinan particulares características que hacen que se distingan un tipo de agua de otro y solo haciendo una evaluación y seguimientos a través de ensayos fisicoquímicos y bacteriológicos, se puede determinar su calidad (Sosa Pérez, 2007).

El análisis de los parámetros que definen la calidad del agua proporciona información precisa y detallada de las condiciones ambientales, estableciendo prioridades para la gestión sostenible del agua e identificando la fuente de contaminación de la misma (Yuan, Wang, Lan, Ji & Zhao, 2016).

Existe gran importancia en cuanto a la calidad del agua, ya que ésta no deberá presentar peligro a la salud humana, ni al medio que la rodea; el registro del agua como transmisor de enfermedades viene de tiempos remotos, donde se señala organismos como virus, bacterias y más, causantes de enfermedades de mayor incidencia en lugares de escaso saneamiento (Rojas, 2002).

Hoy en día, el crecimiento poblacional, la contaminación por la descarga de materiales de desecho urbanos e industriales y la escorrentía han

acumulado contaminación y restringido los recursos hídricos accesibles. El monitoreo y las aguas superficiales dominantes son necesarias e importantes para asegurar el suministro de agua de alta calidad para sus diversos usos (Hossen, Rafiq, Kabir & Morshed, 2019).

La calidad del agua de cualquier área específica o fuente específica se puede evaluar utilizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los valores de estos parámetros son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente si se presentaron por sobre los límites definidos (Tyagi, Sharma, Singh, & Dobhal, 2013).

2.3 INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA CALIDAD DEL AGUA

Las actividades antropogénicas dan como resultado una representativa disminución de la calidad del agua superficial y aumento de estrés en las fuentes; los cuerpos de agua desempeñan la función de asimilación y transporte de aguas residuales y de escorrentía, provocando serios problemas ecológicos y sanitarios. En cuencas hidrográficas con variables condiciones topográficas, la calidad de agua se caracteriza por su alto grado de heterogeneidad temporal y espacial, debido a las distintas coberturas de suelo alrededor, lo que puede dificultar la identificación de las fuentes de contaminación (Díaz & Granada, 2018).

La calidad de agua se degrada a causa de distintas actividades como las agrícolas, pecuarias, acuícolas, forestales, domésticas e industriales, las cuales, impactan negativamente causando perturbaciones de aspecto fisicoquímico, biológico, económico, social y cultural que inciden en el ambiente (Menchaca, López & García, 2019).

Las actividades sociales y económicas que influyen en la calidad del agua según Menchaca, López & García (2019) son:

- a) **Siembra de cultivos:** La agricultura es la mayor fuente de contaminación de suelos y de aguas a través de las escorrentías superficiales y su infiltración, sobre todo en el medio rural.
- b) **Desarrollo pecuario:** Las excretas, los residuos de curtidurías, desperdicios de los procesos de elaboración de alimentos son vertidos a los cuerpos de agua afectando su calidad, los principales componentes que contaminan el agua superficial son los desechos animales, antibióticos, hormonas, químicos de teñir pieles, fertilizantes y pesticidas.
- c) **Explotación de bosques, maderas y tala inmoderada:** La deforestación representa un gran impacto sobre el agua, aire y el suelo, desplazando las masas forestales y provocando erosión.
- d) **Descarga de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica:** Grandes cantidades de materia orgánica en el agua aumenta la DBO, disminuye el OD originando la muerte de especies acuáticas de plantas y animales, producen malos olores y enfermedades a la población adyacente.
- e) **Descarga de aguas residuales con tóxicos de origen industrial:** Los contaminantes químicos y materiales pesados que son vertidos en fuentes de agua se reflejan como malos olores, espumas que evitan la entrada de luz y reducen los niveles de OD, lo que desequilibra ecológicamente el cuerpo de agua.

Los contaminantes de fuentes antropogénicas que alteran el estado del agua superficial se clasifican según su descarga; las fuentes puntuales vierten contaminantes en puntos específicos, por medio de tuberías y alcantarillas y las fuentes no puntuales descargan contaminantes en extensas regiones de agua como en el caso de la agricultura (Romero, Gómez, Sánchez & García, 2009).

2.4 IMPACTO AMBIENTAL

Alteración favorable o desfavorable de la calidad ambiental o alguno de sus componentes, que resulta de una acción o actividad procedente de un proyecto, programa, ley o cualquier otro acto administrativo que involucre al medio ambiente (Alcaide, Salvador, Salvador & Sánchez, 2005).

2.4.1 Valoración de impacto ambiental

Es una de las metodologías utilizadas dentro de un estudio de impacto ambiental, una vez identificadas las actividades desarrolladas dentro de la zona de estudio, para establecer un diagnóstico, predecir, interpretar y comunicar el impacto que estas generan sobre el factor ambiental (Díaz, Malán, Terán & Villa, 2012). Se basa en análisis cuantitativos para la medición de la magnitud y cualitativos para la determinación de la incidencia, de manera subjetiva para comparar las diferentes alternativas e identificar los impactos positivos y negativos; para lo cual Esquivel & Villanueva (2012) proponen una matriz que evalúa el impacto total, dando ponderaciones de 1, 2 y 3 para bajo, medio y alto respectivamente; la clasificación de los impactos y su respectivo criterio de valoración se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios de clasificación de impactos ambientales

CLASIFICACIÓN DE IMPACTOS			
Carácter (C)	Positivo (1)	Negativo (-1)	Neutro (0)
Perturbación (P)	Importante (3)	Regular (2)	Escasa (1)
Importancia (I)	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Ocurrencia (O)	Muy probable (3)	Probable (2)	Poco Probable (1)
Extensión (E)	Regional (3)	Local (2)	Puntual (1)
Duración (D)	Permanente (3)	Media (2)	Corta (1)
Reversibilidad (R)	Irreversible (3)	Parcial (2)	Reversible (1)
TOTAL	18	12	6
VALORACIÓN DE IMPACTOS			
Impacto Total = C x (P+ I+ O+ E+ D+ R) (Ecuación 1)			
Negativo (-)			
Severo		≥ (-) 15	
Moderado		(-) 15 ≥ (-) 9	
Irrelevante		≤ (-) 9	
Positivo (+)			

Alto	$\geq (+) 15$
Mediano	$(+) 15 \geq (+) 9$
Bajo	$\leq (+) 9$

Fuente: (Esquivel & Villanueva, 2012)

2.5 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Para la evaluación de agua, se realizan constantes análisis y controles de factores fisicoquímicos y microbiológicos (Sosa Pérez, 2007).

2.5.1 Parámetros Fisicoquímicos

- a) Alcalinidad (ALC):** Representa la capacidad de neutralizar los ácidos, caracteriza la presencia de sustancias básicas en el agua, especialmente de ácidos débiles o bases fuertes (Torres & Navia, 2010). El bicarbonato es el mayor contribuyente a la alcalinidad, indican actividad fotosintética de algas o descargas industriales en el cuerpo de agua. Si la dureza es inferior a la alcalinidad, toda dureza es carbonatada, pero si la dureza es superior a la alcalinidad hay una parte de dureza no carbonatada asociada a otros aniones (Sigler & Bauder, 2017).
- b) Color Real (CR):** El agua natural es incolora y transparente (Martínez, 2016). Se considera que el color puede verse afectado por la descomposición de materia orgánica del suelo, presencia de hierro, manganeso y compuestos metálicos, turbiedad, temperatura, solubilidad de compuestos coloreados, presencia de SST, aguas residuales, desechos vegetales y animales, (Carpio & Haydée, 2009).
- c) Conductividad eléctrica (CE):** Es la capacidad de agua para conducir la electricidad, indica la presencia de materia ionizable, consecuencia de las impurezas presentes en el agua; el agua pura no es un buen conductor de electricidad (Lenntech, 2017). Los factores que afectan a la conductividad del agua son, fugas de aguas residuales, los iones descargados por la tierra y las rocas, sobre las

que fluye el agua, la temperatura, la salinidad y sólidos disueltos (State Water Resources Control Board, 2018a).

- d) Cloruro (Cl^-):** Su presencia en el agua se atribuye a la disolución de depósitos minerales de sal, contaminación proveniente de actividad industrial, agrícola y son típicos indicadores de contaminantes generados por aguas residuales domésticas, en especial puede presentarse un incremento de su contenido como consecuencia de la orina de humanos y animales, además se relacionan con la conductividad del agua. (Carpio & Haydée, 2009).
- e) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Se asocia con la presencia de materia orgánica biodegradable, la cantidad y tipo de elementos nutritivos y depende de la temperatura (Lecca & Lizama, 2014). Mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar, estabilizar y oxidar dicha materia; cuanta mayor sea la cantidad de esta en el agua los microorganismos necesitan más oxígeno para degradarla (Fernández Cirelli, 2012). En el laboratorio se analiza la cantidad de oxígeno que las bacterias consumen durante cinco días, y se lo conoce como DBO_5 (Solarte, 2012).
- f) Dureza total (DT):** Es la concentración de compuestos de sales minerales. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de sales de calcio, magnesio y menores cantidades de estroncio y bario en forma de carbonato o bicarbonato (Soto, 2010). Además, la dureza representa la capacidad del agua de reaccionar con el jabón y formar precipitados (Zilpa Hernández, 2015). Se la asocia con vertimientos de aguas residuales, sobre todo agrícolas y domiciliarias (Auquilla Cisneros, 2005).
- g) Fosfatos (PO_4^{-3}):** Son compuestos formados por fósforo, inhiben el crecimiento de las plantas en ríos o lagos, haciendo que el agua se vuelva turbia y de color verdoso, causando un exceso de nutrientes.

La forma más habitual de encontrar fosfatos en el agua es como aditivos de detergentes de aseo general, fertilizantes y fitosanitarios, también llegan a los cuerpos de agua en las rocas fosfáticas, escurrimiento agrícola, descarga de desechos industriales, aguas domésticas y negras (Liceo la Rita, 2013).

h) Grasas y Aceites (GyA): Pueden llegar a generar una disminución de la mojabilidad de los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua e imposibilitan la sedimentación, cubren a los microorganismos mediante la formación de una tela fina en la superficie del agua, disminuyendo la transferencia de luz, la captación de oxígeno y la depuración (Pérez & Rodríguez, 2007).

i) Nitrógeno: Es fundamental para el crecimiento de protistas y plantas, son bioestimuladores debido a que el nitrógeno sintetiza proteínas; el nitrógeno total está compuesto de, amoníaco, nitrito, nitrato y nitrógeno orgánico, pueden evidenciar la utilización de fertilizantes dentro de la cuenca (Avila & Canul, 2002).

- Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$): el crecimiento de algas, el decaimiento de la materia de plantas y animales, contaminación doméstica, industrial y agrícola, principalmente abonos, son factores que afectan la concentración de amoníaco (Claros Bedoya, 2012). Además, la presencia de amonio en el agua es un indicador de contaminación reciente por residuos animales y humanos (Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012).
- Nitratos (NO_3): Son parte de los nutrientes de los ríos, las principales vías de ingreso al agua superficial son las aguas residuales locales e industriales, los tanques sépticos, desechos de animales y descargas de gases de caños de escapes de automóviles (Liceo la Rita, 2013).

- j) **Oxígeno disuelto (OD):** Es un parámetro indicativo de la calidad del agua y su nivel de contaminación, sus altos niveles se relacionan con aguas más puras (Pulla, 2007). Los factores que intervienen en la concentración del OD en el agua son principalmente, la temperatura (ya que esta es inversamente proporcional al OD), presencia de algas, la reaeración, altitud, presencia de desechos de humanos y de animales, su concentración en el día es mayor que el de la noche debido a la intervención de la fotosíntesis y la temperatura ambiente (Goyenola, 2007).
- k) **pH:** Determina la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua, puede provocar alteraciones en la flora y fauna de las fuentes de agua (Hounslow, 2018). Las causas principales que originan un cambio de pH son la capacidad de neutralizar el agua mediante cojines naturales como el CO_2 del aire, y la entrada de sustancias básicas o ácidas (sintéticas o naturales) como cambio de vegetación, material de fondo, la temperatura y actividad humana que afecte la corriente. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14, un aumento de una unidad en esta escala representa una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno (State Water Resources Control Board, 2018b).
- l) **Sólidos:** Totales, suspendidos, disueltos y sedimentables son indicadores de la presencia de sales disueltas, partículas en suspensión de carácter orgánico e inorgánico en el agua (Cardona Benavides, 1990).
- Sólidos disueltos totales (SDT): Son clasificados como un contaminante secundario por la agencia de protección ambiental, tienen relación con la conductividad y la turbiedad. Los factores que aumentan los SDT en el agua son la presencia de sales, minerales, metales, y cualquier compuesto

menor a 5 micras que se disuelven en el agua (Sigler & Bauder, 2017).

- **Sólidos suspendidos totales (SST):** Conocido como el residuo no filtrante de una muestra de agua, definido como una porción de sólidos retenidos en un papel filtro secado a 103 - 105 °C (Laboratorio de Química Ambiental Ideam, 1997). Provenientes de todo tipo de sustancias mayores a 5 micras, incapaces de disolverse en el agua, originarias de aguas residuales y de la erosión de suelos, transportados por la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua, causan turbidez y reducen la penetración de luz impidiendo el desarrollo de flora acuática y afectando a la biodiversidad en general (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014).

m) Turbiedad (TURB): Es el grado de transparencia modificado por la presencia de partículas en suspensión, de sólidos especialmente coloidales (arcilla, fragmentos de roca, sustancias del lecho, entre otras), resultan de los aportes de las fibras vegetales, de aguas residuales domésticas o industriales. (Sosa Pérez, 2007; Fernández, 2012).

n) Temperatura (TEMP): Es un parámetro de suma importancia para los ecosistemas acuáticos, directamente relacionado con la concentración de oxígeno disuelto, afecta a gran parte de los procesos biológicos que tienen lugar en ecosistema acuático (Fernández, 2012). Puede verse afectada por la energía solar, profundidad del agua, afluencia de aguas subterráneas y superficiales, factores antropogénicos como eliminación de la vegetación de ribera, erosión de la tierra, color, turbidez, aumento de escorrentía y descargas de agua (State Water Resources Control Board, 2018c).

2.5.2 Parámetros Microbiológicos

Bacterias coliformes: Son un grupo de microorganismos que viven en grandes cantidades dentro de los intestinos de los animales y los seres humanos (Sosa Pérez, 2007).

- a) **Coliformes Fecales (COLIF_F):** Son los mejores indicadores de la presencia de contaminación fecal reciente, no distingue entre contaminación humana y animal, es un riesgo sanitario en el agua que pueden llevar a enfermedades graves en la salud humana (Ramos, Vidal, Vilardy & Saavedra, 2008). Aparecen en aguas superficiales a causa de descargas de aguas residuales domésticas o de fuentes de desecho animal y humano (Cortés Lara, 2003).
- b) **Coliformes totales (COLIF_T):** Son grupos de bacterias (*Citrobacter*, *Enterocabter*, *Websiella* y *Escheridia coli*), indicadores idóneos para el agua potable (Sosa Pérez, 2007); crecen en ambientes aeróbios y facultativamente anaeróbios, se encuentran comúnmente en el ambiente, en el suelo, en las plantas y semillas, también son comunes en desechos de alcantarillas (Navarro Roa, 2007).

2.6 MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES

Para realizar los diferentes muestreos de agua se debe tomar en cuenta los siguientes criterios, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 2 169:98 del año 1998.

- a) **Accesibilidad:** Es necesario analizar accesibilidad vial y peatonal como senderos o caminos ya trazados hacia la fuente de agua, con el fin de facilitar el transporte de las muestras ya tomadas.
- b) **Seguridad:** El punto de muestreo, sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de las personas responsables del muestreo, minimizando los riesgos de accidentes y de lesiones personales.

c) Método de Muestreo, conservación, transporte y seguridad: La metodología para la toma de muestras se encuentra en la norma NTE INEN 2 169:98 del año 1998 para la calidad del agua para el muestreo, manejo y conservación de muestras y el Protocolo 4: Calidad fisicoquímica del agua realizada por ETAPA EP, SENAGUA - DHS, Universidad de Cuenca, Programa PROMETEO de la SENNECYT; estas normativas describen los procedimientos, y técnicas para la conservación, transporte y seguridad de las muestras tomadas (Acosta, Hampel, González & Mosquera, 2014).

2.6.1 Tipo de muestra

a) Muestra simple o puntual

Se toma en un lugar y tiempo determinado, completando un volumen suficiente para llevar a cabo los análisis respectivos (Quinapanta, 2013). Esta muestra refleja las circunstancias específicas bajo las cuales se hizo la recolección (Barreto, Espinoza & Leiva, 2009).

b) Muestra compuesta en el tiempo

Es la combinación de muestras simples tomadas en el mismo lugar en distintos tiempos, de volúmenes iguales o proporcional al caudal durante el periodo de muestras, son empleadas para la determinación de concentraciones promedio (Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016).

2.7 MEDICIÓN DEL CAUDAL

Se define como caudal, al volumen líquido que pasa por una sección transversal del cauce del cuerpo de agua en una unidad de tiempo, se lo expresa en m³/s o l/s. El caudal de una fuente varía según las condiciones meteorológicas; en tiempos de altas precipitaciones el caudal es mayor, y disminuye en tiempos de bajas precipitaciones o sequías (Cadavid, 2006).

$$Q = V * A \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Q: Caudal (m^3/s)

V: Velocidad del agua determinada con el correntómetro (m/s)

A: Área del río o canal (m^2)

El método del correntómetro para medir el caudal consiste en un equipo digital con una hélice y un cojinete, acoplado a un poste de sonda telescópica que termina en una pantalla donde se muestra la velocidad real medida, se puede guardar la medición, tomar el tiempo, y señalar el mínimo y máximo de la velocidad, en m/s , de manera instantánea y se actualiza una vez por segundo.

Para determinar la velocidad del agua superficial, se toma un tramo del cauce y con ayuda del equipo correntómetro, debidamente calibrado, se mide la velocidad en varios puntos dados en el cuerpo de agua, se registra digitalmente y se promedia (Ortega, Álvarez, & Leiva, 2014).

El área del canal o de la quebrada, se establece multiplicando los promedios+ de la profundidad y el ancho del cauce, ambas cantidades expresadas en metros, en un transecto lo más recto posible y libre de obstáculos (Yépez, 2016).

$$A = hp * a \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

A: Área (m^2)

hp: Profundidad promedio (m)

a: Ancho promedio (m)

2.8 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

Un índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta estadística planteada para simplificar el análisis de gran cantidad de información, interrelacionando los parámetros involucrados y estudiando el comportamiento de éstos en forma individual (Rubio, Ortiz & Martínez, 2014). Surgen con el objetivo de evaluar la calidad del recurso hídrico, en el transcurso del tiempo, pueden

ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad de agua. Según Fernández & Solano (2005) los posibles usos de los índices son:

- a) **Manejo del recurso:** Generan información necesaria para la toma de decisiones acerca de las prioridades del recurso hídrico.
- b) **Clasificación de áreas:** Permiten comparar el estado del agua en diferentes áreas geográficas.
- c) **Aplicación de la normativa:** Es posible determinar casos de incumplimiento con la normativa ambiental vigente de cada país.
- d) **Análisis de la tendencia:** Indican la variación de la calidad ambiental a lo largo de un periodo de tiempo.
- e) **Información pública:** Proveen información necesaria para tomar acciones de concientización y educación ambiental.
- f) **Investigación científica:** Simplifica los datos para poder analizarlos y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Se han realizado modificaciones en los índices dependiendo el objetivo y área de estudio. Dentro de los índices de calidad de agua de importancia a nivel mundial según Fernández & Solano (2005) se encuentra el índice de calidad de agua (ICA) propuesto por Montoya en 1997 para determinar la calidad de agua superficial de los ríos del estado de Jalisco en México. Este índice engloba parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales son fáciles de coleccionar, analizar y monitorear periódicamente (Lozada, Vélez & Patino, 2009).

Montoya planteó determinar un ICA para caracterización y diagnóstico de la situación ambiental y ecológica de los cuerpos hídricos, propone una calificación de la calidad de agua entre valores de 0 a 100, en donde valores cercanos a 100 indican una buena calidad, mientras que valores próximos a 0 señalan una mala calidad del agua. El ICA de Montoya 97 está constituido

por dieciocho variables clasificadas dentro de cuatro categorías (Chiliquinga & Donoso, 2013).

- I. **Cantidad de materia orgánica:** Oxígeno disuelto (OD), y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).
- II. **Materia bacteriológica:** Coliformes totales (COLIF_T) y coliformes fecales (COLIF_F).
- III. **Características físicas:** Color real (CR) y la Turbiedad (TURB).
- IV. **Materia inorgánica:** Alcalinidad (ALC), dureza total (DT), cloruros (Cl⁻), conductividad eléctrica (CE), concentración de iones hidrógeno (pH), grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), nutrientes: nitratos (NO₃), nitrógeno amoniacal (NH₃-N), fosfatos (PO₄⁻³) y detergentes (SAAM).

El cálculo del ICA de Montoya 97 se basa en la siguiente fórmula, de acuerdo a Fernández & Solano (2005).

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n Ii \cdot Wi}{\sum_{i=1}^n Wi} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

Ii: Función subíndice de calidad para el parámetro i

Wi: Coeficiente de ponderación para el parámetro i

n: Número de variables empleadas

ICA: Índice de calidad de agua.

Las ecuaciones para los subíndices de los diferentes parámetros se presentan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Subíndices de los parámetros para el cálculo del ICA "Montoya 97"

Parámetros	Subíndices
Color real	$Ic = 123 (C)^{-0.295}$ (Ecuación 5)
Turbiedad	$IT = 108 (T)^{-0.178}$ (Ecuación 6)
Conductividad eléctrica	$ICE = 540 (CE)^{-0.379}$ (Ecuación 7)

Sólidos suspendidos Totales	$ISS = 266.5 (SS)^{-0.37}$ (Ecuación 8)
Sólidos disueltos Totales	$ISD = 109.1 - 0.0175 (SD)$ (Ecuación 9)
Potencial de Hidrógeno	a) $I_{pH} = 10^{0.2335pH+0.44}$ $pH < 7$ (Ecuación 10.1) b) $I_{pH} = 100$ $pH = 7$ (Ecuación 10.2) c) $I_{pH} = 10^{4.22-0.293pH}$ $pH > 7$ (Ecuación 10.3)
Alcalinidad total	$IA = 105 (A)^{-0.185}$ (Ecuación 11)
Dureza total	$IDT = 10^{1.974-[0.00174 (DT)]}$ (Ecuación 12)
Fosfatos totales	$I_{PO_4^{-3}} = 34.215 (PO_4^{-3})^{-0.46}$ (Ecuación 13)
Cloruros	$ICL = 121 (CL)^{-0.223}$ (Ecuación 14)
Nitrógeno de Nitratos	$IN - NO_3 = 62.2 (N - NO_3)^{-0.343}$ (Ecuación 15)
Nitrógeno Amoniacal	$INH_3 = 45.8 (N - NH_3)^{-0.343}$ (Ecuación 16)
Oxígeno disuelto	$IOD = \frac{100(OD)}{14.492 - 0.384 T + 0.054 T^2}$ (Ecuación 17)
DBO	$IDBO = 120(DBO)^{-0.673}$ (Ecuación 18)
Coliformes Totales	$ICT = 97.5 (CT)^{-0.27}$ (Ecuación 19)
Coliformes Fecales (E. Coli)	$IEC = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27}$ (Ecuación 20)
Grasas y aceites	$IGA = 87.25 (GA)^{-0.298}$ (Ecuación 21)
Detergentes	$ID = 100 - 16.8 (D) + 0.161 (D)^2$ (Ecuación 22)

Fuente: (Fernández & Solano, 2005)

Las muestras de calidad de agua son unas más representativas que otras, por este motivo se consideran coeficientes de ponderación o pesos específicos adimensionales a las 18 variables designadas, estos pesos tienen una relación con la naturaleza del cuerpo de agua en estudio, y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes de ponderación para el ICA de Montoya 97

Parámetros	Ponderación (W)	Parámetros	Ponderación (W)
Color real	1.0	Fosfatos totales	2.0
Turbiedad	0.5	Cloruros	0.5
Conductividad	1.0	Nitratos	2.0

Sólidos suspendidos totales	1.0	Nitrógeno Amoniacal	2.0
Sólidos disueltos totales	0.5	Oxígeno disuelto	5.0
pH	1.0	Demanda bioquímica de oxígeno	5.0
Alcalinidad total	0.5	Coliformes totales	3.0
Dureza total	1.0	Coliformes fecales	4.0
Grasas y aceites	2.0	Detergentes	3.0

Fuente: (Fernández & Solano, 2005)

En la tabla 4 se especifica el criterio general según los rangos de clasificación del ICA de Montoya 97, los cuales se asignan una vez realizados los cálculos correspondientes.

Tabla 4. Rango de clasificación del Ica de acuerdo al criterio general

ICA	CRITERIO GENERAL
85-100	No contaminado
70-84	Aceptable
50-69	Poco Contaminado
30-49	Contaminado
0-29	Altamente Contaminado

Fuente: (Fernández & Solano, 2005)

2.9 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La prueba de Análisis de Componentes Principales (ACP) permite sintetizar gran número de variables, reduciendo a una menor cantidad e incluyendo la mayor información posible. Es un método estadístico algebraico que agrupa las variables con alto grado de asociación y que aportan variación de la calidad del agua, proporcionando datos significativos de las posibles fuentes de contaminación (Díaz & Granada, 2018). Para ello se seleccionan

variables, tomando en cuenta un número y peso de los mismos, de manera que la pérdida de varianza total sea sólo la idónea (Lozares & López, 1991).

El ACP da una estructura a la información de una determinada matriz de datos, cumpliendo con ciertas exigencias tales como, mantener la información inicial al preservar la varianza total, asegurar la estructuración de las variables iniciales y explicar la implicación de la varianza total en diferentes dimensiones (Lozares & López, 1991). El cálculo de los componentes principales parte de la matriz de correlación, para dar igual importancia a todas las variables originales, habitualmente se conservan sólo los componentes que agrupan la mayor parte de la variabilidad, hecho que permite representar los datos en dos o tres dimensiones diferentes, las cuales se reflejan en gráficas y su análisis se basa en las variables significativas ya sean positivas o negativas (Ramírez, Antúnez & Rodríguez, 2016).

2.9.1 Matriz de correlación

Esta matriz expone los valores de correlación de Pearson y mide el grado de afinidad lineal entre cada par de variables, en un rango de -1 a +1, en donde 0 indica que no existe ninguna correlación, mientras que 1 muestra fuertes relaciones entre las dos variables. Las correlaciones positivas indican que la proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable, mientras que las correlaciones negativas indican lo contrario (Mason, Lind, Marchal, & Lozano, 1998).

2.9.2 Desviación estándar

La desviación estándar es un índice numérico de la dispersión de un grupo de valores con respecto a la media, en tanto más alta es la desviación estándar, mayor es la dispersión de la muestra (Torres, 2006). De manera general se define a la desviación estándar como la raíz cuadrada de la varianza de la variable (Montgomery, Runger, & Medal, 1996).

2.9.3 Varianza

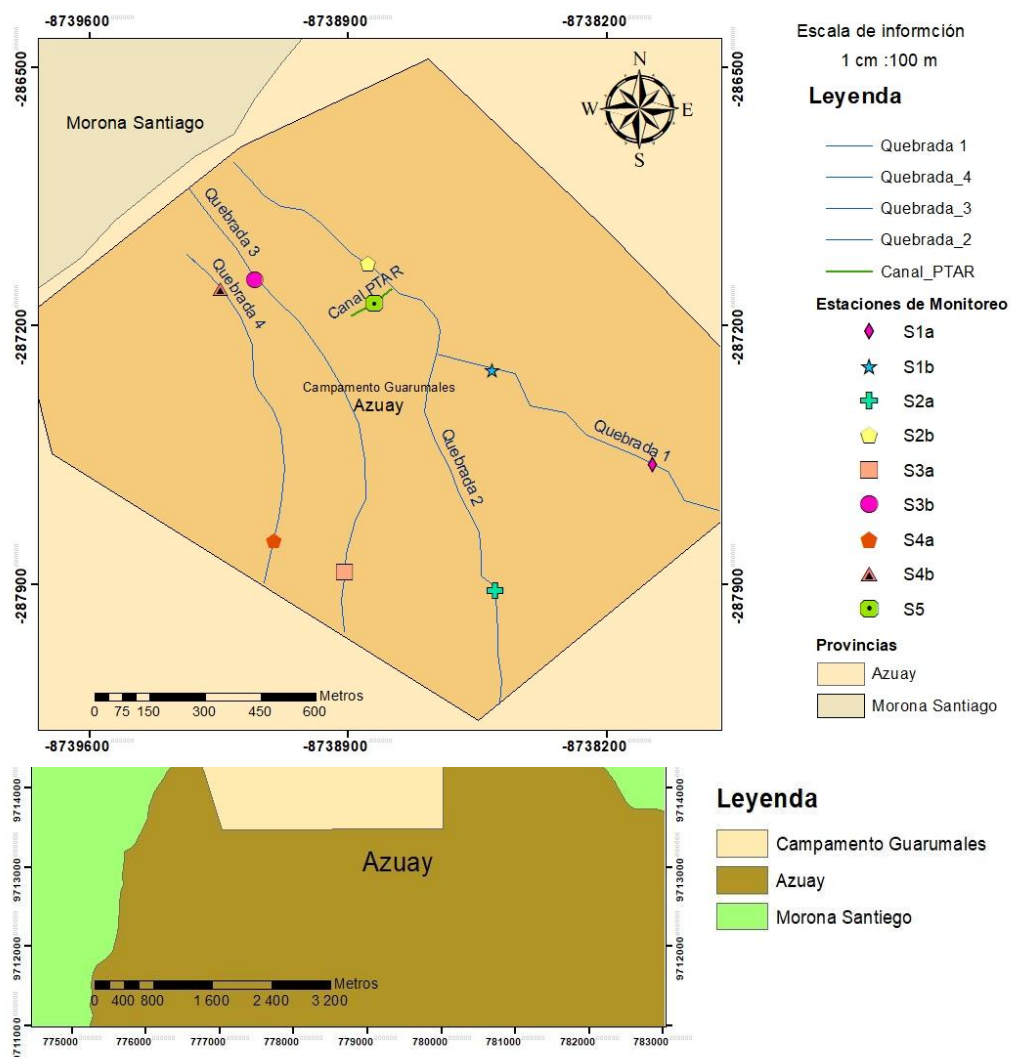
La varianza de un conjunto de valores, es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de la misma (Spiegel & Stephens, 2009).

La varianza al igual que desviación estándar, son valores numéricos de dispersión de datos u observaciones. La dispersión de estos datos muestra el cambio que estos presentan, es decir, si todos los valores en un grupo de datos son los mismos, entonces no hay dispersión, pero por lo contrario, si no todos son semejantes entonces hay dispersión (Aroca, García, & López, 2009)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El campamento Guarumales perteneciente al proyecto Hidroeléctrico Paute Integral, se localiza en el cantón Sevilla de Oro en la provincia del Azuay, limita con las provincias de Morona Santiago y Chimborazo, a pie del campamento se encuentra el río Paute, y del otro lado el Parque Nacional Sangay, posee bosques ribereños y bosques húmedos tropicales, esto dentro y fuera del campamento (CELEC EP, 2013).



En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica del campamento Guarumales con respecto al territorio ecuatoriano. En la Figura 2 se observa específicamente el canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las quebradas y estaciones monitoreadas que conforman la zona de estudio.

3.1.1 Perfil altitudinal

En la Figura 3 se muestran los perfiles altitudinales correspondientes al canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales

(PTAR) y a las quebradas y se describe en función de las estaciones de monitoreo establecidas tanto para aguas arriba (Aa) como aguas abajo (Ab).

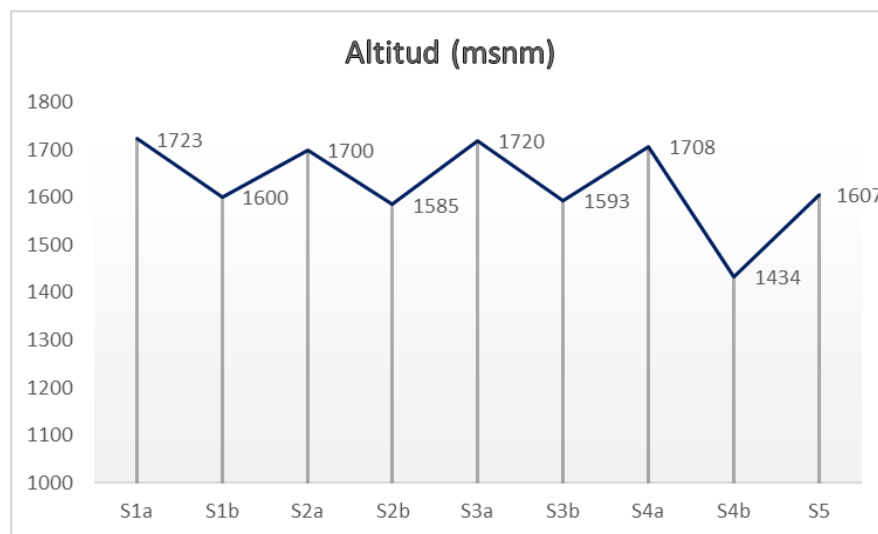


Figura 3. Perfiles altitudinales del canal PTAR y quebradas del campamento Guarumales
Fuente: Autores, 2019

3.1.2 Pendiente

Las pendientes en el predio del campamento Guarumales se observan en la Figura 4, y se puede evidenciar pendientes máximas de hasta 89 grados, sobre todo en las periferias del río Paute.

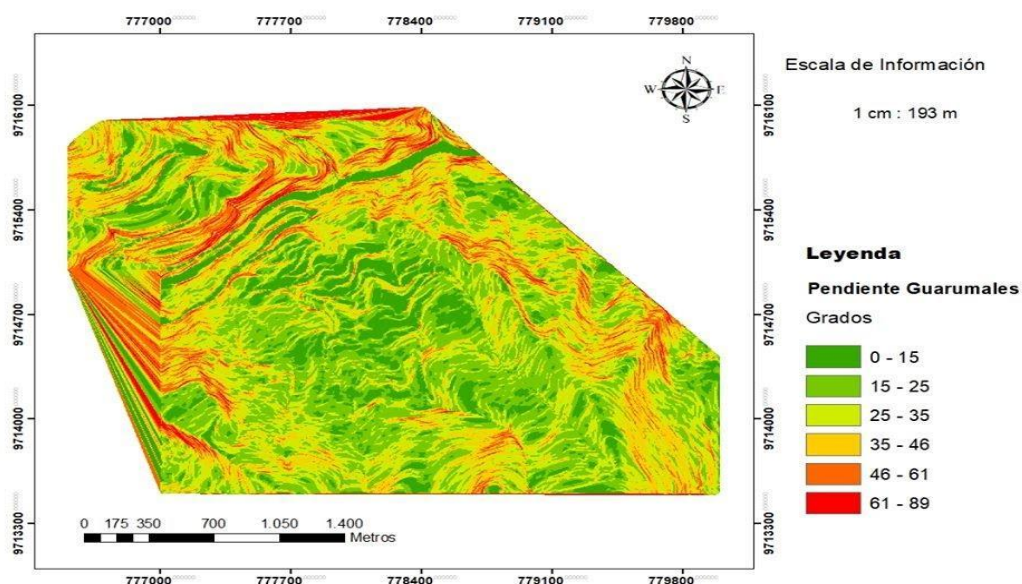


Figura 4. Pendientes del campamento Guarumales
Fuente: ODEPLAN 2012_WGS84 & Autores, 2019

3.1.3 Geología

Una frontera geomorfológica al interior del valle del río Paute es la represa de Amaluza de la central hidroeléctrica Molino, en donde la Cordillera Real es cortada por el río Paute, debido a un estrechamiento de los valles que se extiende hasta la región sub andina pasando por el campamento Guarumales el cual se asienta en la Cordillera Real de los Andes ecuatorianos (Cevallos Andrade, 2010).

En la zona de Guarumales la geología está conformada, según Cevallos Andrade (2010) por:

a) En el Paleozoico:

Terreno Loja: Unidad Agoyán y Unidad Chiguinda.

b) En el Triásico Superior:

Terreno Loja: Granito Tres Lagunas.

c) Jurásico a Cretácico Inferior:

Terreno Salado: Unidad Cerro Hermoso y Unidad Upano.

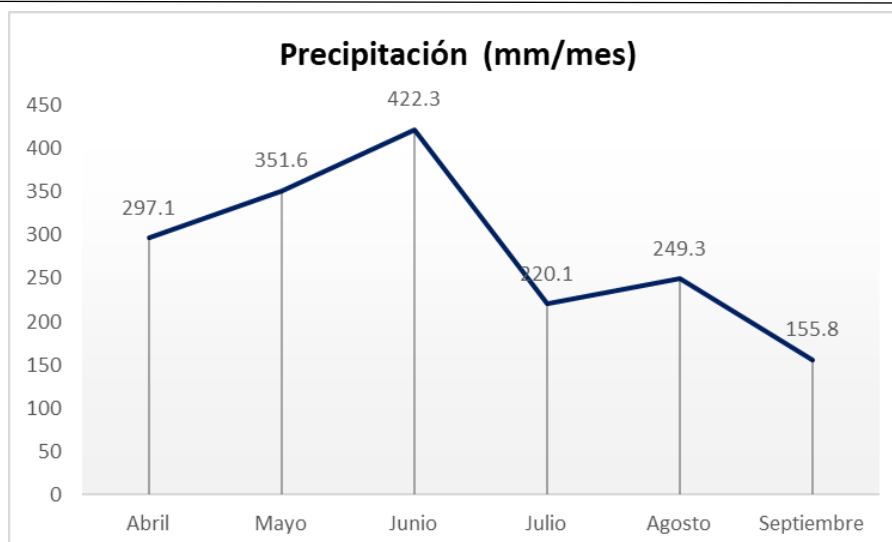
Terreno Alao: Unidad Manguazo, Unidad Alao-Paute y Unidad El Pan.

d) Cretácico: Formación Yunguilla, Formación Napo y Formación Hollín.

e) Terciario: Volcánicos continentales, Granodiorita y Pórfido.

En conjunto toda la zona que incluye al campamento Guarumales hasta la ciudad de Méndez está compuesta por sedimentos metamorfizados y vulcanitas instruidos por granodioritas en el Terciario y contiene a las unidades Cerro Hermoso del terreno Salado, Upano y la Unidad Alao Paute que pertenecen al período Jurásico. Luego están las unidades Agoyán y Chiguinda que pertenecen al Paleozoico y la Unidad El Pan de la formación Alao que pertenece al Jurásico. Más hacia el oeste están las rocas de la Formación Yunguilla, que son rocas máficas, porfiríticas y productos piroclásticos continentales.

3.1.4



Meteorología

Los datos de precipitación y temperatura se obtuvieron de la estación meteorológica Campbell Scientific, ubicada dentro del campamento Guarumales. Las condiciones de temperatura en el sector tienen un promedio de 14 – 19°C; la precipitación total registrada durante los seis meses de monitoreo se muestra en la Figura 5. Durante el mes de abril la precipitación mensual registrada fue de 297.1 mm, para el mes de mayo y junio aumentó paulatinamente, posteriormente en julio se pudo evidenciar una considerable disminución, para agosto hubo un pequeño incremento y nuevamente una disminución para el mes de septiembre; tal y como se refleja en la Figura 5 se pudo patentizar que los meses de invierno y altas precipitaciones fueron los meses de abril, mayo y junio, mientras que los meses de julio, agosto y septiembre al presentar menores precipitaciones se consideran como meses secos o de verano.

Figura 5. Variación de la precipitación en el campamento Guarumales, durante el periodo de monitoreo

Fuente: CELEC EP & Autores, 2019

3.2 EQUIPOS USADOS

En la tabla 5 se encuentran la lista de equipos utilizados tanto para el monitoreo in situ como en el análisis realizado en el laboratorio, además se detalla el principio de cada uno.

Tabla 5. Equipos utilizados durante el monitoreo y principio utilizado.

Parámetro	Sitio	Equipo /método	Principio
Potencial de Hidrógeno (pH) Temperatura (TEMP) Oxígeno Disuelto (OD) Conductividad Eléctrica (CE) Sólidos Disueltos Totales (SDT)	In situ	Medidor multiparámetro modelo U52G-10	Unidad de control, sonda con cable de 2 metros, sensores, solución pH 4.00 100-4 x 500 ml, solución 330 para electrodo de referencia x 250 ml, kit de membranas de reemplazo para el sensor de oxígeno disuelto x 3 unidades, llave para el sensor de oxígeno disuelto.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Laboratorio	MNE 2540-C	La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

Dureza Total (DT)	Laboratorio	MNE 2340-B	Se basa en la capacidad que tiene la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para formar complejos de quelato solubles al añadirse a soluciones de algunos cationes metálicos.
Color Real (CR)	Laboratorio	MNE 2120-B	La coloración de un agua introducida en tubos de calorimetría se compara con la de una solución de referencia de platino-cobalto o bien con discos de vidrio coloreados y se expresa en unidades Hazen.
Alcalinidad (ALC)	Laboratorio		La Alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresando los resultados como carbonato de calcio, CaCO_3 .
Turbiedad (TURB)	Laboratorio	MNE 2130-B	Se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en condiciones similares; cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
Cloruros (Cl^-)	Laboratorio	MNE 4500 Cl^- -C	El cloruro presente en la muestra reacciona con el tiocianato mercúrico para formar cloruro mercúrico y liberar el ión tiocianato. Los iones tiocianatos reaccionan con los iones férricos para formar un compuesto naranja de tiocianato férrico. La concentración de este compuesto es proporcional a la concentración de cloruro. Los resultados del ensayo se miden a 455 nm
Demanda Bioquímica	Laboratorio	MNE	Una pequeña muestra de agua

de Oxígeno (DBO_5)		5220-C	residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300ml). La botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. Después de incubar la botella por cinco días a 20 C, la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en mg/L, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada
Fosfatos (PO_4^{-3})	Laboratorio	MNE 4500 P-C	El ortofosfato reacciona con molibdato en un medio ácido, y forma un complejo de fosfato/molibdato. En presencia de vanadio, se forma el ácido vanadomolibdofosfórico amarillo. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfato. Los resultados del análisis se miden a 420 nm.
Nitratos (NO_3)	Laboratorio	MNE 4500-B	Los iones de nitrato en soluciones que contienen ácido sulfúrico y ácido fosfórico reaccionan con 2,6-dimetilfenol para formar 4-nitro-2,6-dimetilfenol. Los resultados del ensayo se miden a 345 nm
Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$)	Laboratorio	MNE 4500-E	Los compuestos de amoníaco se combinan con el cloro para formar monocloramina que reacciona con salicilato y forma 5-aminosalicilato. El 5-aminosalicilato se oxida en presencia de un catalizador de nitroprusiato sódico formando un compuesto de color azul. El color azul es enmascarado por el color amarillo debido a la presencia excesiva de reactivo, y da lugar una solución de color verde. Los

			resultados del ensayo se miden a 655 nm.
Coliformes Totales Coliformes Fecales (COLIF_T COLIF_F)	Laboratorio	1529-1 INEN NMP	Es una estimación estadística del número de microorganismos supuestos en el agua distribuidos de manera aleatoria (Ley de Poisson), las bacterias se multiplican libremente en el medio líquido inoculado vira a la posibilidad (turbidez o viraje del indicador). La precisión aumenta con el número de réplicas por dilución, aunque las microplacas de 12 x 8 unidades de inoculación se adaptan muy bien al método. Esta permite, en función del número de tubos o unidades de inoculación positivos de cada serie, indicar el valor estadísticamente más probable: "número más probable"
Grasas y Aceites (G y A)	Laboratorio	Simple vista	Visibilidad de capa opaca que tiende a flotar, debido a su densidad menor a la del agua.

Fuente: (Clesceri, Greenberg, Trussell & Frason, 1992; Rodier, Legube & Merlet, 2011)

3.3 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA

En el mes de agosto se realizó un recorrido por el campamento, iniciando por la entrada principal en la vía Guarumales – Méndez, continuando por cada una de las vías de acceso a los diferentes barrios, sitios de recreación, oficinas, talleres y más, finalizando en la vía junto al río Paute. Se observaron e identificaron detalladamente todas las actividades que se llevan a cabo dentro del mismo, registrando y fotografiando una por una, este proceso se efectuó con ayuda de un funcionario de la empresa quien guió este trayecto.

Para establecer una relación entre las actividades desarrolladas en el campamento y la calidad de agua superficial, adicionalmente se realizó la matriz propuesta por Esquivel & Villanueva (2012), en la cual se considera

como medio afectado a las cuatro quebradas y el canal PTAR. Se englobó a las diferentes acciones realizadas en el campamento en seis actividades para la valoración de la incidencia de estas sobre los cuerpos de agua, tomando en cuenta siete características del impacto, como se mencionó en la tabla 1. Finalmente se estimó un valor entre los rangos establecidos, que representa una calificación a cada actividad realizada en las diferentes quebradas y el canal PTAR, para luego promediar el impacto total.

3.4 MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES

Los monitoreos se realizaron durante seis meses consecutivos en el canal de aguas provenientes de la PTAR y las cuatro quebradas que atraviesan por el predio del campamento Guarumales, considerando las estaciones marcadas en Ecuador (invierno y verano), y tal como se observa en la Figura 5, los meses de lluvias (abril, mayo y junio) y los de menor precipitación (julio, agosto y septiembre)

3.4.1 Estaciones de Muestreo

Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas tomando en cuenta el protocolo de accesibilidad y seguridad establecido en el Instituto Ecuatoriano de Normalización - NTE INEN 2 169:98 del año 1998. Además, se consideró el lugar en dónde empieza y termina la interacción con el campamento de cada una de las quebradas tanto aguas arriba (Aa) como aguas abajo (Ab).

A continuación, en las tablas 6 y 7 se detallan las características principales y coordenadas en UTM tomadas con un GPS de marca GARMIN en cada una de las estaciones monitoreadas. En la Figura 2 se presentó la ubicación de dichas estaciones de monitoreo.

Tabla 6. Ubicación de las estaciones de muestreo y sus características

Estación	Registro fotográfico
----------	----------------------

S1a: Ubicada junto a la vía, en la entrada al campamento, a 20 metros de la garita de control de entrada; el agua proviene de un terreno de pasto y agricultura. El material del fondo se identificó como, grava gruesa y piedra; esta estación se reconoció como la de mayor altitud; en la parte superior izquierda se encuentra un pequeño tubo proveniente del terreno que limita con la vía principal.

Tipo de muestra: simple



S1b: En esta zona aumenta el riesgo de deslizamientos, junto a una calle secundaria no asfaltada, a 50 metros de la escuela Amaluza, su material de fondo es grava y piedra, a sus alrededores se observan escombros.

Tipo de muestra: simple



S2a: Este punto se encuentra ubicado junto a la vía del barrio Pinos, es el punto de mayor accesibilidad, el agua corre por un canal de 50 cm de ancho, de hormigón y pavimento, el agua cruza por una zona de pastoreo y finca agrícola fuera del campamento.

Tipo de muestra: simple



S2b: Un punto de gran pendiente, ubicado a 150 metros de la estación 5, fue necesario abrir un nuevo sendero para el acceso, está lejos de las vías de comunicación, rodeada de vegetación propia de la zona.



S3a: Ubicada a 70 metros de la PTAP, alejada de vías de comunicación, el material de fondo se lo identificó como grava y piedra, cuenta con un pequeño puente de madera y un sendero que facilita la accesibilidad, arriba de este punto se encuentra una zona ganadera y agrícola.

Tipo de muestra: simple



S3b: Se ubica por debajo de la vía, en un canal encofrado, su material de fondo en cierto tramo se caracteriza por tener pavimento y hormigón, mientras que el resto del transepto está conformado por grava y piedra.

Tipo de muestra: simple



S4a: Se localiza a 500 metros de la vía de comunicación, está rodeada de vegetación propia de la zona, es la más grande a comparación de las demás estaciones en Aa, su material de fondo es grava y piedra, en este punto inicia la interacción con el campamento y limita con un terreno de pasto, ganado y agricultura.

Tipo de muestra: simple



S4b: Se ubica junto a la vía de acceso, se caracteriza por su pronunciada pendiente antes de desviar el agua por un canal abierto, su material de fondo en un cierto tramo es de grava y piedra, y el canal de latón ondulado.

Tipo de muestra: simple



S5: Ubicado a 50 metros de la PTAR, el agua corre por un canal de pavimento y hormigón hasta desembocar en la quebrada S2b, a lo largo de su transecto se presentan malos olores, ya que el agua proviene en mayor parte de la PTAR que trata aguas residuales precedentes de algunos algunas actividades realizadas en el campamento; a sus alrededores se observa la presencia de aves en especial de gallinazos, lo que se atribuye a que está cerca del relleno sanitario y el área de clasificación de residuos.

Tipo de muestra: compuesta



Fuente: Autores, 2019

Tabla 7. Coordenadas UTM de las estaciones monitoreadas

Nombre	Longitud (X)	Latitud (Y)
S1a	778250	9714379
S1b	778128	9714722
S2a	778122	9714263
S2b	778047	9714893
S5	765061	9713590
S3a	777860	9714119
S3b	777172	9714655
S4a	777618	9714103
S4b	777072	9714524

Fuente: Autores, 2019

3.4.2 Frecuencia y procedimiento de muestreo

El monitoreo se realizó durante seis meses consecutivos, desde el mes de abril hasta septiembre, del año 2019, la toma de muestras se realizó mensualmente de forma manual, tomando en cuenta dos temporadas climáticas que tiene el país, es decir invierno o etapa lluviosa (27 - 28 de abril, 26 - 27 de mayo y 27 - 28 de junio), y verano o etapa de sequía (28 - 29 de julio, 27 - 28 de agosto y 26 - 27 de septiembre).

El procedimiento para el monitoreo y toma de muestras se llevó a cabo de la siguiente manera:

- I. Mediante la utilización de un multiparámetro (Figura 6) previamente calibrado, se midieron parámetros in situ como, temperatura (TEMP), cantidad de oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (CE), en cada una de las estaciones.



Figura 6. Medidor multiparámetro U52G-10

- II. Los recipientes usados fueron de plástico de un litro para las muestras simples y dos litros para compuesta, los tachos fueron previamente etiquetados (Figura 7), se homogeneizaron con el agua de las quebradas y para tomar los recipientes se colocaron en contracorriente.



Figura 7. Recipientes recolectores

- III. Los recipientes se llenaron completamente y se cerraron debajo del agua con el fin de evitar que quedará aire dentro de la muestra.
- IV. La muestra compuesta se conformó de varias submuestras de 0.2 litros cada una en un periodo de 24 horas y 2 horas de frecuencia, hasta completar los dos litros.



Figura 8. Hielo artificial y contenedor


- V. Para conservar  y trasladar las muestras se las mantuvo en un contenedor de poliestireno expandido (Figura 8) con bolsas de hielo sintético para mantener la temperatura óptima.
- VI. El análisis de los parámetros se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y Suelos, de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca (Figura



Figura 9. Análisis de las muestras en el laboratorio

3.4.3 Tipo de Muestras

Las muestras se tomaron manualmente, en total ocho muestras simples, de las cuales cuatro fueron aguas arriba (Aa) (una en cada quebrada) y cuatro aguas abajo (Ab) del campamento (una en cada quebrada), la muestra compuesta se tomó en el canal de aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) debido a que su composición varía durante el día, tal como se indicó en la tabla 6.

3.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Para determinar el caudal, se procedió a medir la profundidad promedio de cada estación, con un del flexómetro en las partes menos profundas y en las más profundas se utilizó la varilla con mediciones establecidas del correntómetro; de la misma manera se midió el ancho.

En cuanto al cálculo de la velocidad se utilizó un correntómetro digital Global Water modelo FP11, Figura 10, teniendo en cuenta las condiciones de canales abiertos y uniformes de fácil acceso. Se apuntó la hélice del correntómetro directamente en el curso de agua de las quebradas, considerando que la flecha en el interior de la carcasa del propulsor esté contra corriente y posteriormente la velocidad instantánea se reflejó en la pantalla digital. Las mediciones de velocidad se tomaron simultáneamente con las medidas de profundidad, es decir en varias secciones y de igual manera se promediaron, y finalmente se aplicó la Ecuación 2 para el cálculo del caudal. Se anotó los respectivos datos en una bitácora, Figura 11.



Figura 10. Correntómetro

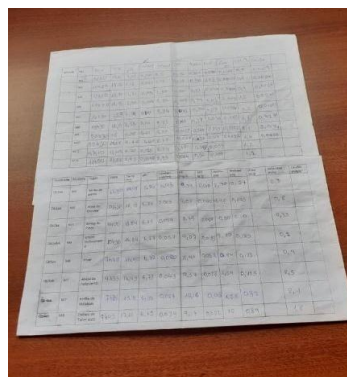


Figura 11. Bitácora

3.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

3.6.1 Cálculo del Índice de Calidad de Agua de Montoya 1997 (ICA)

Para el cálculo de este índice se excluyó 2 de las 18 variables propuestas para el ICA de Montoya 97, detergentes y grasas, que por cuestiones técnicas dentro del laboratorio no se pudieron determinar, razón por la cual, bajo el sustento teórico de Fernández & Solano (2005), se consideraron 16 parámetros sin interferir en el resultado final debido a que la fórmula del ICA de Montoya 97 es un promedio aritmético ponderado y se presta para disminuir o aumentar la escala de la misma, dado que la fórmula considera promedios. Una vez obtenidos los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio, más los datos tomados in situ, se utilizó la ecuación 4 expuesta en el apartado 2.7, se determinó cada uno de los subíndices aplicando las fórmulas de la tabla 2 y se multiplicó por su peso de ponderación expuestos en la tabla 3, para luego establecer la sumatoria y dividir para el total de los coeficientes de ponderación de las 16 variables empleadas, finalmente se obtuvo el valor del ICA y se clasificó según la tabla 4.

3.7 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El vínculo entre las variables físicas, químicas y microbiológicas del agua se efectuó mediante un Análisis de Componentes Principales, utilizando el programa estadístico R studio 3.2.0 (R Development Core Team, 2017).

Los resultados obtenidos de los monitoreos, se ordenaron en una hoja de cálculo de Excel, para englobar la mayor cantidad de información y diferenciar entre las temporadas de invierno y verano, se procedió a promediar los datos adquiridos en Aa y Ab de cada quebrada y el punto del canal PTAR durante los meses de abril, mayo y junio y por separado los datos de julio, agosto y septiembre; con esta nueva base de datos, se procedió a programar en lenguaje S propio del Software R studio, obteniendo en un inicio la matriz de correlaciones y posteriormente los componentes principales, los cuales se representan en gráficas por pares de ejes y finalmente proyectan los resultados analizados.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ACTIVIDADES DESARROLLADAS EL CAMPAMENTO

En la Figura 12 se mencionan las actividades identificadas en el campamento, iniciando en la parte superior izquierda con la garita de control de entrada, siguiendo el recorrido de la vía principal de arriba hacia abajo y finalizando con el taller mecánico. Por otro lado, en la Figura 13 se presenta las actividades que interactúan con las quebradas y el canal PTAR. Todas las quebradas analizadas desembocan en el Río Paute, y han sido adaptadas artificialmente por canales abiertos de hormigón o metal ondulado.

La quebrada 1 inicia su recorrido en el campamento en la entrada principal del mismo, donde se encuentra la garita de control, cruza por debajo de la vía de acceso principal pavimentada, posteriormente la quebrada sigue su cauce entre la vegetación hasta llegar por detrás de la escuela Amaluza, continúa su curso por debajo de la vía de tierra, y sigue hasta juntarse más abajo con la quebrada 2 y formar una sola.

Aguas arriba de la quebrada 2 el cauce, proviene de una finca ganadera y agrícola, aparece en el campamento junto a la vía en el barrio Pinos, recorre el campamento inicialmente, por medio de un canal de hormigón de 50 cm de ancho, pasando por la vía principal y algunas secundarias del barrio Pinos y bloque de operadores, continúa su curso por detrás de este bloque, sigue su recorrido en grava gruesa y piedra, cruzando por detrás del Centro de Interpretación Ambiental, fluye por la vegetación hasta unirse con la quebrada 1 y más abajo con el canal de aguas procedentes de la PTAR y finalizar su interacción con el campamento.

Al igual que la quebrada 2, la quebrada 3 procede de la misma finca ganadera y agrícola, se interrelaciona con el campamento cruzando junto a dos captaciones de agua potable su cauce pasa por detrás de la PTAP, al

inicio de su recorrido existe un pequeño puente de madera, sigue su trayecto por la vegetación, siendo el Barrio Malvinas el más cercano, y posteriormente detrás del Centro Recreacional, continúa por la vegetación, atraviesa entre las bodegas, helipuerto y barrio Misceláneos, cruza por debajo de la vía principal, donde hay un segundo puente de hormigón de cemento, continúa y llega en cascada nuevamente a la vía principal, cerca de la carpintería, pasa por debajo de la vía principal por un canal encofrado de pavimento, retorna a su material de fondo natural de grava gruesa y piedra hasta desembocar.

La quebrada 4, igualmente procede de una finca ganadera y agrícola, llega al campamento en una pequeña cascada, sigue a través de la vegetación, el hotel es el bloque más cercano, atraviesa por detrás de las bodegas y del taller automotriz, llega en forma de cascada, junto a la vía principal, sigue su trayecto por medio de un canal abierto de metal ondulado, hasta cruzar por debajo de la vía y desembocar.

De igual manera se consideró el canal de aguas procedentes de la PTAR de tipo anaerobia, ubicada junto al relleno sanitario y el área de clasificación de residuos, debajo de las oficinas; es un canal abierto de hormigón y su trayecto inicia detrás de la PTAR con aguas de escorrentía, a un lado de esta recibe las aguas que vierte la misma, y fluyen hasta desembocar en la quebrada 2.

Las actividades identificadas en las zonas antes mencionadas se las agrupó de la siguiente manera:

1. Circulación y mantenimiento vehicular: Transporte de carros de la empresa y particulares dentro del campamento, lavadora de autos y abastecimiento de gasolina.
2. Actividades domésticas: Toda acción que genere aguas residuales domésticas tales como las viviendas, escuela y zonas de recreación.
3. Actividades laborales: Administración, oficinas, atención médica y limpieza del campamento.

4. Tratamiento de aguas y residuos: Incluye las dos plantas de tratamiento de aguas residuales y una de agua potable, relleno sanitario, área de clasificación de residuos y escombreras.
5. Elaboración / mantenimiento en talleres: Carpintería, talleres mecánico y automotriz.
6. Almacenamiento y alimentación: Comisariato, bodegas y comedor.

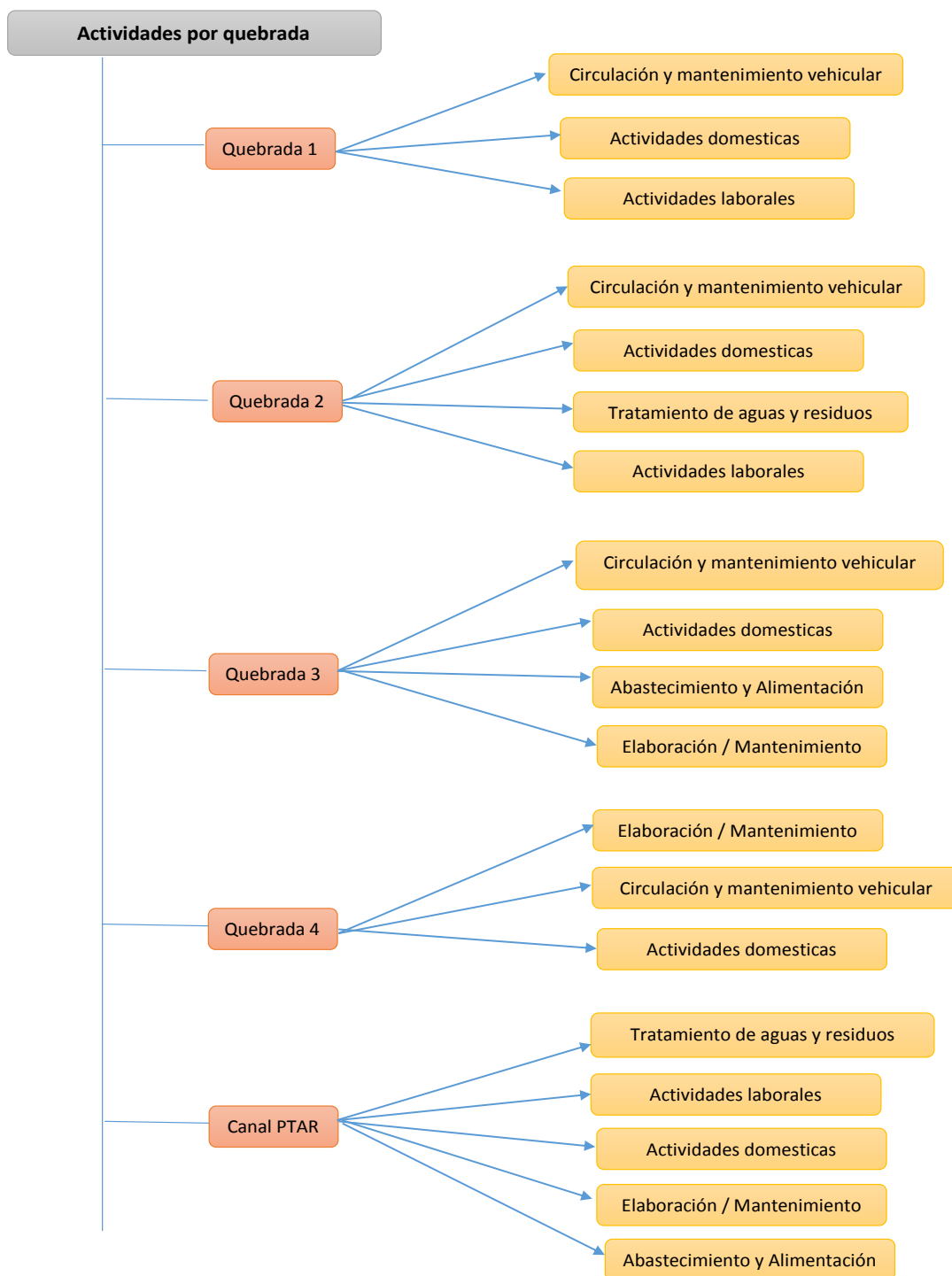


Figura 12. Diagrama de actividades cercanas a las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019





Figura 13. Actividades identificadas dentro del campamento Guarumales
Fuente: Autores, 2019

4.1.1. Matriz de valoración de impacto ambiental

En la tabla 8 se observa la matriz de valoración en la cual se dispuso las cuatro quebradas y el canal PTAR con las actividades más influyentes a cada una. El carácter de todas las actividades sobre la calidad del agua superficial se lo consideró como impacto “negativo” porque se estimó una desmejora en la condición ambiental analizada.

De acuerdo con la interpretación de los resultados obtenidos, puede considerarse que las actividades sobre la quebrada 1 generan un impacto “irrelevante”, siendo la “circulación y mantenimiento vehicular” la que más influye sobre esta. El impacto generado por las actividades en la quebrada 2 resultó ser “moderado” esto debido principalmente a la intervención del tratamiento de aguas y residuos. En cuanto a la quebrada 3 y 4 su impacto total fue valorado como “irrelevante”, estas son mayormente afectadas por las actividades de “elaboración / mantenimiento en talleres”. Mientras que, se pudo considerar como un impacto “severo” al que se dio en el canal PTAR, debido a la afectación directa del “tratamiento de aguas y residuos” e indirecta de las demás actividades evaluadas.

Tabla 8. Matriz de valoración de impacto ambiental de las actividades antropogénicas sobre las quebradas y el canal PTAR

Características del Impacto	Medio Impactado																		
	Quebrada 1			Quebrada 2				Quebrada 3				Quebrada 4			Canal PTAR				
	Circulación y mantenimiento vehicular	Actividades Domésticas	Actividades Laborales	Circulación y mantenimiento vehicular	Actividades Domésticas	Tratamiento de Aguas y Residuos	Actividades Laborales	Circulación y mantenimiento vehicular	Actividades Domésticas	Abastecimiento y Alimentación	Elaboración/ mantenimiento talleres	Circulación y mantenimiento vehicular	Actividades Domésticas	Elaboración/ mantenimiento talleres	Actividades Domésticas	Tratamiento de Aguas y Residuos	Actividades Laborales	Abastecimiento y Alimentación	Elaboración/ mantenimiento talleres
Carácter	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Perturbación	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	3	3	2	3	3
Importancia	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	3	3	3	3	2
Ocurrencia	2	1	2	1	2	3	2	1	1	2	2	1	1	2	3	3	3	3	3
Extensión	3	1	2	3	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
Duración	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2
Reversibilidad	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	3	2
Impacto total	-10	-6	-8	-9	-7	-13	-8	-7	-7	-8	-10	-7	-7	-10	-16	-16	-14	-16	-14

Fuente: Autores, 201

4.2 CAUDAL

4.2.1 Análisis del caudal

Tal y como se observó en la Figura 5, las precipitaciones altas se atribuyeron a los meses de abril, mayo y junio (invierno) y las menores precipitaciones fueron en los meses de julio, agosto y septiembre (verano).

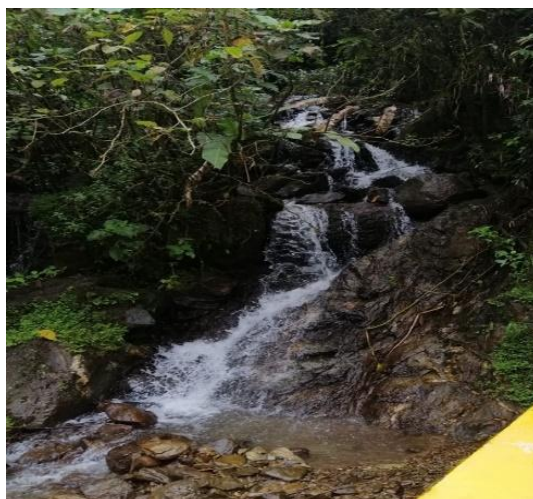
En la Figura 16 se observa los caudales en (m^3/s) y su variación espacial y temporal, registrados durante los seis meses de monitoreo. Los caudales altos se presentaron en las cuatro quebradas durante los meses de invierno (abril, mayo y junio), lo cual se atribuye a que estos meses fueron de mayor precipitación. En tanto, que los caudales medios y bajos se midieron entre los meses secos (julio, agosto y septiembre).

La quebrada 1, presenta un caudal promedio de $0.362 \text{ m}^3/\text{s}$ Aa, y de $0.262 \text{ m}^3/\text{s}$ Ab (tabla 9), dicha variación representó un 28% de reducción del caudal, esto debido a infiltraciones en el terreno susceptible a deslizamientos y a que parte del fluido se estanca después de una caída del agua. El nivel máximo de caudal Aa fue de $0,660 \text{ m}^3/\text{s}$ durante el mes de junio y el mínimo se presentó de $0.181 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de septiembre mientras que Ab el máximo registrado fue de $0.328 \text{ m}^3/\text{s}$ en mayo y mínimo fue en septiembre con un valor de $0.110 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal fue mayor en invierno y menor en verano tanto en Aa como en Ab.

El caudal promedio en la quebrada 2 presentó un valor de $0.142 \text{ m}^3/\text{s}$ Aa y $0.440 \text{ m}^3/\text{s}$ Ab, es decir el caudal aumentó en un 68% debido a que está quebrada en Ab recibe el agua de la quebrada 1 más la descarga del canal de la PTAR. El caudal máximo fue de $0.188 \text{ m}^3/\text{s}$ Aa en el mes de junio, y el mínimo se presentó en el mes de julio de $0.120 \text{ m}^3/\text{s}$, en tanto que, Ab el máximo caudal fue en junio, con un valor de $0.604 \text{ m}^3/\text{s}$ y el mínimo fue en el mes de agosto con un valor de $0.303 \text{ m}^3/\text{s}$, estas variaciones se deben a las altas y bajas precipitaciones presentadas en el monitoreo.

En la quebrada 3, se registró un caudal promedio de $0.093 \text{ m}^3/\text{s}$ Aa, mientras que en Ab la media fue de $0.319 \text{ m}^3/\text{s}$, aumentando un 71% entre punto y punto, a causa de algunas aportaciones de agua provenientes de pequeños riachuelos naturales cercanos a esta quebrada. Durante el mes de junio se presentó en Aa el máximo caudal de $0.144 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínimo fue de $0.041 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre; mientras que en Ab el mayor caudal fue en el mes de mayo con un valor $0.481 \text{ m}^3/\text{s}$ y el menor de $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre, estas variaciones temporales reflejan la influencia de las precipitaciones.

En la quebrada 4 la media del caudal Aa fue de $0.441 \text{ m}^3/\text{s}$ y Ab de $0.060 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa una importante disminución de 86% del caudal, considerando que el taller automotriz se encuentra ubicado en el tramo del cauce natural de la quebrada, el agua es desviada por medio de canales de hormigón, cambiando así la dirección de su trayecto original Figura 14, gran parte del agua se dirige fuera del campamento, además existen algunos segmentos que estancan cierta cantidad de agua, Figura 15. En el mes de abril Aa existió un máximo caudal de $0.804 \text{ m}^3/\text{s}$ y un mínimo de $0.096 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre; mientras que en Ab presentó los valores máximo y mínimo en los meses de mayo y septiembre con valores de $0.104 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.118 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente.



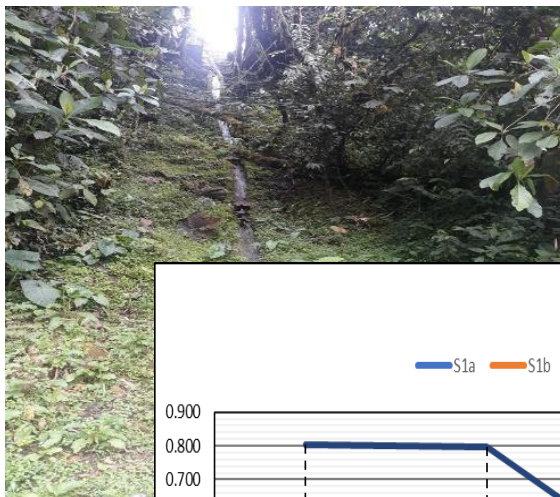
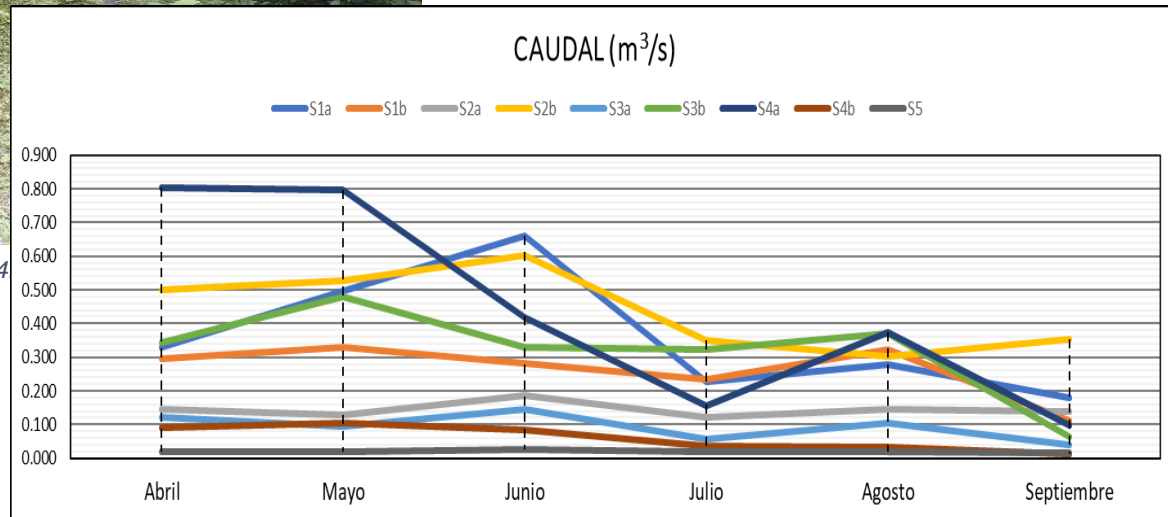


Figura 14

En cuanto al caudal analizado del canal de PTAR, su promedio resultó



de 0.021 m³/s. En la Figura 16 se observa el máximo caudal registrado de 0.025 m³/s correspondiente al mes de junio, mientras que el mínimo caudal presentado fue de 0.015 m³/s en el mes de septiembre, en la época de verano se presentan menores caudales que en la época de invierno.

	Aguas arriba (m ³ /s)	Aguas abajo (m ³ /s)
Quebrada 1	0.362	0.262
Quebrada 2	0.142	0.440
Quebrada 3	0.093	0.319
Quebrada 4	0.441	0.060

Tabla 9. Variación espacial del caudal promedio de las quebradas

Fuente: Autores, 2019

Figura 16. Variabilidad espacial y temporal del Caudal en las quebradas y canal PTAR.
Fuente: Autores, 2019.

4.3 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

En las tablas 10 y 11 se mencionan resultados obtenidos de cada parámetro con su respectiva unidad, promediados entre los meses de abril, mayo y junio (invierno), y julio, agosto y septiembre (verano), en los nueve puntos monitoreados. Clasificados entre aguas arriba (Aa) y aguas abajo (Ab) de cada quebrada respectivamente, y el único punto monitoreado del canal de agua proveniente de la PTAR.

Las variaciones de cada variable son analizadas a continuación tomando en cuenta su variabilidad espacial y temporal.

Además se discute los resultados obtenidos con normativas vigentes del Ecuador establecidas en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 sobre, Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización; Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios; y Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor - descarga a un cuerpo de agua dulce; cabe recalcar que aunque el agua de las quebradas y el canal PTAR no son captadas para la potabilización, los valores obtenidos de algunas variables son comparados con la normativa respectiva para contar con sustento legal del estudio realizado.

Adicionalmente, se menciona algunas comparaciones con estudios similares de análisis de variables físicoquímicas y microbiológicas y calidad de agua.

Tabla 10. Promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el invierno

	Aguas arriba				Aguas abajo				Canal PTAR	Unidades
	<i>S1a</i>	<i>S2a</i>	<i>S3a</i>	<i>S4a</i>	<i>S1b</i>	<i>S2b</i>	<i>S3b</i>	<i>S4b</i>	<i>S5</i>	
<i>pH</i>	6.68	6.86	7.17	7.39	7.07	6.54	6.87	6.99	6.54	
<i>SST</i>	2.47	2.20	2.08	2.16	2.52	2.76	2.50	7.31	2.85	mg/L
<i>SDT</i>	24.50	50.00	64.33	39.33	45.33	52.67	56.50	44.37	63.40	mg/L
<i>OD</i>	8.55	8.77	8.23	9.63	8.25	8.53	9.15	8.40	7.78	mg/L
<i>CE</i>	30.33	73.00	105.00	80.00	72.33	85.00	81.67	59.40	100.77	μS/cm
<i>DT</i>	30.83	34.33	40.00	28.33	40.00	44.17	35.00	38.50	54.17	mg/L
<i>CR</i>	51.67	34.33	40.00	87.67	44.00	60.67	52.33	65.00	75.00	UCP
<i>ALC</i>	23.08	21.71	21.54	27.00	19.67	25.42	24.54	14.71	34.17	mg/L
<i>TURB</i>	26.17	20.17	12.41	62.33	26.70	33.90	14.39	56.54	70.00	UNT
<i>Cl</i>	0.20	0.17	0.13	0.10	0.27	0.47	0.30	0.27	0.80	mg/L
<i>DBO</i>	7.05	9.41	7.72	7.30	6.75	11.77	6.89	7.69	13.14	mg/L
<i>PO₄⁻³</i>	0.87	0.30	0.25	0.27	0.43	0.37	0.23	0.17	0.30	mg/L
<i>NO₃</i>	0.57	0.47	0.33	0.33	0.73	0.27	0.27	0.20	0.43	mg/L
<i>NH₃-N</i>	0.10	0.10	0.20	0.27	0.10	0.30	0.10	0.10	0.42	mg/L
<i>COLIF_T</i>	353.67	480.33	158.33	100.33	153.33	1261.00	114.67	170.00	1244.33	NMP/ 10ml
<i>COLIF_F</i>	140.33	90.00	53.00	45.67	71.00	363.33	56.00	50.67	687.00	NMP/ 10ml
<i>TEMP</i>	16.83	16.97	15.80	16.73	16.48	16.56	16.01	17.62	17.95	°C

Fuente: Autores, 2019

Tabla 11. Promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el verano

	Aguas arriba				Aguas abajo				Canal PTAR	Unidades
	S1a	S2a	S3a	S4a	S1b	S2b	S3b	S4b	S5	
pH	6.75	6.90	7.17	7.24	6.45	6.75	6.48	6.38	6.33	
SST	2.13	2.09	2.33	2.32	2.19	2.28	2.55	2.72	2.80	mg/L
SDT	19.33	45.00	67.33	45.33	45.33	52.33	76.00	51.67	65.33	mg/L
OD	8.48	8.82	9.07	8.54	8.44	8.45	9.63	7.81	8.05	mg/L
CE	25.33	69.00	103.00	74.67	75.33	82.00	74.33	61.00	100.73	μS/cm
DT	26.70	38.77	51.10	36.90	39.47	43.50	48.27	36.13	100.27	mg/L
CR	35.00	20.33	27.67	42.33	43.33	58.67	33.00	49.00	56.67	UCP
ALC	17.83	19.67	22.00	17.03	20.00	22.33	20.40	14.83	26.07	mg/L
TURB	19.00	15.13	12.27	25.67	23.33	42.33	16.33	32.33	80.67	UNT
CI⁻	0.13	0.17	0.13	0.30	0.03	0.27	0.25	0.28	0.50	mg/L
DBO	4.76	7.87	6.98	9.15	7.27	7.35	6.83	8.82	9.61	mg/L
PO₄⁻³	0.20	0.10	0.27	0.23	0.13	0.43	0.21	0.18	0.76	mg/L
NO₃	0.53	0.40	0.43	0.33	0.53	0.53	0.40	0.47	1.23	mg/L
NH₃-N	0.07	0.07	0.13	0.27	0.10	0.25	0.13	0.13	0.75	mg/L
COLIF_T	113.33	63.00	51.33	110.67	113.67	566.67	60.00	100.00	815.67	NMP/ 10ml
COLIF_F	22.00	28.33	21.00	45.33	15.67	174.33	25.33	27.67	380.00	NMP/ 10ml
TEMP	15.73	16.44	15.85	16.86	15.79	16.10	15.69	16.94	18.09	°C

Fuente: Autores, 2019

4.3.1 Temperatura (TEMP)

En la Figura 17 se indica los datos de temperatura para los nueve puntos de muestreo durante el periodo de monitoreo. En la primera quebrada, Aa se presentaron temperaturas entre 15.20 °C y 17.10 °C, Ab varió entre 15.80 °C y 17.31 °C. En la quebrada 2, Aa y Ab se encontró de 15.70 °C a 15.97 °C, y de 16.26 °C a 17.43 °C correspondientemente. En cuanto a la quebrada 3 Aa se encontraron valores entre 15.44 °C y 16.50 °C, mientras que en Ab entre 15.81 °C y 16.65 °C. En la quebrada 4, la temperatura Aa se registró entre 16.43 °C y 17.77 °C y en Ab estuvo entre 16.43 °C y 17.77 °C.

Las variaciones entre Aa y Ab, se debió en parte a la hora de toma de muestras, ya que las estaciones en Aa fueron monitoreadas durante las primeras horas del día (05h30 a 08h30 am) cuando la temperatura ambiente es menor; mientras que, Ab se analizaron durante horas en las que la temperatura ambiente aumenta (09h30 a 11h30 am).

La temperatura registrada en los puntos de monitoreo en las cuatro quebradas se encuentran dentro de los valores aceptables para la conservación del ecosistema acuático según State Water Resources Control Board (2018). Además, se encuentran dentro de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías, según TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

En el canal de PTAR la temperatura más alta registrada fue de 18.30 °C en septiembre, sin embargo, entre los meses monitoreados no existe una variabilidad significativa. Este punto de monitoreo presenta un mayor valor de temperatura promedio que las demás quebradas debido a factores antrópicos y las propiedades físicas que presenta esta agua con altos valores de color y turbiedad. Los valores obtenidos de temperatura se encuentran dentro del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, según TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

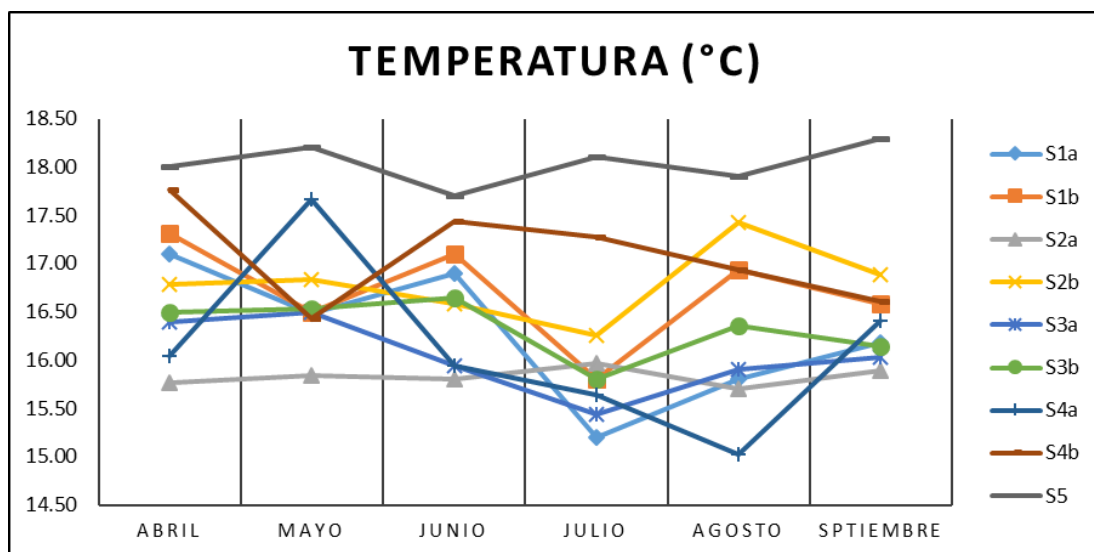


Figura 17. Variabilidad espacial y temporal de la TEMP en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019.

4.3.2 pH

Como refleja la Figura 18, el pH máximo durante el mes de abril en las quebradas 1, 3 y 4 Aa fue de 6.83, 7.48 y 7.58 respectivamente y de 7.36 unidades en la quebrada 2 Aa en septiembre. Mientras que el pH mínimo registrado en las quebradas 1, 2 y 3 Aa se notaron en el mes de mayo con valores de 6.50, 6.59 y 6.62; en tanto que en la quebrada 4 se obtuvo el mínimo de 6.65 unidades en el mes de agosto.

Ab las máximas unidades de pH en las quebradas 1,3 y 4 fueron, al igual que en Aa en el mes de abril, con valores de 7.41, 7.44, y 6.90 unidades, y de 7.61 en la quebrada 2 en el mes de agosto. En tanto que los mínimos valores en las quebradas 1, 2 y 3 fueron de 6.29, 6.27 y 6.32 en el mes de julio; y en la quebrada 4 se registró el mínimo valor de 6.30 en el mes de agosto. Los valores en Aa como los máximos en Ab son catalogados como casi neutros según la escala del pH. Según lo expuesto anteriormente, los mínimos en Ab de las cuatro quebradas se clasifican como ligeramente ácidos.

Los valores de pH mínimos registrados en las quebradas se encontraron fuera del límite establecido por el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017) que

consideran un pH apropiado entre 6.5 a 9 unidades para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías.

El pH máximo en el canal PTAR fue de 6.80 unidades, en el mes de junio, es decir casi neutro. Por otro lado, en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre se obtuvieron unidades menores a 6.5, lo que según Middelboe & Hansen (2007) estos valores pueden deberse a las altas temperaturas y a la presencia de algas, factores que intervienen en la capacidad de neutralizar el agua, a pesar de ello, el pH cumplió con el límite permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce de acuerdo al TULSMA, Libro VI,

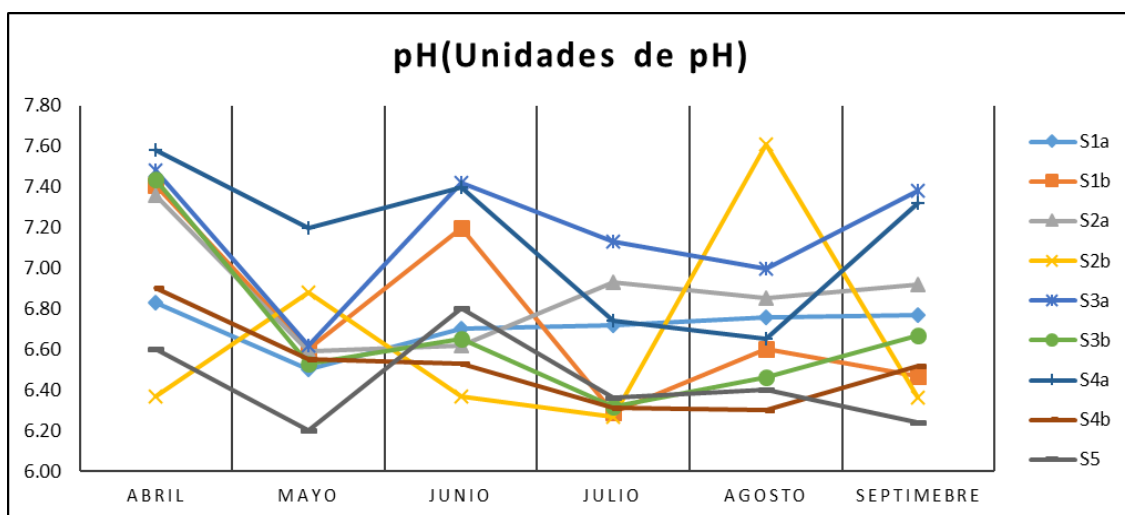


Figura 18. Variabilidad espacial y temporal del pH en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

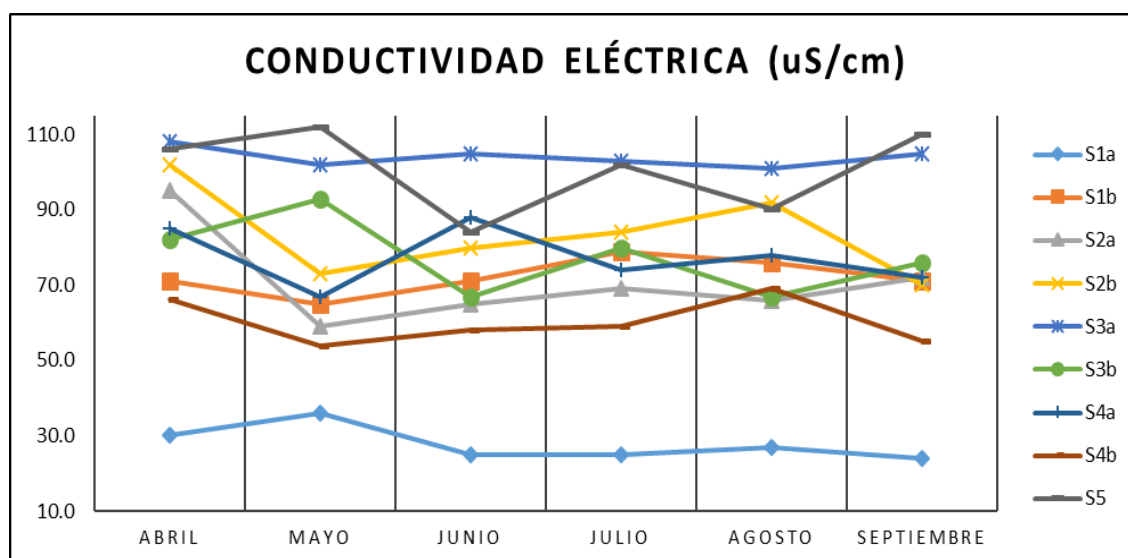
Anexo 1 (2017).

4.3.3 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad en la quebrada 1 fue mayor en Ab, durante todo el periodo de monitoreo, puesto que en este punto el agua fluye sobre un terreno de material suelto, susceptible a deslizamientos, con material litológico que como explican el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España (2004), los ríos que discurren por argayos tienden a aumentar la CE.

La quebrada 2, al igual que la quebrada 1 reflejó valores mayores de la CE en Ab, esto debido a la influencia de la descarga de agua proveniente del

canal PTAR, puesto que las aguas residuales aportan sales que incrementan la CE. En tanto que las quebradas 3 y 4 la conductividad en Aa fue mayor que en Ab (Figura 19), esto debido a que en Aa se presenta mayor cantidad de grava y piedra, que descargan iones en el agua, mientras que en Ab el agua de la quebrada 3 cruza por medio de un canal encofrado de pavimento por debajo de la vía principal, y la 4 es conducida a través de un canal de latón ondulado.



En el canal PTAR se presentaron los valores máximos de conductividad de 112 y 110 $\mu\text{S/cm}$ en los meses de mayo y septiembre respectivamente, esto debido a la mayor concentración de iones de cloruros, sulfatos y nitratos durante estos meses, lo cual, según Lenntech, (2017), disminuye la

Figura 19. Variabilidad espacial y temporal de la CE en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

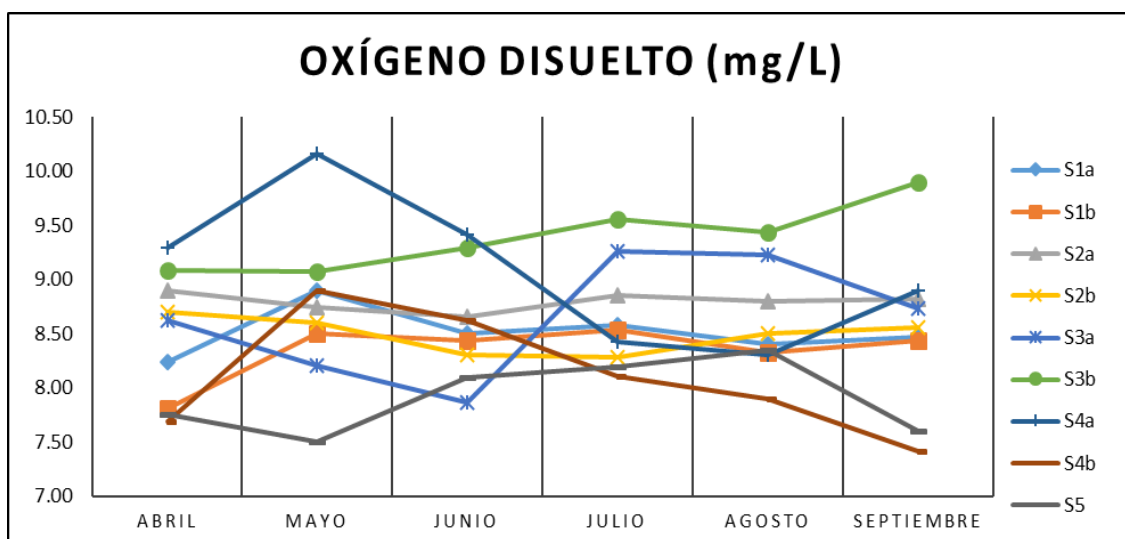
capacidad del agua de diluir sustancias, aumentando los SDT en el canal de PTAR.

4.3.4 Oxígeno disuelto (OD)

La quebrada 1, 2 y 4 tuvieron mayor concentración de OD durante todo el periodo de monitoreo en Aa a pesar de que presenta una menor turbulencia; mismos puntos que presentaron menores temperaturas. En la quebrada 3, por lo contrario, las concentraciones fueron menores en Aa que en Ab,

puesto que la estación se ubicó en una zona de alta pendiente y con mayor reaeración. Los valores de OD obtenidos en las cuatro quebradas tanto en Aa como en Ab oscilaron entre 7.4 y 10.16 mg/L y se catalogan en el rango de concentración como aceptable y buena según Guillermo Goyenola (2007), además se encontraron dentro del límite establecido por el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017), para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces frías.

Cabe recalcar que como se observó en la Figura 4 todo el campamento se ubica en una zona de gran pendiente de hasta 89 grados, lo que influye en las altas concentraciones de OD en el agua superficial.



La Figura 20 señala las concentraciones de OD obtenidas en el canal PTAR. En el mes de agosto se presentó el mayor valor de 8.35 mg/L. Durante los meses de mayo y septiembre se presentaron las mínimas concentraciones de 7.50 y 7.60 mg/L respectivamente. En este canal no existe pendientes prolongadas, el OD al igual que la temperatura fueron promediados durante varias horas del día; a pesar de ello los valores se encontraron catalogados como aceptables dentro del rango de concentración de OD en ecosistemas

Figura 20. Variabilidad espacial y temporal del OD en las quebradas y canal PTAR

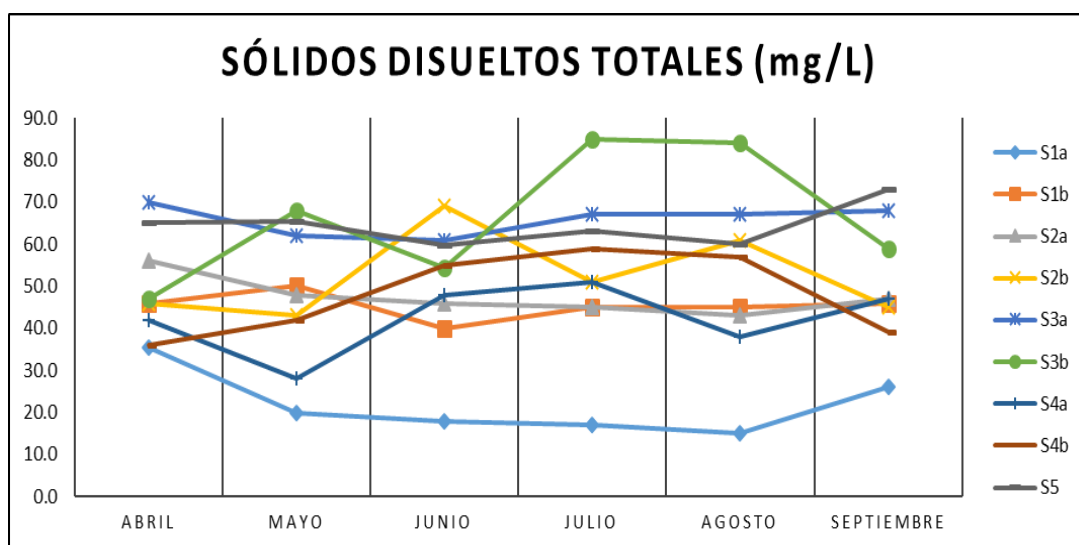
Fuente: Autores, 2019

frecuentes, como lo menciona Goyenola Guillermo (2007).

4.3.5 Sólidos disueltos totales (SDT)

Como se puede observar en la Figura 21, la tendencia de SDT en la quebrada 1 creció en Ab, en cada uno de los meses, sobre todo en el mes de agosto que los SDT de 15 mg/L Aa aumentaron a 45 mg/L en Ab. En la quebrada 2 existió una mínima variación entre Aa y Ab de SDT, la mayor variabilidad que se pudo apreciar fue el mes de junio ya que Aa presentó 46 mg/L y Ab 69 mg/L. De igual manera sucedió con la quebrada 4, que en el mes de agosto los valores fueron de 38 mg/L en Aa y 57 mg/L en Ab. En cuanto a la quebrada 3, los SDT disminuyeron en Ab en los meses de abril, junio y septiembre, y aumentaron en los meses restantes.

La quebrada 1 y 2 registraron mayor concentración de SDT en Ab, tal y como sucedió con la CE en estas quebradas, lo que refleja la relación entre estos dos parámetros, puesto que, las elevadas concentraciones de SDT



aumentan la CE tal como se indica en el estudio realizado por Román y Ruiz (2018). Mientras que las quebradas 3 y 4 los SDT también son mayores en Ab, pero en estos puntos la CE se liga al material sobre el que fluye el agua, el cual disminuye la capacidad de conducir la electricidad.

En el canal PTAR, se evidenció el máximo valor de 73 mg/L, en el mes de septiembre (caudal bajo), sin embargo, en el mes de mayo (caudal alto) la concentración de SDT fue de 65.50 mg/L, esto puede deberse a la cantidad

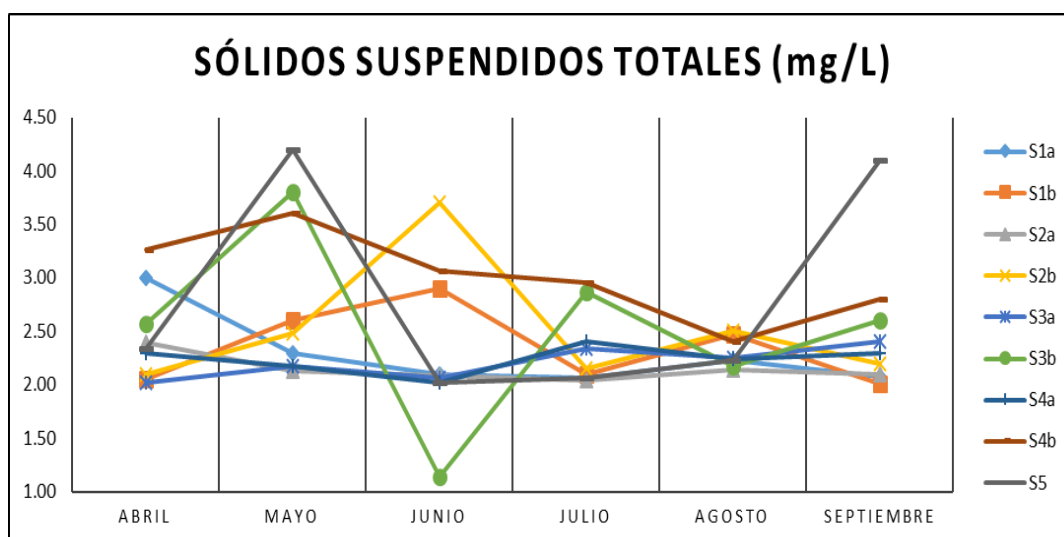
Figura 21. Variabilidad espacial y temporal de SDT en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

de compuestos provenientes de la PTAR que se disuelven en el agua.

4.3.6 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST no presentaron mayores variaciones entre Aa y Ab. Los cambios más significativos se presentaron durante los meses de invierno que existió mayor acción de arrastre, al igual que el análisis efectuado por Peñafiel Romero (2014), que evidenció mayor concentración de SST en el río Tomebamba durante los meses de caudal alto.

En la quebrada 1, en el mes de abril, los SST disminuyeron de 3 mg/L a 2.05 mg/L; en la quebrada 2 en el mes de junio aumentaron de 2.09 mg/L Aa a 3.70 mg/L Ab; mientras que en las quebradas 3 y 4 en el mes de mayo los SST aumentaron de 2.17 mg/L Aa a 3.80 mg/L Ab, y de 2.17 en Aa mg/L a



3.60 mg/L en Ab respectivamente, como se muestra en la Figura 22. De manera general los SST, al igual que los SDT aumentaron en Ab.

En el canal PTAR, la mayor concentración de SST fue en los meses de mayo y septiembre, 4.20 mg/L y 4.10 mg/L respectivamente, a pesar que en el mes de septiembre se presentaron bajos caudales, pero la cantidad de SST aumento debido a la cantidad de compuestos transportados por el agua residual proveniente de PTAR. Los valores establecidos en el canal se hallan dentro del límite permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce de la

Figura 22. Variabilidad espacial y temporal de SST en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

normativa TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

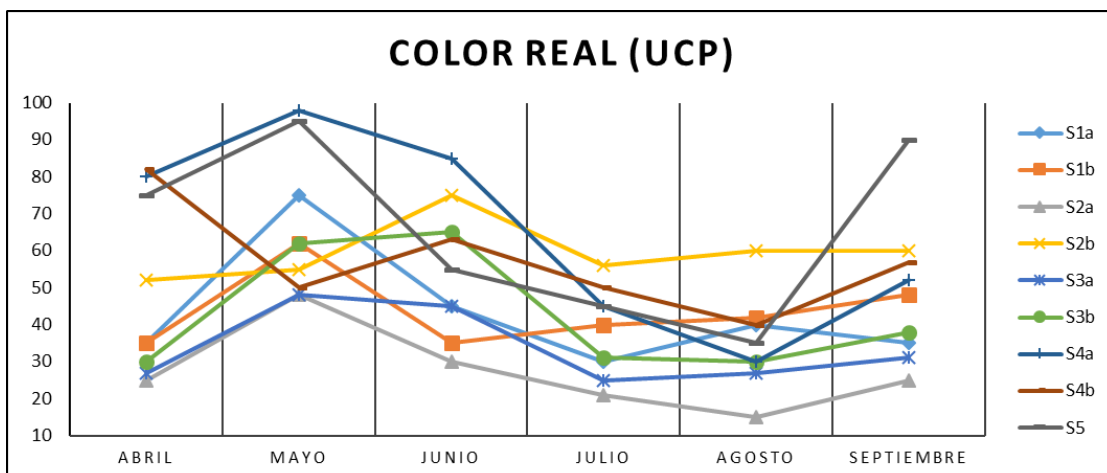
4.3.7 Color real (CR)

En este parámetro se presentó una tendencia de elevados valores durante los meses de caudal alto, y los valores mínimos en los caudales medios y bajos, como refleja la Figura 23, al igual que la investigación realizada por Pontón Valarezo (2018) en donde el color del río Piñas aumentó durante el caudal alto.

En la quebrada 1 el CR disminuyó de Aa a Ab en los meses de invierno, y aumentó de la misma manera en los meses de verano. La quebrada 2, Aa presentó menores unidades de color en comparación con Ab, durante todo el periodo de monitoreo, sobre todo en el mes de agosto que de 15 UCP Aa aumentó a 60 UCP en Ab, cabe recalcar que estos cambios se deben a la influencia de las descargas del canal PTAR más la quebrada 1. En la quebrada 3, se observaron pequeños aumentos no representativos entre Aa y Ab durante los seis meses. En cuanto a la quebrada 4, tuvo valores más altos de color en comparación a las demás quebradas en los seis meses de monitoreo, particularmente en el mes de mayo el color tuvo una diferencia de 48 UCP entre Aa y Ab.

Las unidades de color obtenidas en las cuatro quebradas se encuentran dentro del límite máximo permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

En el canal PTAR las unidades altas de color se presentaron durante la etapa de invierno, cuando los caudales fueron proporcionales, en especial en el mes de mayo que registró 95 UCP, sin embargo, en el mes de septiembre, pese a un bajo caudal, el color observado fue de 90 UCP, siendo mayor al de abril y junio (meses de altas precipitaciones), esto es debido al contenido de materia residual presente en el canal durante este mes, Figura 23. Dichos valores evidencian que la PTAR no opera de manera



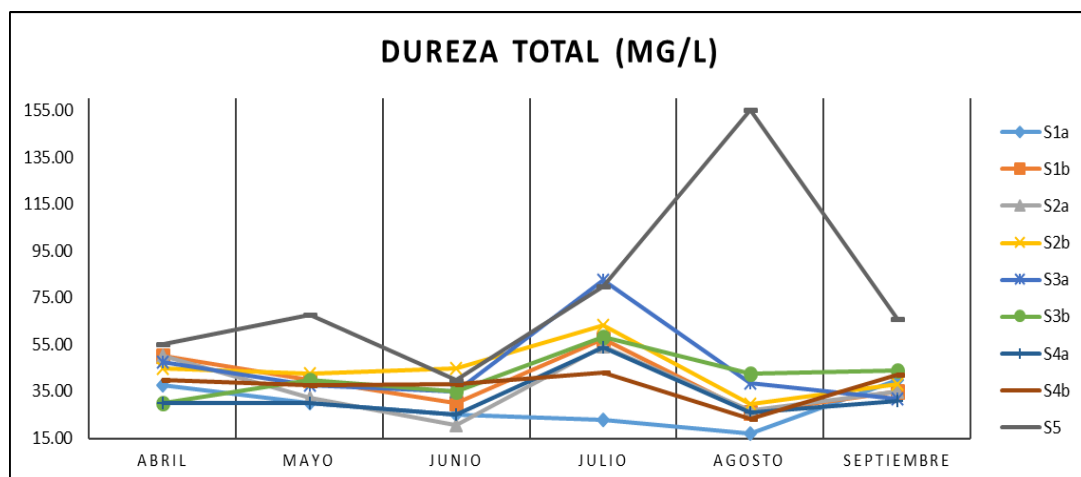
eficiente, puesto que los valores de CR de descarga a un cuerpo de agua dulce deberían ser inapreciables en dilución de acuerdo al TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

Figura 23. Variabilidad espacial y temporal del CR en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

4.3.8 Dureza total (DT)

La quebrada 1 y 4, en todos los meses monitoreados, las aguas fueron catalogadas como “blandas”, según la escala de Fernández Cirelli (2012) sobre la clasificación del agua según la cantidad de mg/L de CaCO_3 presente. De igual manera las quebradas 2 y 3, a excepción del mes de julio que se obtuvieron valores de 63.1 mg/L Ab y 82.7 mg/L Aa, correspondientemente, dichos valores fueron clasificados por la misma escala como “moderadamente blandas”; lo que indica bajas concentraciones de sales de calcio y magnesio en el agua.

En la Figura 24 se indica cómo variaron los niveles de dureza en el canal PTAR. En los meses de abril y junio, las aguas del canal fueron “blandas” según la escala de Fernández Cirelli (2012), por sus valores de 40 mg/L y 55 mg/L; mientras que en los meses de mayo, julio y septiembre se registraron durezas de 67.5, 79.8 y 66 mg/L, aguas “moderadamente blandas”; y particularmente en el mes de agosto se obtuvo una dureza de 155 mg/L, clasificada como agua “dura”, mismo mes en el que se observó mayor cantidad de espuma; esto refleja vertimientos domiciliarios especialmente de



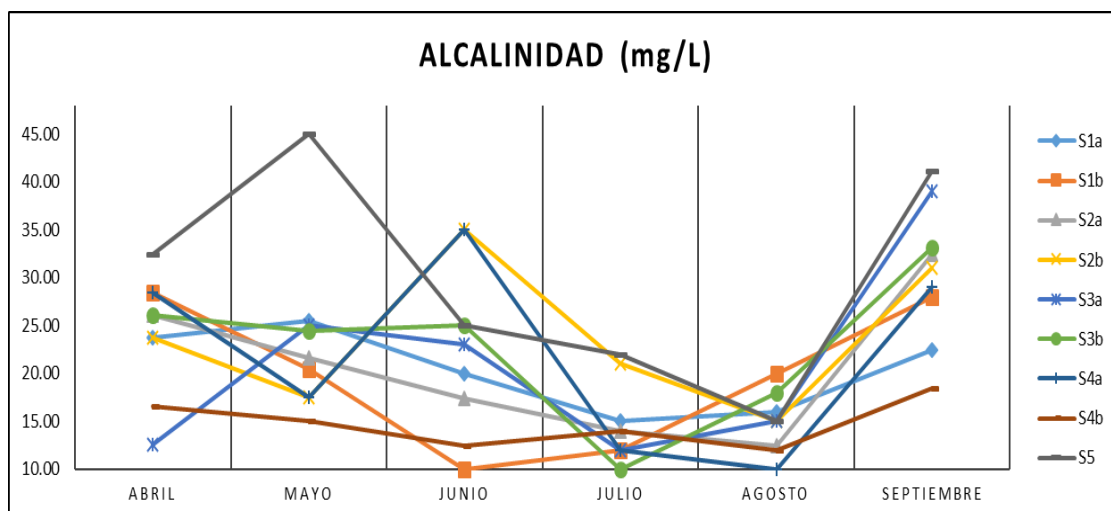
detergentes, jabones y desinfectantes que aumentan la concentración de CaCO_3 en el agua.

Figura 24. Variabilidad espacial y temporal de la DT en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

4.3.9 Alcalinidad (ALC)

Durante los meses de julio y agosto se registraron los valores mínimos de alcalinidad en las 4 quebradas, datos que se observan en la Figura 25, las concentraciones variaron entre 10 y 21 mg/L. Las quebradas 2, 3 y 4 Aa mostraron las más altas concentraciones durante el mes de septiembre en donde el valor de alcalinidad fue disminuyendo de Aa a Ab, de 32.50 a 31 mg/L en la quebrada 2, sin embargo, no es un decrecimiento significativo. En la quebrada 3 varió de 39 a 33.20 mg/L y en la quebrada 4 varió de 29.10 a 18.50 mg/L. En tanto, en la quebrada 1 se notó el máximo contenido de alcalinidad en el mes de abril aumentando ligeramente de 23.75 mg/L Aa a 28.50 mg/L en Ab.

Los valores de la alcalinidad en el canal PTAR se muestra en la Figura 25, la misma que refleja cómo su concentración aumenta durante los meses de mayo y septiembre con valores de 45 mg/L y 41.20 mg/L respectivamente, en el mes de agosto existió una disminución hasta 15 mg/L, mismo mes en el que la dureza se presentó en elevadas cantidades.



En general se presentaron algunos cambios esporádicos en las quebradas, durante el tiempo de monitoreo. En las cuatro quebradas y el canal PTAR los valores de ALC fueron menores a los de la DT, lo que quiere decir que la DT fue no carbonatada.

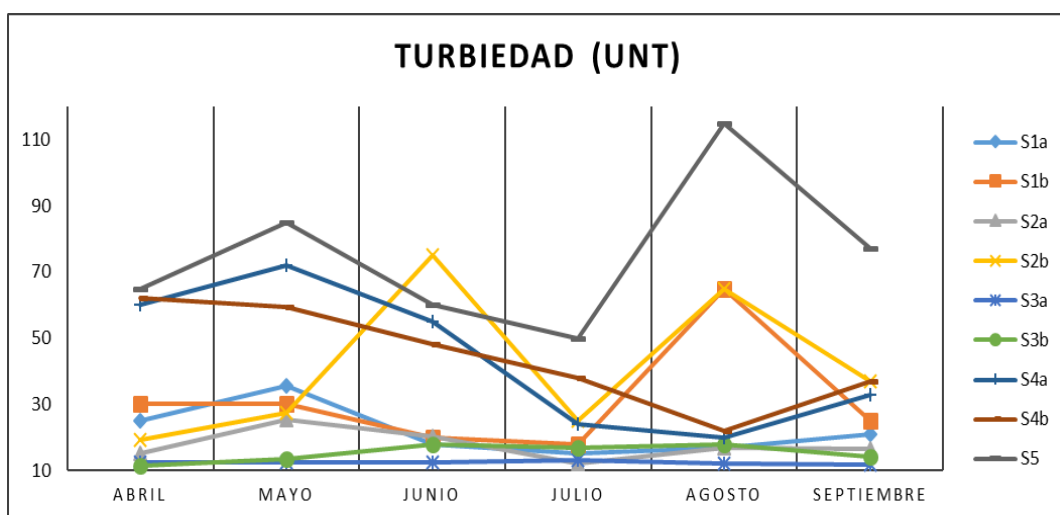
Figura 25. Variabilidad espacial y temporal de la ALC en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

4.3.10 Turbiedad (TURB)

La turbiedad obtenida en el monitoreo se refleja en la Figura 26. En la quebrada 1, mostró mínimas variaciones entre Aa y Ab durante todos los meses excepto en el mes de agosto que la turbiedad aumentó de 17 UNT Aa a 65 UNT en Ab. La quebrada 2, al igual que la 1 muestra un balance entre sus valores, excluyendo los meses de junio donde se incrementó de 20.10 UNT Aa hasta 75 UNT en Ab, y el mes de agosto de 17 UNT en Aa a 65 UNT Ab.

En el caso de la quebrada 3, se evidenció una mínima variabilidad espacial y temporal. La quebrada 4 reflejó altos valores de turbiedad durante los meses de invierno y menores cantidades en los meses de verano. Los valores obtenidos en las cuatro quebradas no sobrepasan el límite máximo permisible según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017) para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

La tendencia de este parámetro, al igual de los SST y SDT fue aumentando de Aa a Ab en las cuatro quebradas, puesto que la TURB estima indirectamente la concentración de las partículas en suspensión, y como lo expone Berden, Simionato, Dogliotti & Moreira (2016) existen fuertes correlaciones entre TURB y SST.



En el canal PTAR, se pudo observar en el mes de agosto el máximo valor de TURB, (115 UNT) al igual que el nivel de DT, PO₄ y SST en esta estación, lo cual se debió a la presencia de químicos como detergentes en el agua que aumentan la TURB y los SST que conjuntamente afectan a los

Figura 26. Variabilidad espacial y temporal de la TURB en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

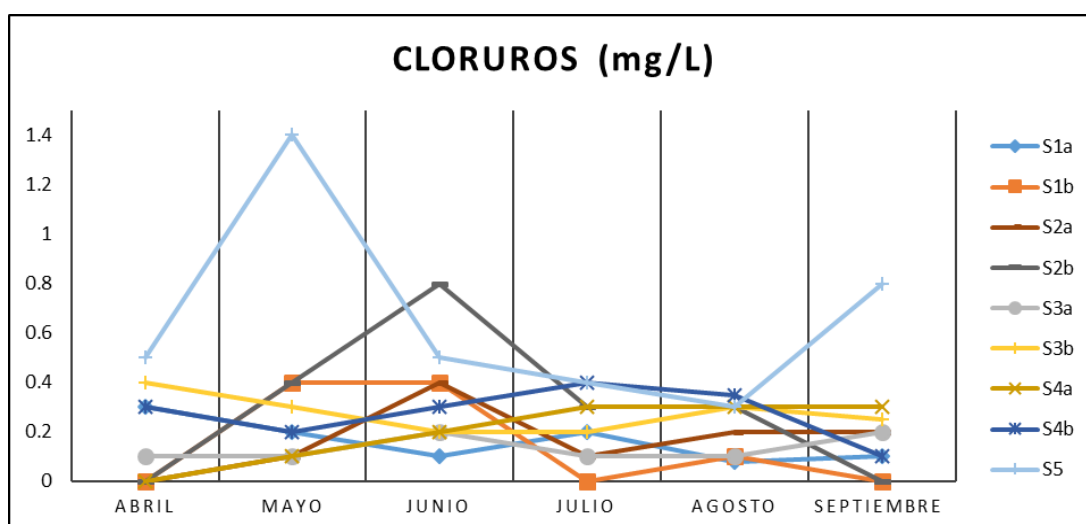
organismos reduciendo la visibilidad y dificultando la alimentación; reduciendo así la producción primaria de los organismos fotosintéticos.

4.3.11 Cloruros (Cl⁻)

Las concentraciones de cloruros obtenidas del monitoreo se reflejan en la Figura 27, en ellas se pueden observar las variaciones de una campaña a otra. Valores indetectables surgieron en el mes de abril en la quebrada 1 Ab, quebrada 2 Aa y en la 4 Aa, en el mes de julio, en la quebrada 1 Ab y en septiembre en la quebrada 1 en Ab. Los demás valores resultaron incrementar de manera poco representativa de Aa a Ab. Es importante recalcar que dichas concentraciones no sobrepasan el límite permisible para

aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

En los meses de abril, junio, julio y agosto, en el canal PTAR se registraron valores similares de Cl^- que oscilaron entre 0.30 a 0.50 mg/L, el mes de mayo reflejó la más alta concentración de 1.40 mg/L, seguido por el mes de septiembre con un valor de 0.80 mg/L, lo que atribuye al mismo tiempo un aumento en la conductividad y sales presentes en las aguas residuales domésticas, sin embargo, los valores observados se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017) sobre



descargas a un cuerpo de agua dulce.

Se notaron mayores concentraciones durante los meses de caudales altos; particularmente la quebrada 2 durante el mes de junio que tuvo un importante aumento de 0.4 en Aa a 0.8 mg/L en Ab de cloruros, estos resultados coinciden con el estudio realizado por Blanco (2009) que evidenció que la concentración de cloruros aumentó en los meses de caudal

Figura 27. Variabilidad espacial y temporal de Cl^- en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

alto.

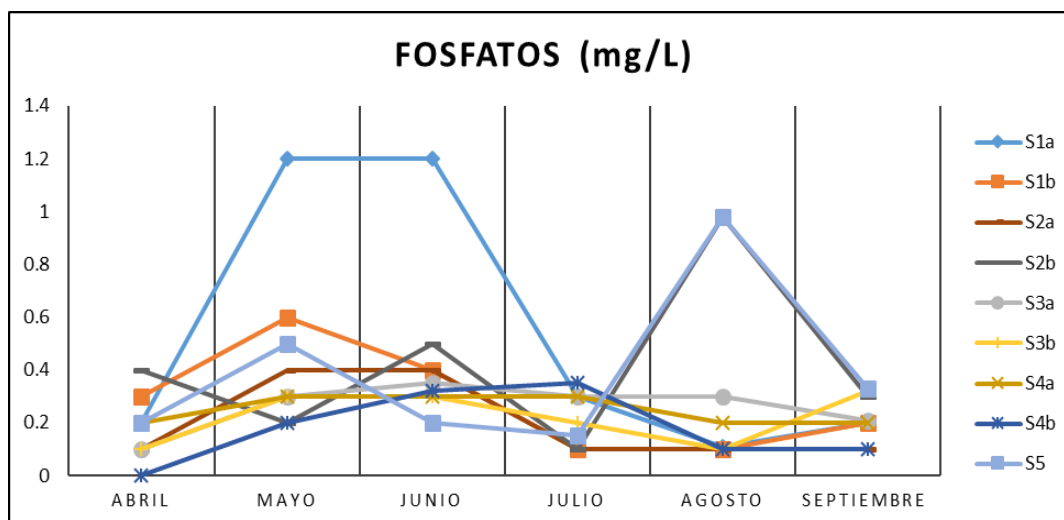
4.3.12 Fosfatos (PO_4^{3-})

Durante el mes de abril, julio y septiembre las cuatro quebradas resultaron tener mínima variabilidad de fosfatos tanto en Aa como en Ab, como se

observa en la Figura 28. En el caso de la quebrada 1 durante el mes de mayo y junio Aa la cantidad de fosfatos fue de 1.20 mg /L siendo los máximos valores proporcionados durante el monitoreo en cuanto a este parámetro y su concentración disminuyó considerablemente a 0.60 m/L en el mes de mayo y a 0.40 mg/L en el mes de junio. En tanto las quebradas 3 y 4 registró concentraciones entre 0 y 0.3 mg/L.

La quebrada 2 únicamente mostró una variación representativa en el mes de agosto, donde se observó una concentración de 0.10 mg/L en Aa y 0.98 mg/L en Ab. Cabe recalcar que las aguas de las cuatro quebradas provienen de terrenos utilizados para el pastoreo y agricultura, es por ello que las quebradas 1, 3 y 4 presentan mayores concentraciones de fosfatos en Aa, lo que reflejan el uso de sustancias químicas como fertilizantes; y la quebrada 2 reflejó mayores concentraciones en Ab debido a la influencia de las aguas descargadas del canal PTAR.

En referencia al canal PTAR, el contenido de fosfatos fue relativamente alto en los meses de mayo (0.5 mg/L) y sobre todo en agosto (0.98), además



durante el monitoreo de agosto se observó la presencia de espuma en el canal PTAR y un cambio en su coloración lo que atribuye a la presencia de detergentes, jabones y desinfectantes procedentes de la PTAR que aumentó la concentración de fosfatos en el agua, tal y como se menciona en la investigación realizada por Acosta (2015) en donde el fósforo de la

subcuenca estudiada aumentó principalmente debido al elevado uso de detergentes, jabones y otros productos de aseo que contienen este elemento químico.

4.3.13 Nitratos (NO_3)

De acuerdo con las variaciones de NO_3 que se observan en la Figura 29, la quebrada 1 en septiembre Aa se presentó la máxima concentración y mayor variabilidad de nitratos, con valores que variaron entre 1.1 mg/L Aa a 0.4 mg/L en Ab. Mientras que en la quebrada 2 existió una máxima concentración de 0.9 mg/L Aa misma que disminuyó a 0.5 mg/L en Ab en el mes de junio.

En las quebradas 3 y 4 se identificaron mínimos cambios a excepción del mes de septiembre, en donde sus contenidos máximos fueron de 0.9 mg/L Aa en la quebrada 3 y 0.8 mg/L Ab en la quebrada 4.

El comportamiento de este parámetro resultó ser intermitente entre punto y punto, sin embargo, en general su concentración fue mayor en los meses de verano, concordando con la investigación efectuada por Rodríguez, Asmundis & Martínez (2016) en aguas superficiales que registraron mayores concentraciones de NO_3 durante el otoño y verano y disminuyeron en invierno. Las concentraciones de NO_3 en todas las quebradas estudiadas no sobrepasaron los límites máximos permisibles según el TULSMA, libro VI, Anexo 1 (2017) para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

En el canal PTAR durante los primeros cinco meses de monitoreo la concentración de nitratos estuvo entre 0.3 mg/L y 0.6 mg/L, no obstante, en el mes de septiembre en bajos caudales, se evidenció un aumento representativo en el contenido de este parámetro, con un valor de 2.6 mg/L, lo que indica que el agua contiene sustancias vertidas ricas en nitrógeno que alteran sus propiedades.

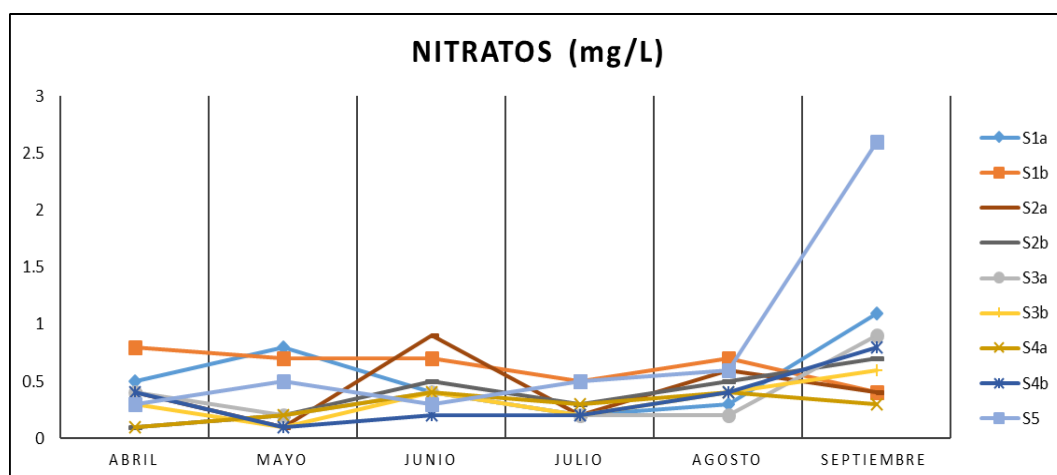
4.3.14 Nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Tras analizar los resultados obtenidos del nitrógeno amoniacal, se observa en la Figura 30, que las quebradas tienen similares concentraciones y variaciones que oscilan entre 0 y 0.35 mg/L, a excepción de la quebrada 2 Ab que presentó un valor de 0.6 mg/L en el mes de junio.

Cabe recalcar que la variabilidad espacial y temporal de este parámetro fue irregular, al contrario que los resultados presentados por Romero Peñafiel

Figura 29. Variabilidad espacial y temporal de NO_3 en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

(2014) & Pontón Valarezo (2018) que el $\text{NH}_3\text{-N}$ fue mayor durante los meses verano con caudales bajos y medios.

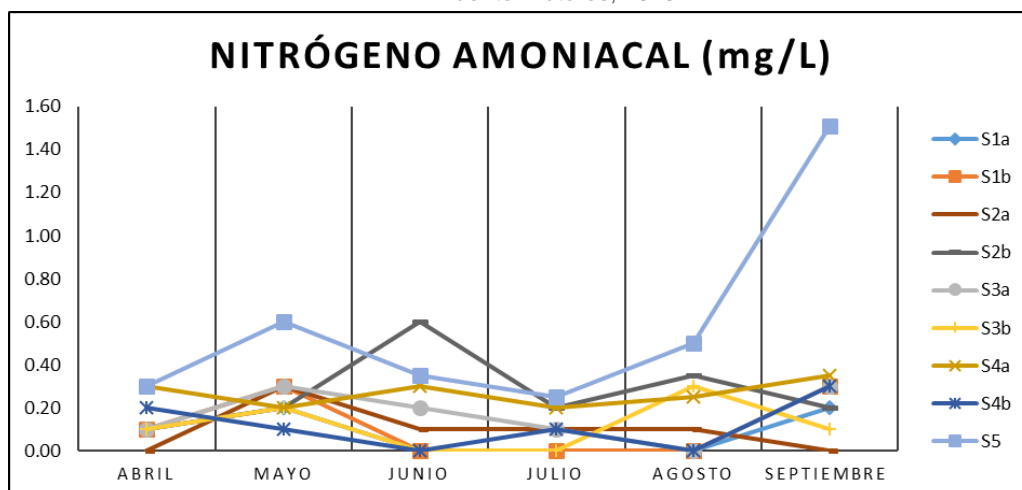


En el caso del canal, las concentraciones de nitrato amoniacal se mantienen entre 0.25 y 0.6 durante los cinco primeros meses de monitoreo. En el mes de septiembre se presentó un evento atípico, ya que este parámetro se elevó a una concentración de 1.51 mg/L, al igual que los nitratos, lo que representa la influencia del ciclo del nitrógeno en el agua, contaminación principalmente por abonos y descomposición de materia orgánica o heces, pese a estos resultados el $\text{NH}_3\text{-N}$ cumplió con los límites establecidos de descargas a un cuerpo de agua dulce según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

4.3.15 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

En la quebrada 1, se observó la mayor variación de DBO_5 durante el mes de mayo que de 4.80 mg/L (mínimo valor) en Aa, aumentó a 8.54 mg/L (máximo valor) en Ab. En la quebrada 2 en cambio tuvo un importante incremento en el mes de junio, de 8.72 mg/L Aa hasta 13.80 mg/L Ab, siendo este valor el más relevante de este parámetro. En el caso de la quebrada 3 se revelaron

Figura 30. Variabilidad espacial y temporal de $\text{NH}_3\text{-N}$ en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019



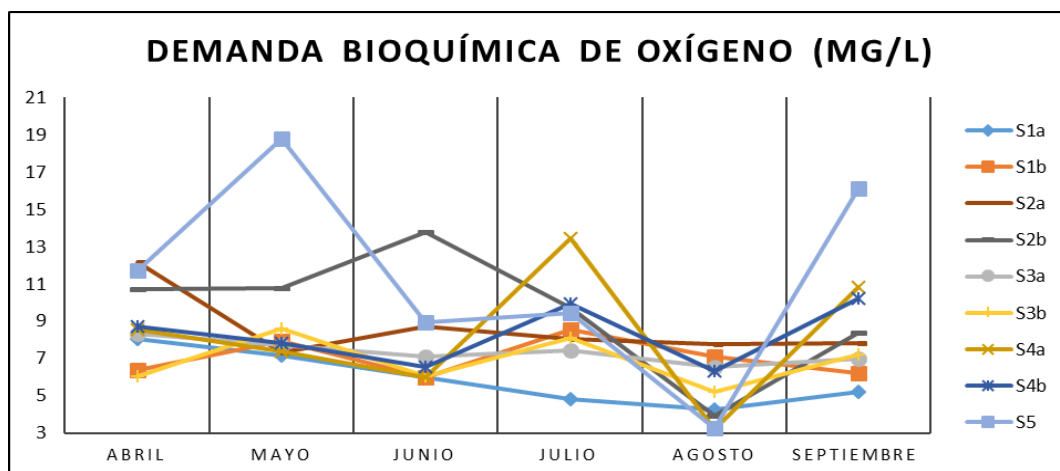
datos de DBO_5 sin mucha variación, siendo los meses de invierno los de mayor concentración. De acuerdo a los datos obtenidos, la quebrada 4 registró mayor variación en el mes de julio en donde su concentración de 13.44 mg/L Aa disminuyó a 9.91 mg/L Ab (Figura 31).

Todos los resultados de DBO_5 se clasifican como “aceptables” dentro de la escala propuesta por la CONAGUA (2007) sobre el contenido de DBO_5 y la calidad de agua, los niveles del DBO_5 reflejan la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia. Sin embargo, los valores del DBO_5 se encontraron fuera de los límites máximos permisibles según el TULSMA, libro VI, Anexo 1 (2017) para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Los niveles de DBO en el canal PTAR, de acuerdo con la CONAGUA (2007) se clasificó como “buena” y “aceptable”; y de acuerdo con el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, cumple con el límite establecido para descargas a un cuerpo de agua dulce. Las mayores variaciones ocurrieron en los meses de mayo y septiembre, que hubieron concentraciones de hasta 18.80 mg/L, y 16.1 respectivamente, al igual que las variables CE, SDT, SST, C0 mg/L R, ALC, Cl^- y NH_3-N , que presentaron altos contenidos durante estos meses.

4.3.16 Coliformes totales (COLIF_T)

En la Figura 32, se observa las variaciones obtenidas de coliformes totales, siendo evidente que las quebradas con mayor variabilidad y mayor presencia de estas bacterias fueron la quebrada 1 y 2, la primera en el mes de abril, registró un considerable aumento de 150 NMP/ 10ml en Aa a 1100 NMP/ 10ml Ab, y durante el mes de mayo se observó una disminución de 600



NMP/ 10ml en Aa, llegó a 60 NMP/ 10ml en Ab.

La segunda mostró grandes cambios en la concentración de coliformes totales en los meses de mayo y junio (invierno), y de manera menos controversial en los meses de julio y septiembre (verano), siendo más evidente el aumento registrado en el mes de mayo que de 40 NMP/ 10ml en Aa incrementó a 1600 NMP/ 10ml en Ab, los altos valores en el punto de Ab de esta quebrada se atribuye a la descarga de aguas provenientes del canal PTAR. En cuanto a las quebradas 3 y 4, se mantienen en una mínima variación entre meses y entre puntos monitoreados.

Tal y como se puede observar en la Figura 32, durante el mes de agosto el valor de 7 NMP/ml de CT fue insignificante en comparación con los demás meses, señalando la influencia de los detergentes fosfatados al eliminar al materia fecal del agua. En cuanto a los meses de abril, mayo y septiembre la concentración de COLIF_T fue elevada, con valores de 1500 NMP/ml, 1800 NMP/ml y 1600 NMP/ml, y representa la existencia de vertimientos de aguas domésticas.

Los valores de COLIF_T tanto en las cuatro quebradas como en el canal PTAR fueron mayores durante los meses altos caudales, de la misma manera ocurrió en la investigación realizada por Almaguer & Escobedo (1999) en Sinaloa, que al evaluar la calidad bacteriológica del agua superficial verificaron que las bacterias coliformes presentaron mayores concentraciones durante el invierno, tanto las totales como las fecales, y los valores mínimos durante la primavera.

Los valores de COLIF_T obtenidos en el monitoreo de las quebradas 3 y 4 no sobrepasan los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017); mientras que las concentraciones del canal PTAR y las quebradas 1 y 2, no cumplen con la

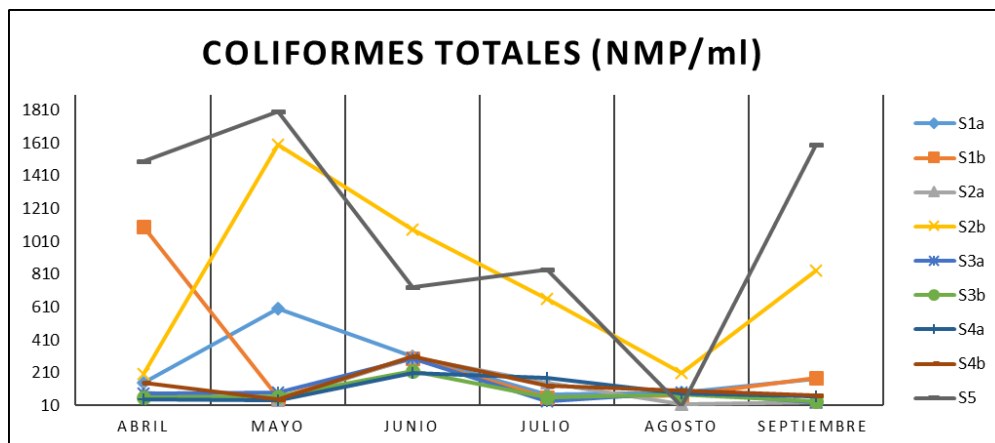


Figura 32. Variabilidad espacial y temporal de COLIF_T en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

normativa respectiva.

4.3.17 Coliformes fecales (COLIF_F)

Se puede observar en la Figura 33, como la quebrada 2 resultó ser la de mayor variabilidad en cuanto al contenido de los COLIF_F, esto puede deberse a la descarga de aguas residuales del canal PTAR sobre esta quebrada. En la quebrada 1, se notó que durante el mes de mayo la concentración de 300 NMP/ml en Aa, disminuyó a 148 NMP/ml en Ab, los demás meses no hubo valores representativos, al igual que en la quebrada 3 y 4.

Los COLIF_F obtenidos en las quebradas sobrepasan los límites máximos permisibles en las cuatro quebradas monitoreadas, para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional, según el TULSMA, Libro VI, Anexo 1 (2017).

En los meses de mayo y septiembre las concentraciones de COLIF_F en el canal PTAR, fueron de 1200 NMP/ml y 860 NMP/ml respectivamente, siendo los valores más altos presentados durante el monitoreo. Se evidencia que

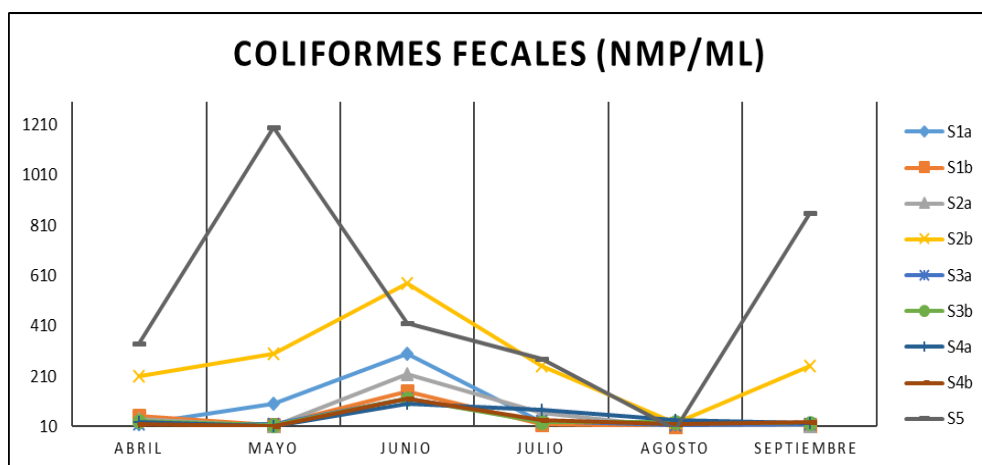
durante el mes de agosto no se registraron COLIF_F, lo que quiere decir que el contenido de químicos como detergentes que aumentaron los PO_4^{3-} , TURB, y DT eliminaron por completo los COLIF_F del agua. En el TULSMA Libro VI, Anexo 1, sobre el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce especifica que este parámetro debe ser removido el 99.9%, y en este caso no cumple lo que evidencia la falta de efectividad en la PTAR.

En general los COLIF_F al igual que los COLIF_T fueron mayores en invierno con altos caudales, al igual que el análisis efectuado por Molina & Brenes (2010) que evaluaron el “Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa” y observaron que este parámetro mostró un gran incremento en los meses con una mayor precipitación pluvial y lo asociaron con el arrastre de sustancias contaminantes provenientes de actividades humanas.

Figura 33. Variabilidad espacial y temporal de COLIF_F en las quebradas y canal PTAR
Fuente: Autores, 2019

4.4 DETERMINACIÓN DEL ICA DE MONTOYA 97

Me
dia
nte
un
a
hoj
a
de
cál



culo de Excel, como se muestra en el Anexo 3 (tabla 24), se logró la obtención de los valores correspondientes de cada una de las estaciones que permitieron clasificar al cuerpo hídrico según el criterio general de Montoya 97, con lo cual se pudo realizar una comparación espacial y temporal acerca de la calidad del agua.

4.4.1. Promedio del ICA de Montoya 97

El promedio del índice de calidad de agua, indicó un balance entre Aa y Ab, de las quebradas 1, 3 y 4 tal y como se muestra en la Figura 34, puesto que sus valores oscilaron entre 84.30 y 79.66, lo que según el criterio general del ICA de Montoya 97 expuesta en la Tabla 4, se clasifica en el segundo rango de su escala, lo que manifiesta una “Aceptable” calidad de agua.

En cuanto a la quebrada 2 se estableció el valor de 84.62 “No contaminado” en Aa y de 66.89 “Poco contaminado” en Ab (Tabla 12), esto se atribuye a la influencia de la descarga de aguas provenientes del canal PTAR que al mezclarse con esta quebrada modifica sus propiedades negativamente, haciendo disminuir su calidad debido a sus importantes contenidos de CE, DT, ALC, TURB, Cl^- , DBO_5 , PO_4^{-3} , NO_3 , NH_3-N , COLIF_T, COLIF_F, TEMP y bajos niveles de OD. Es importante recalcar que el valor de 84.62 de la quebrada 2 Aa, se situó en el límite entre “No contaminado” y “Aceptable”.

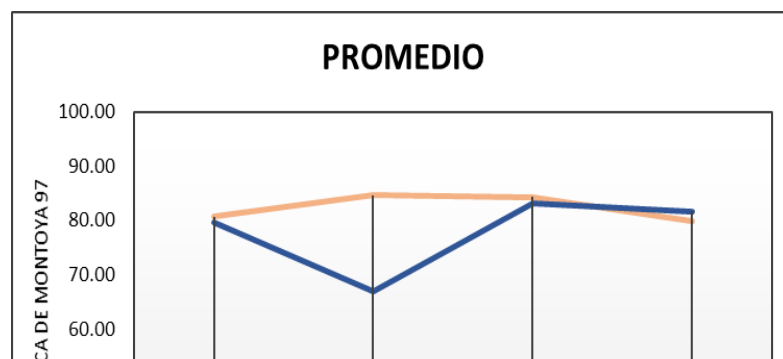


Figura 34. Promedio del ICA de Montoya 97 en las quebradas
Fuente: Autores, 2019

	Quebrada 1	Quebrada 2	Quebrada 3	Quebrada 4
Aa	80.69	84.62	84.30	79.94
Ab	79.66	66.89	83.12	81.60

Tabla 12.

general ICA en las quebradas

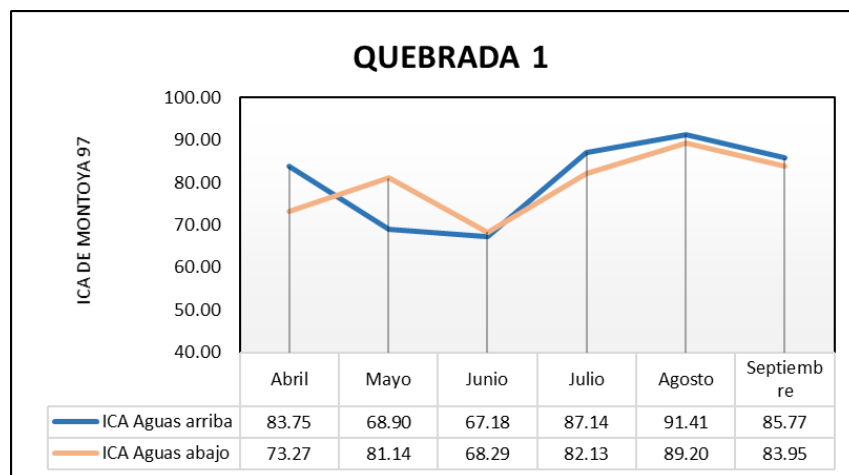
Criterio

	Quebrada 1	Quebrada 2	Quebrada 3	Quebrada 4
Aguas arriba	Aceptable	No contaminado	Aceptable	Aceptable
Aguas abajo	Aceptable	Poco contaminado	Aceptable	Aceptable

Fuente: Autores, 2019

4.4.2 ICA de la quebrada 1

En la Figura 35, se puede observar, que durante los meses de invierno, el ICA estuvo entre “Aceptable” y “Poco contaminado” en Aa, al igual que en Ab, y, entre los meses de verano predominó la categoría de “No contaminado” en Aa, mientras que Ab predominó “Aceptable”; los rangos durante los meses de abril, junio y agosto se mantuvieron con poca

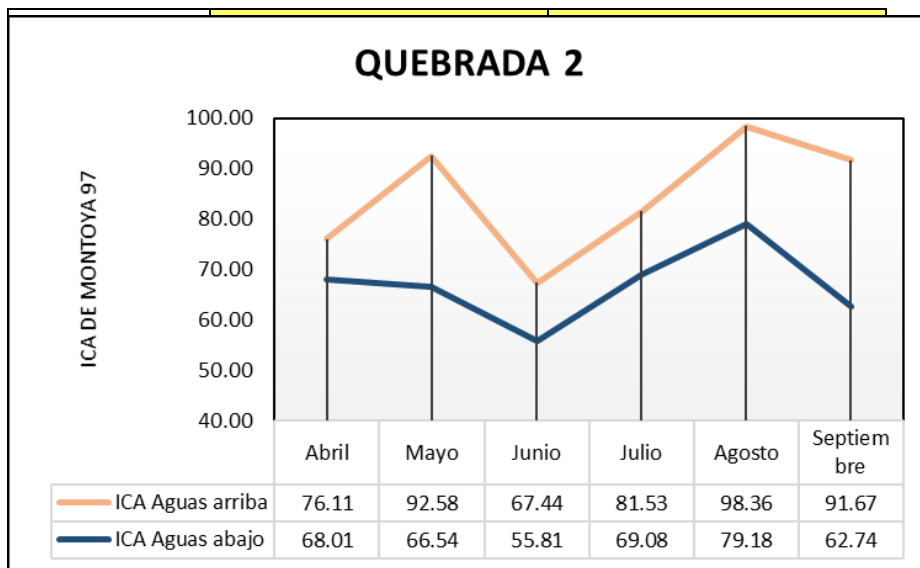


variación; entre tanto en el mes de mayo mejoró, y disminuyó en julio y septiembre, tabla 13.

Figura 35. Variabilidad del ICA de Montoya 97 en la quebrada 1
Fuente: Autores, 2019

Tabla 13. Criterio general del ICA de la quebrada 1

Mes	Aguas arriba	Aguas abajo
Abril	Aceptable	Aceptable
Mayo	Poco Contaminado	Aceptable



Fuente: Autores, 2019

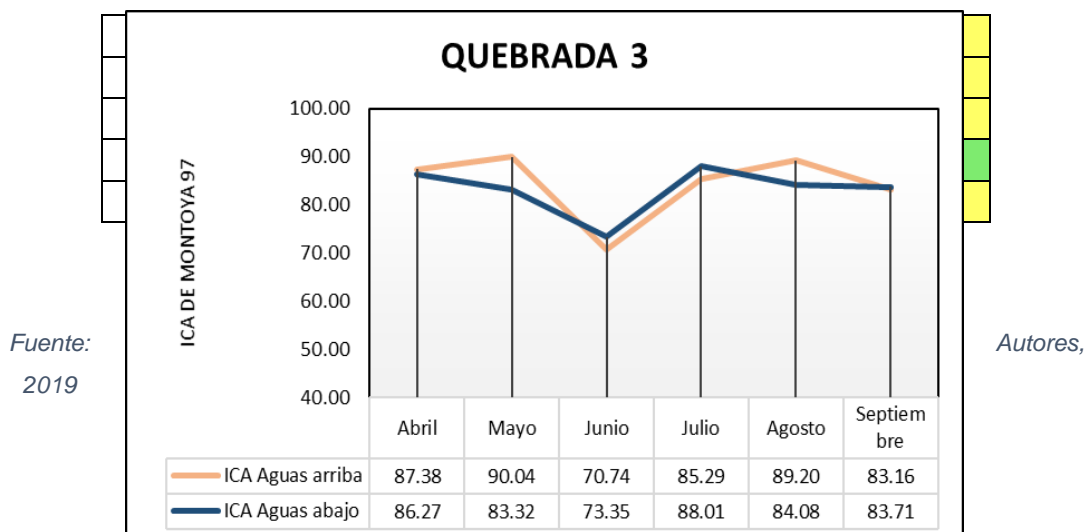
4.4.3 ICA de la quebrada 2

Los valores de ICA obtenidos en la quebrada 2 se reflejan en la Figura 36, y se observa en la tabla 14 cómo la categoría se mantiene en “Poco contaminado” en junio y disminuye de “No contaminado” a “Aceptable” en el resto de meses; es importante recalcar que, en los meses de mayo y septiembre, la variación es considerable.

Figura 36. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 2
Fuente: Autores, 2019

Tabla 14. Criterio general del ICA de la quebrada 2

Mes	Aguas Arriba	Aguas abajo
Abril	Aceptable	Poco Contaminado



4.4.4 ICA de la quebrada 3

En la quebrada 3, tal como se observa en la Figura 37, el ICA se encuentra entre los rangos de “No contaminado” y “Aceptable”, en algunos meses, las condiciones en los puntos de Aa y Ab fueron similares y la calidad de agua se mantuvo en “No contaminado” en abril y julio, y “Aceptable” en junio y septiembre; la tabla 15 muestra variaciones en los meses de mayo y agosto cuando la calidad pasó de “No contaminada” en Aa a “Aceptable” en Ab, lo que indica una variación negativa en los parámetros analizados.

Figura 37. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 3
Fuente: Autores, 2019

Tabla 15. Criterio general del ICA de la quebrada 3

Mes	Aguas arriba	Aguas abajo
<i>Abril</i>	No Contaminado	No Contaminado
<i>Mayo</i>	No Contaminado	Aceptable
<i>Junio</i>	Aceptable	Aceptable
<i>Julio</i>	No Contaminado	No Contaminado
<i>Agosto</i>	No Contaminado	Aceptable
<i>Septiembre</i>	Aceptable	Aceptable

Fuente: Autores, 2019

4.4.5 ICA de la quebrada 4

Las variaciones en la quebrada 4 resultaron ser insignificantes, de tal manera que el criterio de ICA se mantuvo el mismo tanto Aa como en Ab en todos los meses, cabe recalcar que está quebrada es la más lejana a las actividades en el campamento; el ICA obtenido en el mes de mayo fue el único “No contaminado”, en los demás meses presentó un criterio de “Aceptable”,

Figura 38, tabla 16.

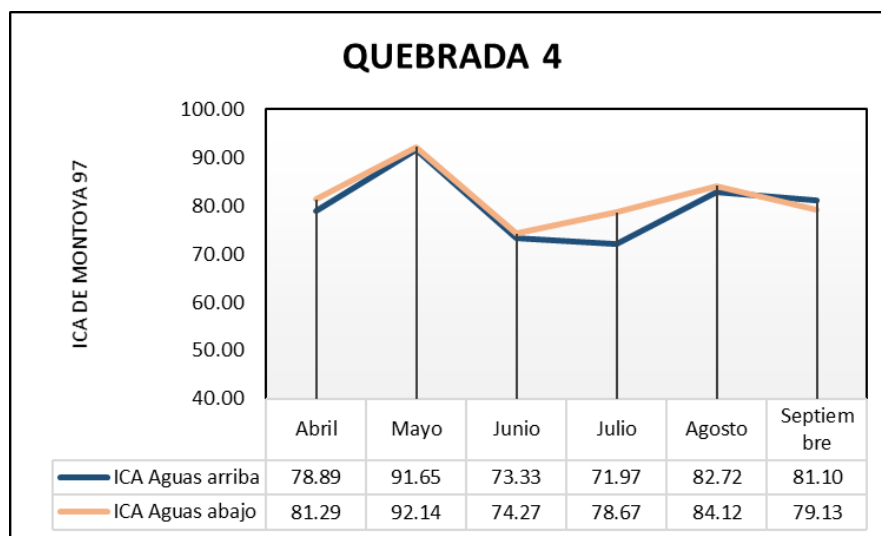


Figura 38. Variabilidad del ICA Montoya 97 en la quebrada 4
Fuente: Autores, 2019

Tabla 16. Criterio general del ICA de la quebrada 4

Mes	Aguas arriba	Aguas abajo
Abril	Aceptable	Aceptable
Mayo	No Contaminado	No Contaminado
Junio	Aceptable	Aceptable
Julio	Aceptable	Aceptable
Agosto	Aceptable	Aceptable
Septiembre	Aceptable	Aceptable

Fuente: Autores, 2019

4.4.6 ICA del canal PTAR

El ICA en el canal PTAR se evaluó en un único punto, entre la descarga de la PTAR y la desembocadura en la quebrada 2, por lo tanto, el criterio general de ICA obtenido en base a los parámetros evaluados, resultó estar dentro de la categoría de “Poco contaminado” en los meses de abril, junio, julio y agosto; mientras que los meses de mayo y septiembre los valores del ICA fueron menores, calificando al agua de este canal como “Contaminada”, Figura 39, tabla 17.

Los

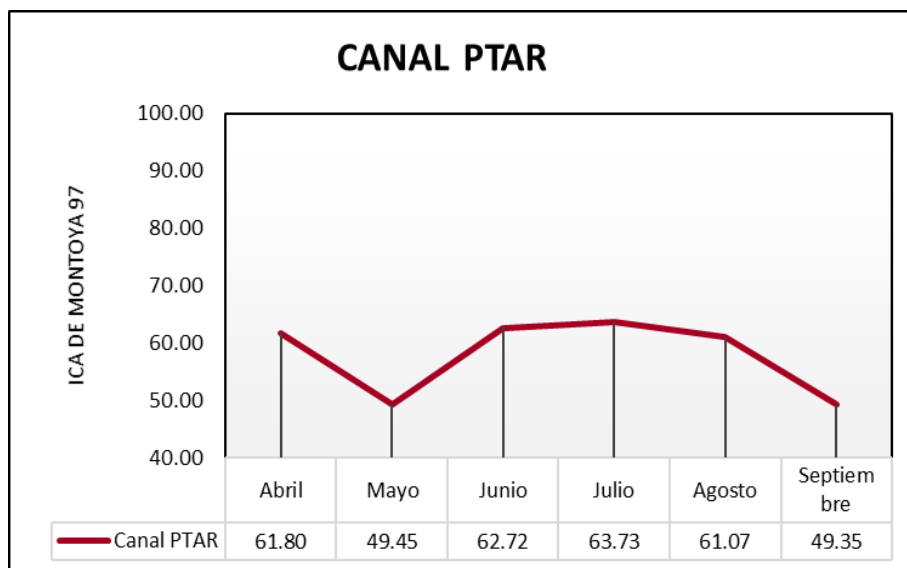


Figura 39. Variabilidad del ICA Montoya 97 en el canal PTAR

Fuente: Autores, 2019

resultados del ICA de Montoya 97 coincide con la valoración de impactos ambientales, ya que los dos métodos señalan a la quebrada 2 y el canal PTAR como de menor calidad y más afectados por las actividades del campamento.

Tabla 17. Criterio general del ICA del canal PTAR

Mes	ICA PTAR
Abril	Poco Contaminado
Mayo	Contaminado

Junio	Poco Contaminado
Julio	Poco Contaminado
Agosto	Poco Contaminado
Septiembre	Contaminado

Fuente: Autores, 2019

Esta investigación, al igual que los estudios realizados por Chiliquinga & Donoso (2013) mostró una menor calidad de agua en sitios influenciados directamente por descargas de aguas residuales domésticas, como lo fue el canal PTAR y la quebrada 2. La variabilidad temporal en este caso presentó mejores condiciones de calidad de agua durante los meses de altas precipitaciones.

La variabilidad espacial del ICA mostró una similitud o disminución entre Aa y Ab, pero no se evidenció una mejora de la calidad del agua en ningún punto evaluado; de la misma manera señaló Pontón Valarezo (2018) en su análisis de calidad de agua del río Piñas, en donde el ICA de Montoya 97 registró menores valores conforme avanza el cauce del río y aumenta la interacción con actividades antrópicas.

4.5 ACP DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

Considerando los dieciséis parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados para el ICA de Montoya 97, se efectuaron tres componentes principales para las quebradas, y dos componentes para el canal PTAR cuya suma constituye el mayor porcentaje de la varianza para cada caso. En las tablas en el Anexo 5 se aprecia el Análisis de Componentes Principales (ACP), desviación estándar, el porcentaje de varianza, varianza acumulada y matrices de correlación de las variables seleccionadas para cada una de las quebradas y el canal PTAR durante el invierno como en el verano.

4.5.1 ACP de la quebrada 1

La varianza de los tres componentes principales de la quebrada 1 durante la etapa de invierno constituyó el 84.45%, y el 87.13% en el verano. En la etapa de invierno, el CP1 demuestra el 37.05 % de la varianza Figura 40, se

encontró conformado por los parámetros PO_4^{-3} , SDT y DT. Las variables SDT y DT, se correlacionaron entre sí ($r = 0.770$), y a la vez los SDT con la CE ($r=0.818$), este vínculo es debido a la presencia de sales minerales en esta quebrada.

En la etapa de verano el CP1, Figura 41, representó el 42.64% de la varianza y describió las variables de SDT, CR, COLIF_F. La variable de SDT se correlacionó con el DBO_5 , ($r=0.872$) parámetros que señalan la dilución de la materia orgánica, y al igual que en el invierno con la CE ($r=0.953$). Mientras que el CR mantuvo una correlación con la TURB ($r=0.775$), y los COLIF_F con el OD ($r=0.847$), variables que según Peñafiel Romero (2014) se ven influenciados por las menores precipitaciones.

El CP2 expuso el 27.82% de la varianza en el invierno, estuvo constituido por las variables de $\text{NH}_3\text{-N}$, TURB y DBO_5 . La correlación existente entre las variables $\text{NH}_3\text{-N}$ y DBO_5 fue de $r=0.790$, y del $\text{NH}_3\text{-N}$ y CR fue de $r=0.782$, lo que indica la concurrencia materia orgánica existente en el agua, sabiendo que estos parámetros son indicadores de contaminación de residuos animales y vegetales.

En el verano el CP2 correspondió al 23.03%, explicó las variables de ALC, y de la misma manera que en invierno el DBO_5 y $\text{NH}_3\text{-N}$; la ALC se correlacionó con el $\text{NH}_3\text{-N}$ ($r=0.893$) y con los COLIF_T ($r=0.795$) lo que demuestra contaminación por desechos de flora y fauna; mientras que la variable DBO_5 se correlacionó con los SDT ($r= 0.872$) y con la CE ($r=0.898$), estos parámetros reflejan la incidencia de impurezas en el agua.

En invierno el CP3 mostró el 19.58% de la varianza, incluye las variables, SST y ALC; las variables Cl^- y SST se correlacionaron ($r=0.851$), puesto que estos dos reflejan la existencia de sales minerales, y otros compuestos presentes en el suelo por el cual fluye el agua.

En el verano el CP3 representó el 21.47% de la varianza, se conformó por OD, COLIF_T y al igual que en invierno por SST, Figura 41. El OD se

correlacionó con los COLIF_F, lo cual no es común ya que estas variables son inversamente proporcionales, ($r=0.847$), mientras que los COLIF_T se correlacionaron con la ALC ($r=0.795$) y de manera más significativa con el NH₃-N ($r=0.973$).

En las Figuras 40 y 41 se observa correlaciones entre el OD y los COLIF_T en verano y el OD con los COLIF_F en invierno. Estas relaciones, explican Fuentes, Patiño, López, & López (2009), que altos valores de OD y de coliformes conjuntamente representan la incidencia de una elevada densidad de fitoplancton.

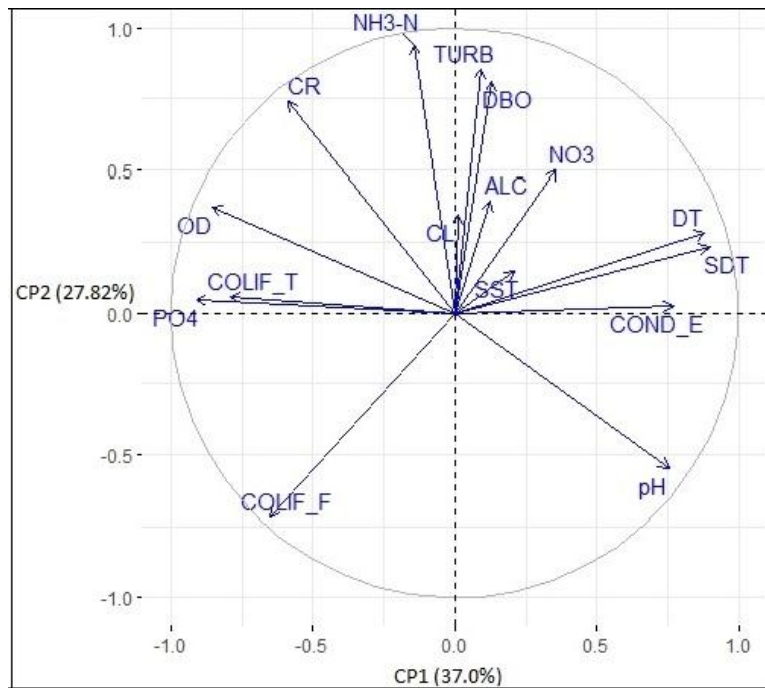


Figura 40. ACP de las variables de la quebrada 1 en invierno

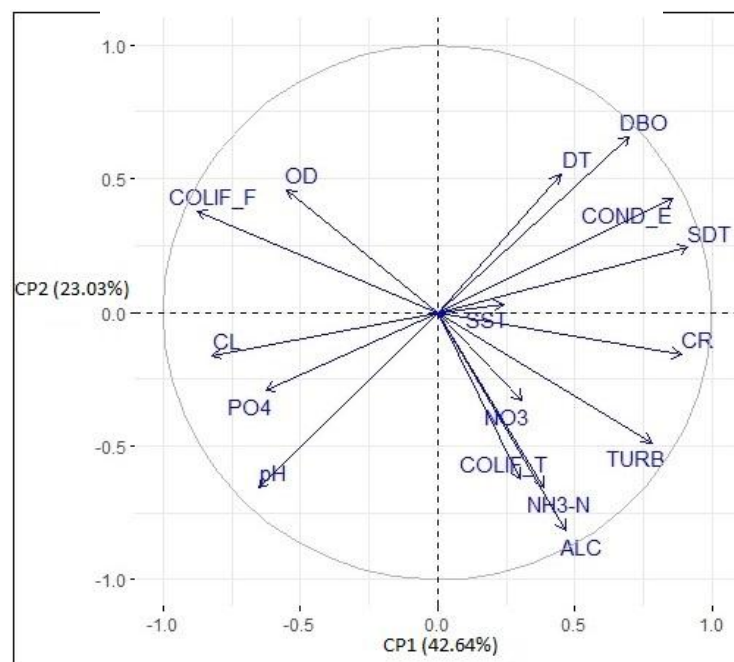


Figura 41. ACP de las variables de la quebrada 1 en verano

4.5.2 ACP de la quebrada 2

Los tres componentes principales de la quebrada 2 explicaron el 86.57% de la varianza en el invierno y de 90.91% de la varianza en el verano.

El CP1 en el invierno expresó el 51.27% de la varianza total, y se conformó por las variables TURB, SST y OD. El parámetro TURB relacionado con los Cl^- ($r= 0.869$), y los SST relacionados con los SDT ($r=0.879$), también la TURB y los SST se correlacionaron significativamente a su vez con los NH_3-N y COLIF_F lo que se atribuye a la influencia de las aguas residuales domésticas y los arrastres provocados por las altas precipitaciones.

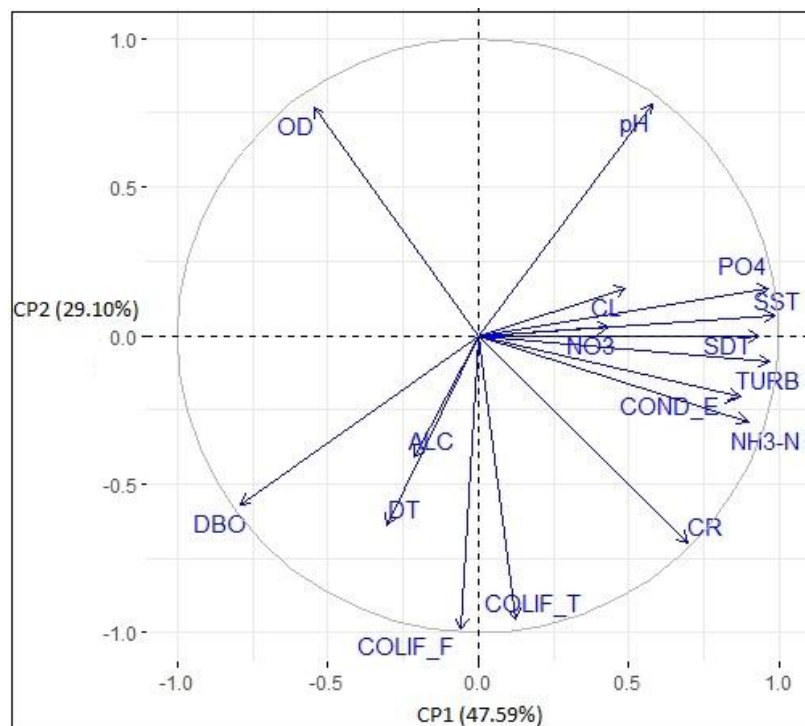
En verano el CP1 incluye 47.59% de la varianza y estuvo formado por SST, TURB y PO_4^{-3} , los cuales estuvieron fuertemente correlacionados entre sí. Además los SST se vincularon con los SDT ($r=0.872$) tomando en cuenta que son partículas en el agua, en tanto que la TURB y el PO_4^{-3} se ligaron considerablemente con el NH_3-N , $r=0.903$ y $r=83.7$ respectivamente, las cuales son variables propias de aguas residuales domésticas.

Durante el invierno el CP2 estuvo conformado por las variables DT, CE y COLIF_T, Figura 42, explicando el 24.32% de varianza. Las primeras dos se correlacionaron entre sí ($r=0.753$), puesto que estos parámetros se ven influenciados por la cantidad de sales minerales en agua y en el suelo, y por aguas residuales domésticas.

El CP2 durante el verano expuso el 29.10% de la varianza e incluyó las variables COLIF_F, COLIF_T y pH, Figura 43; se evidenció una relevante correlación entre los coliformes totales y fecales ($r=0.971$) los cuales representan la contaminación causada por los desechos de seres humanos, animales y materia orgánica existente en aguas residuales domésticas.

El CP3 en el invierno manifestó el 10.98% de la varianza, constituido por las variables NH_3-N , pH y Cl^- . Se presentó una significativa correlación de $r=0.952$ y $r=0.860$ entre la TURB y las variables NH_3-N y Cl^- , correspondientemente, lo que muestra la influencia de las precipitaciones; asimismo el NH_3-N se relacionó con los SST y CR, mientras que el Cl^- se vinculó con los COLIF_F, esto indica la disposición de contaminantes de plantas, animales y aguas residuales.

En el verano el CP3 exhibe el 14.21% de la varianza y comprende las variables NO_3 , DT y al igual que en invierno los Cl^- ; estas variables no



registraron correlaciones representativas con otras variables.

Figura 42. ACP de las variables de la quebraba 2 en invierno

4.5.3 ACP de la

Figura 43. ACP de las variables de la quebrada 2 en verano

quebrada 3

La varianza

acumulada de

los tres componentes principales de la quebrada 3 en invierno fue de 79.18% y en verano de 81.06%.

En la
se
el ACP
de la

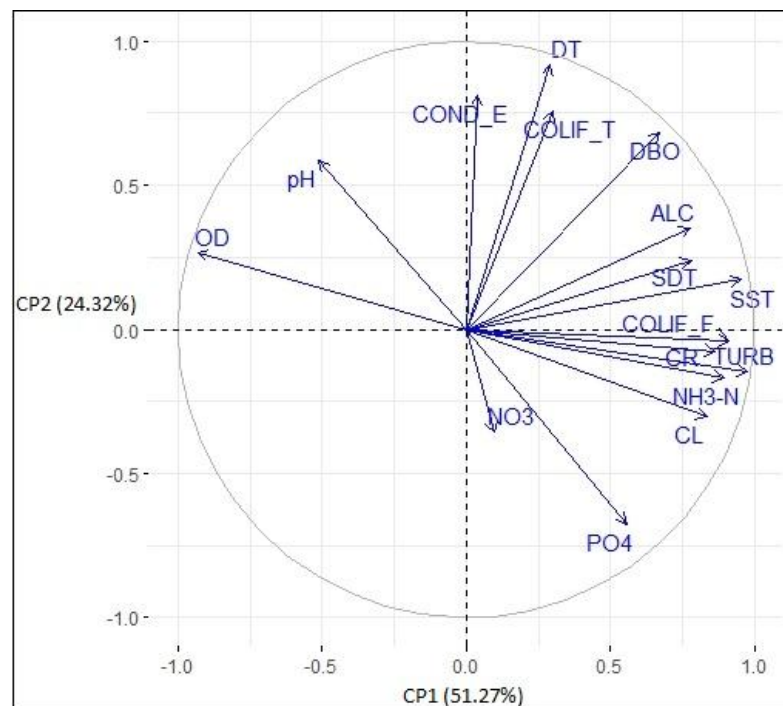


figura 44
observa
de las
variables

quebrada 3 en el invierno, donde el CP1 presentó el 35.84% de la varianza y

se encontró concretado por las variables CE, DBO_5 y SDT. Los parámetros CE y DBO_5 tienen una correlación de $r=0.773$ y a su vez esta última se vinculó con los SDT ($r= 0.936$) y a su vez las dos variables se relacionan con la DT, adjudicando que todos estos parámetros reflejan la presencia de sales minerales y materia orgánica en el agua.

El CP1 en el verano se observa en la Figura 45, integró el 34.46% de la varianza e incluyó las variables TURB, pH y CE; se evidenció que el pH y la CE se correlacionaron significativamente, ($r= 0.891$), entre tanto que la TURB se relacionó con los SDT (0.813), lo que demuestra la incidencia del material de fondo de esta quebrada sobre la calidad de agua.

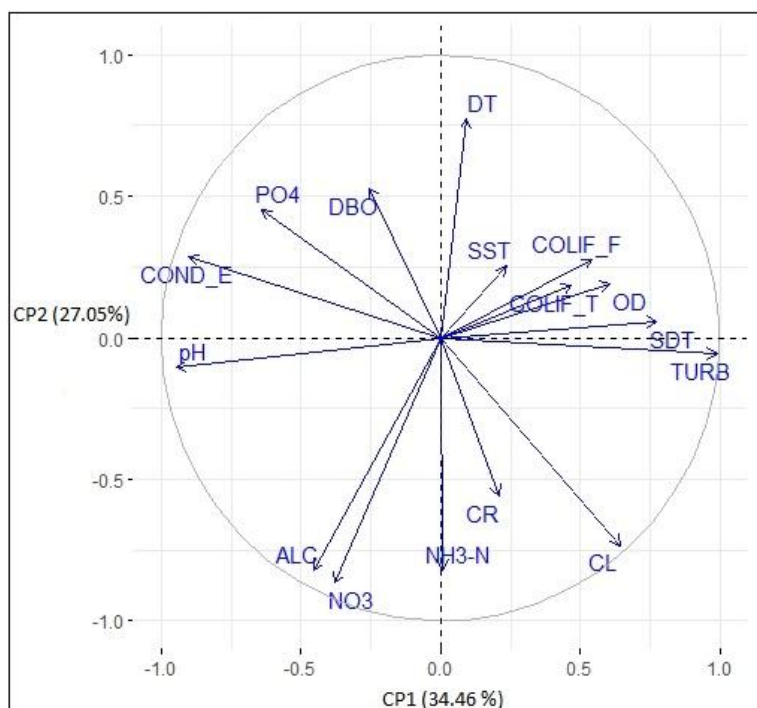
La varianza del CP2 en el invierno fue de 24.26% y las variables que lo conformaron fueron NO_3 , Cl^- y COLIF_T. Se registró una fuerte correlación entre los COLIF_T y los COLIF_F ($r= 0.951$) lo que demuestran la contaminación causada por los desechos de seres humanos, animales y materia orgánica.

La Figura 44 además muestra al OD en el mismo cuadrante que los COLIF_F y COLIF_T, de la misma manera que Narvaez, Gómez & Acosta (2008) evidenciaron que la variable OD se relacionó de manera apreciable con el grupo Coliformes; y Gianoli, Hung, & Shiva (2017) al relacionar los coliformes con las variables fisicoquímicas encontraron que la variabilidad del OD se ligó a la ubicación del punto de muestreo, mientras menos profundo mayor fue la concentración de OD y mayor cantidad de coliformes se hallaron en la superficie de las aguas.

El CP2 en el verano representa el 27.05% de la varianza y está formado por NO_3 , $\text{NH}_3\text{-N}$ y ALC. El NO_3 y la ALC se encontraron altamente correlacionados ($r=0.970$), al igual que en el estudio realizado por Andrade, Pinargote & Vega (2016) en donde al incrementarse la alcalinidad en una laguna aireada la eficiencia de oxidación del nitrógeno a nitratos aumentó significativamente.

El CP3 en el invierno se conformó por pH, CR y PO_4^{-3} y manifestó el 19.08% de la varianza. La correlación entre el CR y el PO_4^{-3} fue de $r=0.799$, y a su vez el CR se relacionó con la TURB ($r=0.753$) lo que atribuye la presencia de compuestos fosfatados, que influyen directamente en la turbiedad y el color del agua.

La varianza del CP3 en el verano fue de 19.55% y las variables que lo conformaron fueron SST, DBO_5 e igual que en invierno el CR. Los SST y el DBO_5 registraron una representativa correlación de $r=0.821$, esto debido a la existencia de materia orgánica suspendida en el agua.



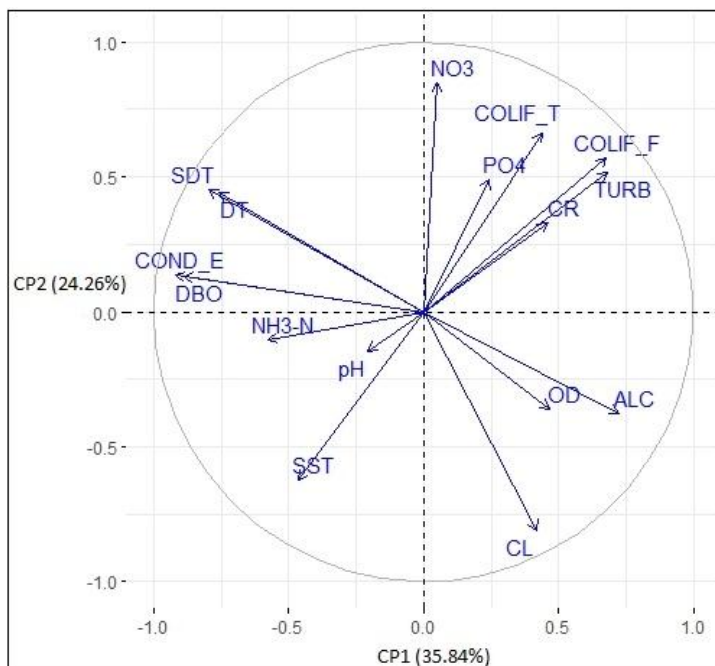


Figura 45. ACP de las variables de la quebrada 3 en verano

4.5.4 ACP de la quebrada 4

La sumatoria de la varianza de los tres componentes principales de la quebrada 4 en invierno fue de 87.98% y en verano fue de 81.33%.

El CP1 en invierno expuso el 43.60% de la varianza, constituido por las variables $\text{NH}_3\text{-N}$, DT y SST. La DT y los SST mostraron una importante correlación ($r=0.924$) lo que atribuye la presencia de sustancias carbonatadas suspendidas en el agua por influencia de las altas precipitaciones, mientras que el $\text{NH}_3\text{-N}$ se vinculó con CE, ALC y NO_3 parámetros que se ven afectados por la cantidad de materia orgánica particulada presente en la quebrada.

En el verano el CP1 explicó el 32.16% de la varianza, comprendió las variables NO_3 , Cl^- , y CE, Figura 47, las cuales no mostraron importantes correlaciones con ninguna otra variable.

En la figura 46 se muestra el CP2 en invierno, el mismo que representa el 30.04% de la varianza, las variables que lo conforman fueron COLIF_F, DBO_5 y COLIF_T. Los coliformes fecales y totales se correlacionaron fuertemente entre sí ($r=0.924$) y a su vez se relacionaron con los SDT,

$r=0.852$ y $r=0.776$ respectivamente, siendo estas variables indicadoras de contaminación a causa de los desechos de seres humanos y animales diluidos en el agua.

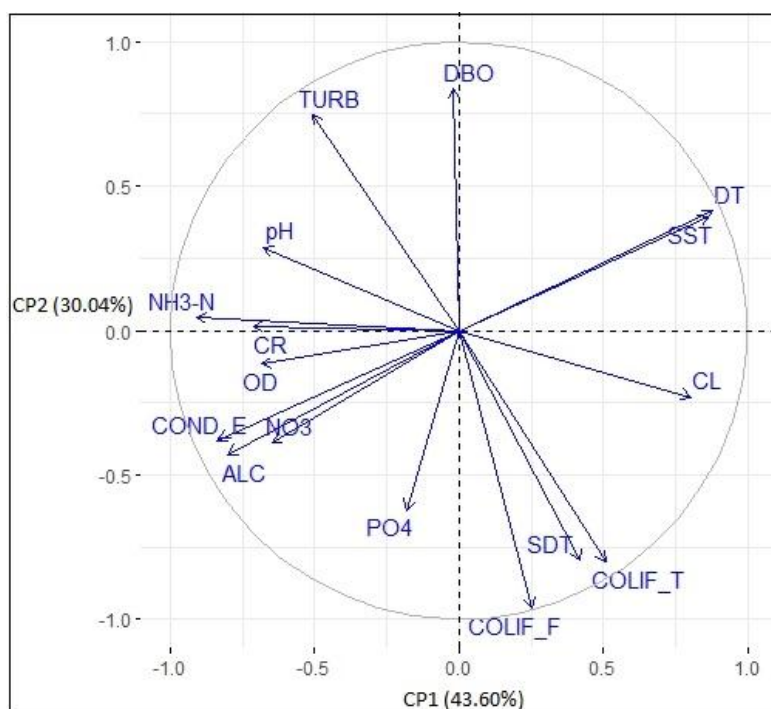
En el verano el CP2 estuvo conformado por las variables DBO_5 , DT y CR, y expone el 28.23% de la varianza; estas variables se correlacionaron mutuamente y además el CR se vinculó con la TURB ($r=0.884$) adjudicando que estas variables indican la presencia de sales minerales y materia orgánica.

La varianza del CP3 en invierno fue de 13.33%, las variables que se incluyeron fueron PO_4^{-3} , OD, NO_3 . El parámetro NO_3 mostró correlaciones con NH_3-N , CE y ALC, coincidiendo con la variable NH_3-N en el CP1.

El CP3 en el verano señaló el 20.94% de la varianza, se conformó por las variables

pH y
mismas
indicaron

NH_3-N ,
SDT,
que no



relevantes correlaciones entre sí, ni con las demás variables.

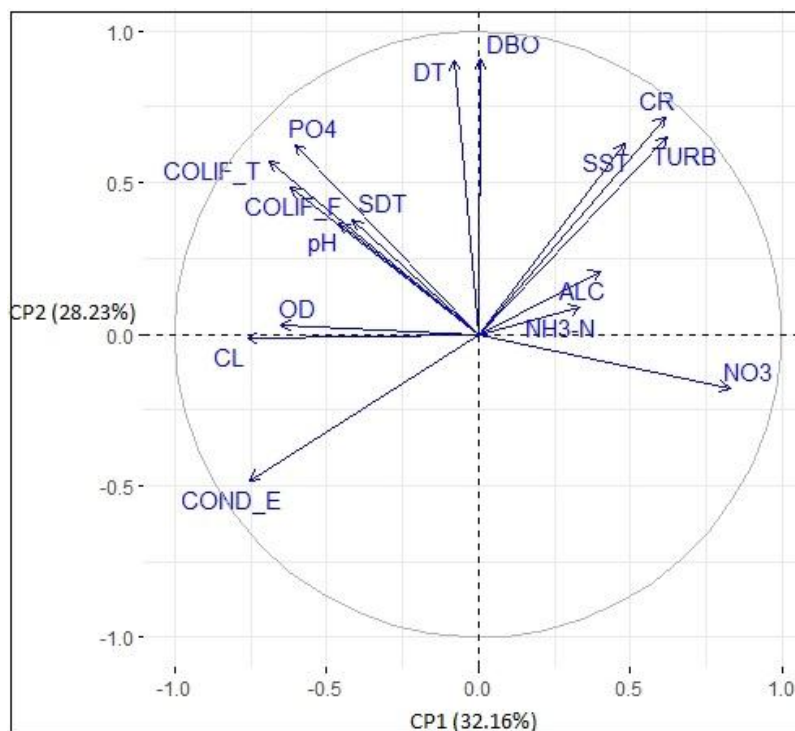


Figura 47. ACP de las variables de la quebraba 4 en verano

4.5.5 ACP del canal PTAR

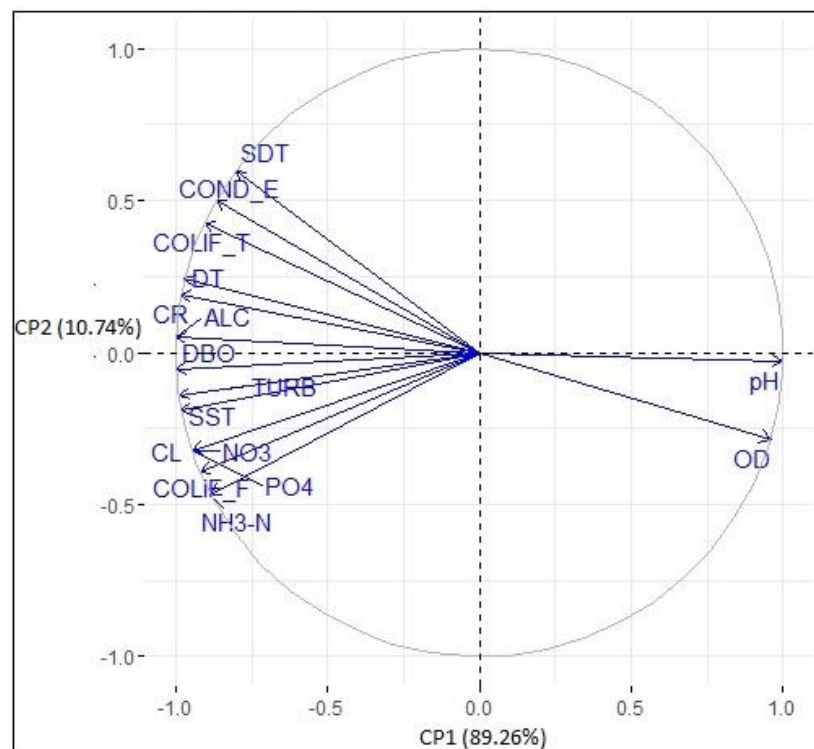
El 100% de la varianza del canal PTAR se explica en dos CP, tanto para invierno como para verano, así mismo en este punto se presentaron fuertes correlaciones entre la mayoría de las variables.

El CP1 en invierno representó el 89.26% de la varianza, lo conformaron las variables pH, ALC y TURB, Figura 48. El pH se correlacionó únicamente de manera significativa con el OD ($r=0.966$), lo que asigna la presencia de aguas residuales domésticas que disminuyen el OD y el pH, además estos parámetros se vieron influenciados por la temperatura del agua, puesto que mientras mayor sea la temperatura, disminuye el pH y el OD (Avelar, Guerrero, Guzmán & Thalasso., 2011). Mientras que la ALC y la TURB registraron altas correlaciones entre sí, y con SST, DT, CR, Cl^- , DBO_5 , PO_4^{-3} , NO_3 ; y particularmente la ALC se relacionó con COLIF_T y la TURB se vinculó con NH_3-N y COLIF_F, adjudicando que todos estos parámetros se ven influenciados por las actividades antropogénicas.

En el verano el CP1 señaló el 70.26% de la varianza, estuvo constituido por las variables, COLIF_F, SDT y como en el invierno, el pH, Figura 49; este último al igual que en el invierno mostró una alta correlación con el OD ($r=0.999$); las variables COLIF_T y SDT registraron importantes relaciones entre sí ($r=0.999$) y con SST, CE, CR, ALC, Cl^- , DBO_5 , NO_3 y COLIF_T.

El CP2 en invierno explicó el 10.74% de la varianza, estuvo conformado por las variables SDT, CE y NH_3-N . Los SDT y la CE presentaron altas correlaciones mutuamente ($r=0.99$) y de igual manera con DT, CR y COLIF_T, variables que denotan la presencia de sales minerales y materia orgánica diluida en el agua. En cuanto al NH_3-N se vinculó con las variables SST, COLIF_F, TURB, Cl^- , DBO_5 , PO_4^{-3} y NO_3 , parámetros que denotan contaminación antrópica.

En el verano el CP2 estuvo conformado por las variables TURB, PO_4^{-3} y DT; estas se correlacionaron fuertemente entre sí, esto debido a que la presencia de detergentes y sustancias fosfatadas aumentan estas variables consecuentemente.



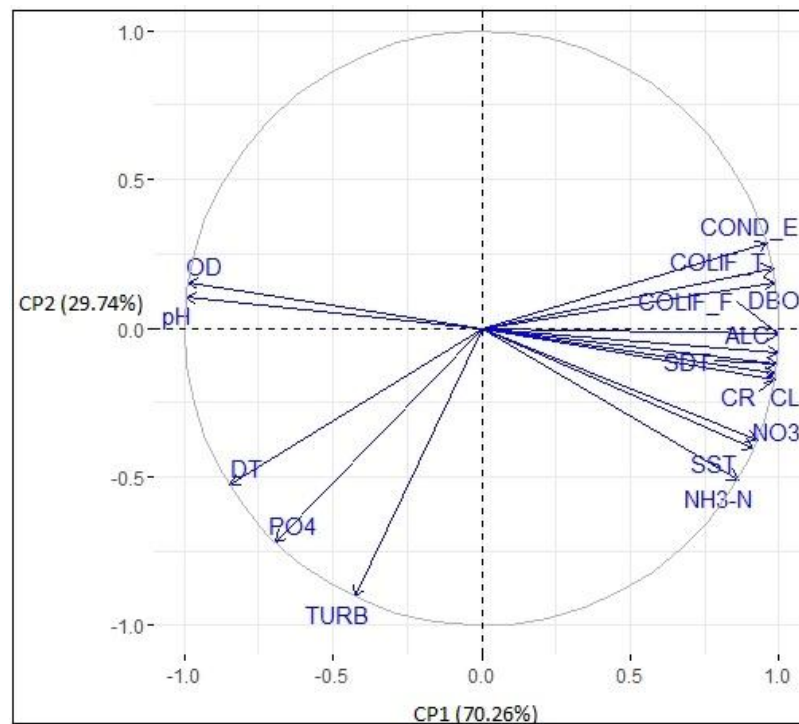


Figura 49. ACP de las variables del canal PTAR en verano

En las dos temporadas meteorológicas el CP1 del canal PTAR estuvo constituido por el pH, mismo que se correlacionó fuertemente con el OD, $r=0.966$ en invierno y $r=0.999$ en verano. Este vínculo explica Avelar, Guerrero, Guzmán, & Thalasso. (2011) se debe a la influencia de la temperatura del agua, la cual es inversamente proporcional a la concentración del OD y de pH, además se asigna la existencia de contaminación por aguas residuales que disminuye los valores de estos parámetros.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

El efecto de las actividades desarrolladas en el campamento sobre la calidad del agua superficial, fue evaluado mediante una matriz de valoración de impacto ambiental, donde se identificó las actividades más influyentes sobre la calidad del recurso hídrico. Además, se analizó las variaciones espacio temporales del caudal y de dieciséis parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con estos datos se obtuvo el índice de calidad de agua de Montoya 97, conociendo así el grado de contaminación del agua; finalmente para una mejor comprensión de la relación existente entre las actividades antrópicas y la calidad del agua se aplicó un análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas y microbiológicas.

Al sintetizar las actividades desarrolladas en el campamento en seis grupos, se valoró la incidencia de las mismas sobre los cuerpos de agua, tomando en cuenta siete características de impacto establecidas en una matriz de valoración, la cual mostró que las quebradas 1, 3 y 4 fueron impactadas de manera “irrelevante”. El impacto generado por las actividades sobre la quebrada 2 resultó ser “moderado”, mientras que en el canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales se consideró un impacto “severo”; estas categorías resultaron de la influencia directa e indirecta del tratamiento de aguas y residuos y demás actividades.

Los caudales altos se presentaron durante los meses de invierno en las cuatro quebradas y en el canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales, en tanto que los caudales medios y bajos se midieron en los meses de verano. Significativas variaciones se registraron entre aguas arriba y aguas abajo en cada una de las quebradas; la quebrada 1 presentó una disminución del 28 % del caudal, debido a infiltraciones y estancamientos; el caudal de la quebrada 2 aumentó un 68 % a causa de las

descargas en aguas abajo; en cuanto a la quebrada 3 mostró un incremento del 71 % por las aportaciones de pequeños riachuelos cercanos a la quebrada; el caudal de la quebrada 4 mostró una importante disminución del 86 % lo que se atribuye a desviaciones dentro y fuera del campamento.

La variabilidad espacial entre aguas arriba y aguas abajo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fue relevante en la quebrada 2, sobre todo las variables de sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal, temperatura, color real, fosfatos, turbiedad, dureza total, coliformes totales y fecales que aumentaron, y el oxígeno disuelto que disminuyó. Estas variaciones se atribuyen a la descarga de agua provenientes del canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Mientras que los niveles de sólidos suspendidos totales, coliformes totales y color real fueron relativamente mayores durante la etapa de invierno lo que quiere decir que se vieron influenciados por las altas precipitaciones.

Las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el canal de agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales no se vincularon con la variabilidad temporal. Durante los meses de mayo (invierno) y septiembre (verano) se registraron elevados valores de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, color real, alcalinidad, cloruros, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y fecales, y bajas concentraciones de oxígeno disuelto; en el mes de agosto se registró altos niveles dureza total, fosfatos y turbiedad, y mínimas cantidades de alcalinidad, demanda bioquímica de oxígeno, color real, coliformes totales y fecales, además en este mes se evidenció la presencia de espuma en el agua lo que se atribuye a la presencia de sustancias químicas como detergentes, jabones o desinfectantes que elimina la materia orgánica. La gran presencia de estos parámetros refleja y falta de eficiencia de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El índice de calidad de agua de las quebradas 1,3 y 4 indicaron un balance entre aguas arriba y aguas abajo, puesto que sus valores se establecieron dentro del criterio general del ICA de Montoya 97 como “Aceptable”; en tanto que la quebrada 2 pasó de “No contaminado” en Aa a “Poco contaminado” en Ab; por otro lado, el ICA del canal PTAR obtenido resultó dentro de la categoría “Poco Contaminado” en los meses de abril, junio, julio y agosto, y “Contaminado” en mayo y septiembre.

El índice de calidad de agua de Montoya 97 evaluado, confirma el deterioro en la calidad del agua del canal PTAR y de la quebrada 2, a medida que son afectadas por las actividades desarrolladas en el campamento, como se indicó en la matriz de valoración de impacto ambiental, y las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos registradas en dichos cuerpos de agua.

El ACP de la quebrada 1 en invierno constituyó el 84.45% de la varianza, el CP1 se conformó por los parámetros PO_4^{-3} , SDT y DT; mientras que en verano representó el 87.13% de la varianza, el CP1 incluyó las variables SDT, CR y COLIF_F. Los parámetros PO_4^{-3} y COLIF_F no registraron significativas correlaciones, los SDT y DT se correlacionaron entre sí en invierno; al igual que el CR con la TURB en verano; y los SDT con la CE en invierno y verano. Todas estas variables interconectadas fueron influenciadas principalmente por la presencia de sales minerales, la inestabilidad del terreno y el suelo descubierto cercano a esta quebrada.

El ACP de la quebrada 2 señala el 86.57% de la varianza en invierno, y el 90.91% de la varianza en verano. Las variables que resaltaron en esta quebrada fueron TURB, SST, $\text{NH}_3\text{-N}$, PO_4^{-3} , Cl^- , CE, DT, COLIF_T y COLIF_F, todos estos parámetros son indicadores de contaminación por aguas residuales domésticas, desechos de animales y sales minerales; y mantuvieron fuertes correlaciones entre sí, sobre todo los COLIF_T y COLIF_F ($r=0.971$), la TURB con PO_4^{-3} , SST y $\text{NH}_3\text{-N}$, $r=0.970$, $r=0.977$ y $r=0.952$ respectivamente.

La varianza en el canal PTAR durante el invierno y el verano fue de 100% y se constituyó de dos componentes principales, con fuertes correlaciones entre la mayoría de variables. Los parámetros que constituyeron el CP1 en invierno fueron, el pH, ALC y TURB, los dos últimos registraron importantes correlaciones entre sí y con SST, DT, CR, Cl^- , DBO_5 , PO_4^{-3} , NO_3 ; y en verano el CP1 lo conformaron COLIF_F, SDT y pH, los dos primeros registraron importantes relaciones entre sí y con SST, CE, CR, ALC, Cl^- , DBO_5 , NO_3 y COLIF_T, adjudicando que todos estos parámetros se ven influenciados por las actividades antropogénicas.

El CP2 del canal PTAR verano estuvo conformado por TURB, PO_4^{-3} y DT que presentaron importantes correlaciones entre si, coincidiendo de esta manera con la tendencia de aumento de estos parámetros en el mes de agosto (verano) y confirmando que la presencia de espuma en el agua se debe a la existencia de sustancias químicas que aumentan estas variables consecuentemente.

Las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales que influyen sobre la calidad del agua superficial son principalmente el tratamiento de aguas y residuos, que como tal receipta aguas residuales provenientes de las actividades domésticas y descarga aguas residuales sin tratamiento optimo sobre los cuerpos de agua dulce.

El presente trabajo de investigación se desarrolló con normalidad, teniendo en cuenta, normas de monitoreo, conservación de muestras y estándares de salud y seguridad; ayudará a la empresa CELEC EP a tomar decisiones acerca del manejo adecuado de los recursos naturales existentes en el predio de su campamento, además servirá como punto de partida para futuros proyectos referentes al impacto antrópico sobre la calidad del agua y del medio en general.

5.2 RECOMENDACIONES

Continuar con monitoreos de caudal y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las quebradas y canal PTAR, tomando en cuenta variables como detergentes, grasas y aceites, cloro residual, nitritos, metales pesados, sulfatos y contaminantes emergentes, los cuales dan una visión más detallada de las condiciones del agua superficial, basándose en el efecto de las actividades desarrolladas en el campamento Guarumales sobre la calidad del agua.

Determinar nuevos Índices de Calidad de Agua (ICA) adicionales al ICA de Montoya 97, que se puedan vincular al impacto antrópico generado en el campamento.

Realizar estudios específicos e inspecciones periódicas a las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales, con la finalidad de evaluar fallas estructurales que dificultan la actual eficiencia de las mismas, provocando contaminación a los cuerpos de agua cercanos y el medio.

Desarrollar investigaciones adicionales de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos, a través de índices como el Biological Monitoring, Party (BMWP) a los diferentes puntos monitoreados.

En base a los resultados obtenidos y sus respectivos análisis, elaborar un plan enfocado fundamentalmente a disminuir los niveles de contaminación que aportan las aguas residuales domésticas al canal PTAR y a la quebrada 2, producto de diferentes actividades cotidianas dentro del campamento.

El canal PTAR, es una estructura abierta que emana fuertes olores desagradables, atrayendo vectores y siendo un riesgo para la fauna existente en la zona que consume el agua de este canal, por lo cual se

recomienda rediseñar el canal cubriendo la superficie del mismo con tapas de hormigón.

En la quebrada 1, los valores obtenidos en algunos parámetros evaluados, refleja el aporte de sólidos de sales minerales, a causa de la erosión del material susceptible, por lo que es aconsejable realizar un plan de reforestación con plantas comunes de la zona, cubrir el talud con geomembranas o la aplicación de otras técnicas de mitigación para el control de deslizamientos.

Finalmente se recomienda efectuar un control de las actividades agrícolas y ganaderas que se efectúan aguas arriba de las diferentes quebradas.

BIBLIOGRAFÍA:

- Acosta, G. F. (2015). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 119–144.
- Acosta, H., Hampel, H., González, R., & Mosquera, P. (2014). (8) (PDF) Protocolo de Evaluación de la Integridad Ecológica de los Ríos de la Región Austral del Ecuador.
- Alcaide, A. S., Salvador, A. G., Salvador, L. G., & Sánchez, C. C. (2005). Evaluación de impacto ambiental. Pearson prentice hall.
- Almaguer, A. M., Escobedo Urias, D., Hernández Real, Ma. T., Herrera Moreno, N., Ulloa Perez, A., & Chiquete, Y. (1999). *Revista de la Universidad del Mar/ Calidad bacteriológica del sistema lagunar de san Ignacio-Navachiste, Sinaloa*. 13.
- Andrade, E. F. M., Pinargote, S. S. A., & Vega, D. W. M. (2016). Efecto de la alcalinidad sobre la eficiencia de nitrificación en una laguna aireada a escala piloto.
- Aroca, P. R., García, C. L., & López, J. J. G. (2009). Estadística descriptiva e inferencial.
- Auquilla Cisneros Ruth Cecilia. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica.
- Avelar-González, F. J., Guerrero-Barrera, A. L., Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., & Thalasso, F. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 89–102.
- Avila, J. P., & Canul, R. P. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres

- vivos. 10; Ingeniería 6(3), 73-81.
- Barreto Sáenz, P., Espinoza López, G., & Leiva Coallas, M. (2009, diciembre). Procedimiento de Muestreo de Agua Superficial Laboratorio de Calidad Ambiental Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional “Santiago Antunez de Mayolo”.
- Behar G, R., Zúñiga de Cardozo, M. del C., & Rojas Ch., O. (2011). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: Casos ríos Cali y Meléndez.
- Berden, G., Simionato, C., Dogliotti, A., & Moreira, Di. (2016, octubre). Estudio de la relación entre turbidez y concentración de sedimentos en suspensión en función de la granulometría en el Río de la Plata.
- Blanco, J. F. (2009). Características físico-químicas de las quebradas del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano. *Actualidades Biológicas*, 31(91), 123–140.
- Cadavid Juan H. (2006). *Hidraulica de canales: Fundamentos*. Universidad Eafit.
- Cardona Benavides, A. (1990). Caracterización físico-químico y origen de los sólidos disueltos en el agua subterránea del Valle de San Luis Potosí; su relación con el sistema de flujo (PhD Thesis). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Carpio, G., & Haydée, C. (2009). Determinación de la calidad del agua que abastece a cuatro comunidades del cantón el Almendro del municipio de Jucuarán, Usulután.
- CELEC EP. (2013). Actualización del estudio de impacto ambiental y plan de manejo ex post de la Central Paute Molino [Resumen Ejecutivo].
- CELEC EP. (2017). Subcuenca del río Paute.
- Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas de España, & Ministerio de Fomento de España. (2004, julio). Directiva 2000/60/CE. Análisis de las características de las demarcaciones. Caracterización de los tipos de ríos y lagos.
- Cevallos Andrade, L. S. (2010). Análisis de la estabilidad y diagnóstico del talud de la Zona no. 2 en Guarumales (Master's Thesis).

- Chiliquinga Quinapanta, C. E., & Donoso Cruz, H. E. (2013). Caracterización de la Calidad de Agua de la Microcuenca del Río Pachanlica de la Provincia de Tungurahua Tomando como Base la Metodología ICA de Montoya.
- Claros Bedoya, J. A. (2012). Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal (Universitat Politècnica de València). <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/17653>
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Trussell, R. R., & Franson, M. A. H. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz De Santos.
- CONAGUA. (2007). Escala de clasificación de calidad del agua- Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días).
- Cortés Lara, M. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica*, 14(2). <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v14i2.349>
- Díaz, E. F., Malán, S. Q., Terán, M. J. F., & Villa, J. D. M. (2012). Evaluación del uso recreativo del balneario de agua clara del cantón Bucay.
- Díaz-Martínez, J. A., & Granada-Torres, C. A. (2018). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 45–52.
- Ecofluidos Ingenieros S.A. (2012). Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco [Final]. Lima: Fondo para el logro de los ODM.
- Esquivel, R. P., & Villanueva, M. C. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2).
- Fernández Cirelli, Alicia. (2012). El agua: Un recurso esencial. 11(3), 147-170.
- Fernández Parada, Solano Ortega, & Ramos. (2005). Capítulo III Índices de

- calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Universidad de Pamplona, Colombia, 78.
- Fuentes, J. L., Patiño, R., López, P., & López, J. (2009). Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables físico-químicas en aguas de la laguna Los Mártires, isla de Margarita, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 21(2), 126-132.
- Garzón, J. M., Rodríguez Miranda, J. P., & Hernández Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud*, 19(2), 309. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Gianoli, A., Hung, A., & Shiva, C., (2017). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017.
- Goyenola Guillermo. (2007, junio). Oxígeno Disuelto. Recuperado de Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Hossen, M. A., Rafiq, F., Kabir, M. A., & Morshed, M. G. (2019). Assessment of Water Quality Scenario of Karnaphuli River in Terms of Water Quality Index, South-Eastern Bangladesh. *American Journal of Water Resources*, 7(3), 106–110.
- Hounslow, A. (2018). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation*. <https://doi.org/10.1201/9780203734117>.
- INEN, N. 2 169: 98.(1998). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras.
- Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). Protocolo de toma de muestras de agua residual.
- Julián Soto, F. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2), 167-177.
- Laboratorio de Química Ambiental Ideam. (1997, julio). Sólidos Suspendidos Totales. Recuperado 9 de octubre de 2019, de Dr. Calderón Labs.
- Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). Caracterización de las aguas

- residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71–80.
- Lenntech. (2017). Tratamiento y purificación del agua—Lenntech. Recuperado 9 de octubre de 2019, de Lenntech.es website: <https://www.lenntech.es/>
- Liceo la Rita. (2013). Análisis físico, químico y biológico de la cuenca hidrológica del Río San Rafael y su posible relación con el impacto ecológico ocasionado por la actividad piñera aledaña al río, durante el periodo de marzo a octubre del año 2013 en Guápiles, Pococí, Limón. *Globe*.
- Lozada, P. T., Vélez, C. H. C., & Patino, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 8(15), 3.
- Lozares Colina, C., & López-Roldán, P. (1991). El análisis de componentes principales: Aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers: revista de sociologia*, (37), 031-063. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1595>
- Martínez, M. S. (2016, octubre 9). ¿Por qué cambian de color las aguas? Recuperado 9 de octubre de 2019, de All you need is Biology website: <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/10/09/por-que-cambian-de-color-las-aguas/>
- Mason, R. D., Lind, D. A., Marchal, W. G., & Lozano, M. C. H. (1998). *Estadística para administración y economía*. Alfaomega ^ eMéxico DF México DF.
- Menchaca, S. D., López, O. O., & García, H. H. (2019). Contaminación antrópica por organismos microbiológicos en la microcuenca del río Pixquiac. *UVserva*, (7).
- Middelboe, A. L., & Hansen, P. J. (2007). High pH in shallow-water macroalgal habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 338, 107-117. <https://doi.org/10.3354/meps338107>
- Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España. (2016).

Estado y calidad de las aguas [Agenda 2030].

- Molina, J. M., & Brenes, G. C. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23(Extra 5), 34-40.
- Montes Blandón, L. V., & Mora García, M. A. (2017). Diagnóstico de la vulnerabilidad ambiental generada por desbordamiento del río Tuluá, en las zonas de mayor amenaza y acciones de mitigación y adaptación en el casco urbano del municipio de Tuluá, en el Valle del Cauca. Recuperado de <http://192.168.14.9:8080/handle/123456789/711>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C., & Medal, E. G. U. (1996). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. McGraw-Hill Mexico DF, Mexico.
- Narvaez, S., Gomez, M., & Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 113-121.
- Navarro Roa Maria Olga. (2007). Determinación de escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en Agar Chromocult. (03), 17.
- Neira Gutiérrez., M. A. (2016, noviembre). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile.
- Fernández P. Nelson Josué (2000). ICATest v1.0.0.44. Universidad de Pamplona.
- Ortega, G., Álvarez, R., & Leiva Coallas, M. (2014). Instrutivo de medición del caudal-Laboratorio de calidad ambiental.
- Peñafiel Romero, A. G. (2014). Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de tecnología del agua (B.S. thesis).
- Pérez Castillo Gabriela, A., & Rodríguez, A. (2007). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4).

<https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769>

- Pontón Valarezo, M. R. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Piñas mediante los índices ICA y BMWP (B.S. thesis).
- Pulla, E. P. (2007). Trabajo de investigación oxígeno disuelto (OD). 6.
- R Development Core Team. (2017). R: El proyecto R para computación estadística. Recuperado 17 de noviembre de 2019.
- Ramírez, W., Antúnez, G., & Rodríguez, Y. (2016). Analysis in Veterinary Medicine. 9.
- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2011). Análisis del agua/L'analyse de L'eau. Omega.
- Rodríguez, S. C., Asmundis, C. L. D., & Martínez, G. C. (2016). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. *Agrotecnia*, 0(24), 30-34. <https://doi.org/10.30972/agr.0241174>
- Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. 353.
- Román, L., & Ruiz, K. (2018). Validación de métodos de ensayo para determinación de pH, conductividad, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab.
- Romero, A. M., Gómez, K. F., Sánchez, J. O., & García-Luján, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35–47.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Martínez, Q., Manuel, R., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., & Rey Burciaga, N. I. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 139–150.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014, julio). El Medio Ambiente en México 2013-2014.
- Sigler, W. A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales.
- Solarte, L. J. Q. (2012). Documentación del procedimiento de laboratorio para la DBO5 en el laboratorio de control de calidad de la empresa de acueducto y alcantarillado de Pereira SAESP (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Química).
- Sosa Pérez, G. (2007). Componentes de la gestión del agua para consumo humano en el Municipio de Valle de Angeles, Honduras Components of water management for human consumption in the Municipality of Valle de Angeles, Honduras. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). Estadística/Theory and problems of statistics. McGraw-Hill.
- State Water Resources Control Board. (2018a). Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad.
- State Water Resources Control Board. (2018b). Folleto Informativo pH.
- State Water Resources Control Board. (2018c). Folleto Informativo Temperatura.
- Tecnología para la Industria. (2016). Correntómetros: Correntometro digital global water FP111.
- Thunqvist, E. L. (2004). Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. Science of the total environment, 325(1-3), 29–37.
- Torres, P. (2006). Probabilidad y estadística. Notas de clase presentadas en la especialización Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Universidad de Los Andes.
- Torres, S. M. E., & Navia, S. L. A. de. (2010). Calidad físico-química y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. NOVA, 8(14). <https://doi.org/10.22490/24629448.451>
- TULSMA, Anexo 1. (2017). Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua. TULSMA, Libro VI,

Anexo 1. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes:
Recurso Agua.

- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34–38.
- Yépez Martínez Verónica Valeria. (2016, octubre). Bases y Criterios para la determinación de caudales ecologicos en ríos altosandinos tropicales.
- Yuan, Z.-W., Wang, L., Lan, T., Ji, Y., & Zhao, H.-Z. (2016). Water quality assessment and source identification of water pollution in the Banchengzi reservoir, Beijing, China. *Desalination and Water Treatment*, 57(60), 29240–29253.
- Zilpa Hernández, S. (2015). Comparación de tratamientos empleados para la eliminar la dureza del agua.

ANEXOS

ANEXO 1: BITÁCORA DE PARÁMETROS TOMADOS IN SITU

Estación	Muestra	Lugar	Hora	Temp (°C)	pH	Conduct (mS/cm)	OD (mg/l)	SDT (g/l)	Ancho (m)	Profund (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
S1a	M1	Arriba de garita	06h50	16,18	6,77	0,024	8,47	0,026	1,61	0,15	0,242	0,75	0,181
S1b	M2	Atrás de Escuela	07h55	16,58	6,47	0,071	9,44	0,046	1,55	0,16	0,245	0,45	0,110
S2a	M3	Arriba de Pinos	07h00	15,89	6,92	0,072	8,82	0,047	0,5	0,128	0,064	2,16	0,138
S2b	M4	Unión Inclíno metro	08h50	16,89	6,36	0,07	9,56	0,045	2,31	0,185	0,427	0,83	0,355
S3a	M5	PTAP	06h07	16,03	7,38	0,105	8,73	0,068	0,52	0,131	0,068	0,6	0,041
S3b	M6	Abajo de helipuerto	08h40	16,14	6,67	0,076	10,58	0,059	0,96	0,048	0,046	1,4	0,065
S4a	M7	Arriba de Malvinas	06h30	16,41	7,32	0,072	8,9	0,047	0,92	0,143	0,132	0,73	0,096
S4b	M8	Debajo de Taller auto	09h22	16,61	6,52	0,055	7,41	0,039	0,54	0,055	0,030	0,4	0,012


Mes de monitoreo: Septiembre, 2019

Número de campaña: 06

Figura 50. Ejemplo de bitácora de los parámetros monitoreados insitu
Fuente: Autores, 2019

ANEXO 2: DATOS DE LABORATORIO

Tabla 18. Resultados de laboratorio - abril



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Magaly Jiménez y Jéssica Torres

Lugar de la toma de muestra: Campamento Guarumales- CELEC EP.

Tipo de agua:

Dirección:

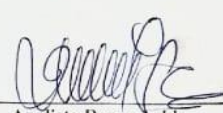
Teléfono:

Fecha de la toma: 29/04/2019

Fecha del análisis: 29/04/2019

Código: 01019

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS



Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Qb1aa	Qb1 ab	Qb2aa	Qb2 abA	Qb3aa	Qb3 ab	Qb4 aa	Qb4 ab	Qb2abB		
	Arriba de Garita de Salida	Atrás de Escuela Amaluza	Arriba de Barrio Pinos	Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Alado de PTAP	Debajo de Heliuerto	Arriba de Barrio Malvinas	Debajo de taller automotriz	Debajo de PTAR		
pH	6,83	7,41	7,36	6,37	7,48	7,44	7,58	6,9	6,6	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	3	2,05	2,39	2,1	2,02	2,57	2,3	3,26	2,34	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	35,5	46	56	46	70	47	42	36,1	65	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,24	7,81	8,9	8,7	8,62	9,09	9,3	7,69	7,75	mg/l O ₂	MNE 4500-G
Conductividad	30	81	95	102	108	82	85	66,2	106,3	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	37,5	50	50	45	47,5	30	30	40	55	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	35	35	25	52	27	30	80	82	75	UH o UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	23,75	28,5	26,125	23,75	16,625	26,125	28,5	16,625	32,5	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	25	30	15	19,4	12,34	11,57	60	62,22	65	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,3	0	0	0,20	0,1	0,4	0	0,3	0,5	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ -C
DBO5	8,04	6,36	12,18	10,7	8,3	6,05	8,55	8,7	11,7	mg/l O ₂	MNE 5220- C
Fosforo Total	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1	0,2	0	0,2	mg/l P	MNE 4500 P- C
Nitratos	0,5	0,8	0,4	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	150	100	1100	1100	85	59	50	150	1500	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	21	50	40	210	19	30	27	20	340	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019

Tabla 19. Resultados de laboratorio - mayo



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Solicitado por: Magaly Jiménez y Jéssica Torres

Lugar de la toma de muestra: Campamento Guarumales_CEEC EP.

Tipo de agua:

Dirección:


Teléfono:

Fecha de la toma: 28/05/2019

Fecha del análisis: 28/05/2019

Código: 02019

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS



 Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Qb1aa	Qb1ab	Qb2aa	Qb2abA	Qb2abB	Qb3aa	Qb3ab	Qb4aa	Qb4ab		
	Arriba de Garita de Salida	Atrás de Escuela Amaluza	Arriba de Barrio Pinos	Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Debajo de PTAR	Alado de PTAP	Debajo de Helipuerto	Arriba de Barrio Malvinas	Debajo de taller automotriz		
pH	6,5	6,6	6,59	6,88	6,2	6,62	6,53	7,2	7,55	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	2,3	2,6	2,13	2,48	4,2	2,17	3,8	2,17	3,6	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	20	50	48	43	65,5	62	68	28	42	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,9	8,5	8,75	8,6	7,5	8,21	9,07	10,16	8,9	mg/l O ₂	MNE 4500 -G
Conductividad	36	65	59	73	112	102	96	67	54	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	30	40	32,5	42,5	67,5	37,5	40	30	37,5	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	75	62	48	55	95	48	62	98	50	UHQ UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	25,5	20,5	21,6	17,5	45	25	22,5	17,5	15	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	35,5	30,1	25,4	27,3	85	12,4	13,6	72	59,4	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,2	0,4	0,1	0,4	1,4	0,1	0,3	0,1	0,2	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ - C
DBO5	7,14	7,94	7,32	10,8	18,8	7,74	8,6	7,36	7,84	mg/l O ₂	MNE 5220- C
Fosforo Total	1,2	0,6	0,4	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	mg/l P	MNE 4500 P- C
Nitratos	0,8	0,7	0,1	0,2	0,7	0,3	0,2	0,2	0,1	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0,2	0,3	0,3	0,2	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	600	60	40	1600	1800	90	63	40	50	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	100	15	10	300	1300	20	17	10	10	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por las condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores— las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el LAA, tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019

Tabla 20. Resultados de laboratorio - junio



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Magaly Jiménez y Jessica Torres

Lugar de la toma de muestra: Campamento Guarumales, CELEC EP.

Tipo de agua:

Dirección:


Teléfono:

Fecha de la toma: 28/06/2019

Fecha del análisis: 28/06/2019

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Código: 03019



Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Qb1aa	Qb1ab	Qb2aa	Qb2abA	Qb3aa	Qb3ab	Qb4aa	Qb4ab	Qb2abB		
	Arriba de Garita de Salida	Atrás de Escuela Amaluza	Arriba de Barrio Pinos	Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Alado de PTAP	Debajo de Helipuerto	Arriba de Barrio Malvinas	Debajo de taller automotriz	Debajo de PTAR		
pH	6,7	7,2	6,62	6,37	7,42	6,65	7,4	6,53	6,82	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	2,1	2,9	2,09	3,7	2,06	1,14	2,02	3,07	2,02	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	18	40	46	69	61	54,5	48	55	59,7	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,5	8,44	8,66	8,3	7,87	9,29	9,42	8,62	8,10	mg/l O ₂	MNE 4500-G
Conductividad	25	71	65	80	105	67	88	58	84	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	25	30	20,5	45	35	35	25	38	40	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	45	35	30	75	45	65	85	63	55	UH o UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	20	10	17,4	35	23	25	35	12,5	25	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	18	20	20,1	55	12,5	18	55	48	60	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,1	0,4	0,4	0,8	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ C
DBO ₅	5,98	5,96	8,72	13,8	7,12	6,02	6	6,52	8,92	mg/l O ₂	MNE 5220-C
Fosforo Total	1,2	0,4	0,4	0,5	0,35	0,3	0,3	0,32	0,2	mg/l P	MNE 4500 P-C
Nitratos	0,4	0,7	0,9	0,5	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0	0	0,01	0,6	0,2	0	0,3	0	0,35	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	311	300	301	1083	300	222	211	310	733	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	300	148	220	580	120	121	100	122	421	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores— las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019

Tabla 21. Resultados de laboratorio - julio



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Magaly Jiménez y Jéssica Torres

Lugar de la toma de muestra: Campamento Guarumales_CEEC EP

Tipo de agua:

Dirección:


Teléfono:

Fecha de la toma: 28/07/2019

Fecha del análisis: 28/07/2019

Código: 04019

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS



 Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Qb1aa Arriba de Garita de Salida	Qb1ab Atrás de Escuela Amaluza	Qb2aa Arriba de Barrio Pinos	Qb2abA Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Qb3aa Alado de PTAP	Qb3ab Debajo de Heliporto	Qb4aa Arriba de Barrio Malvinas	Qb4ab Debajo de taller automotriz	Qb2abB Debajo de PTAR		
pH	6,72	6,29	6,93	6,27	7,13	6,32	7,74	6,31	6,36	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	2,068	2,098	2,037	2,15	2,34	2,87	2,41	2,96	2,065	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	17	45	45	51	67	85	51	59	63	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,58	8,54	8,85	8,28	9,26	9,56	8,43	8,11	8,20	mg/l O ₂	MNE 4500 -G
Conductividad	25	79	69	84	103	80	74	59	102	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	23	57,2	54,3	63,1	82,7	58,2	53,6	43,2	79,8	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	30	40	21	56	25	31	45	50	45	UH o UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	15	12	14	21	12	10	12	14	22	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	15	18	12	25	13	17	24	38	50	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,2	0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ - C
DBO ₅	4,8	8,5	8,02	9,74	7,42	8,1	13,44	9,92	9,44	mg/l O ₂	MNE 5220- C
Fosforo Total	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,35	0,15	mg/l P	MNE 4500 P- C
Nitratos	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0	0	0,1	0,2	0,1	0	0,2	0,1	0,25	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	80	91	150	660	36	62	180	130	840	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	27	21	65	250	30	27	75	35	280	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores; las muestras que sean clasificadas como peligrosas.

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019

Tabla 22. Resultados de laboratorio - agosto



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: **Magaly Jiménez y Jéssica Torres** Código: **05019**

Lugar de la toma de muestra: **Campamento Guarumales_ CELEC EP**


Tipo de agua: _____

Dirección: _____

Teléfono: _____

Fecha de la toma: **28/08/2019**

Fecha del análisis: **28/08/2019**



 Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Arriba de Garita de Salida	Atrás de Escuela Amaluza	Arriba de Barrio Pinos	Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Alado de PTAP	Debajo de Helipuerto	Arriba de Barrio Malvinas	Debajo de taller automotriz	Debajo de PTAR		
	Qb1aa	Qb1 ab	Qb2aa	Qb2 abA	Qb3aa	Qb3 ab	Qb4 aa	Qb4	Qb2abB		
pH	6,76	6,6	6,85	7,61	7	6,46	6,65	6,3	6,40	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	2,23	2,47	2,14	2,5	2,25	2,17	2,24	2,40	2,23	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	15	45	43	61	67	84	38	57	60	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,4	8,33	8,8	8,5	9,23	9,44	8,3	7,9	8,35	mg/l O ₂	MNE 4500 -G
Conductividad	27	76	66	92	101	67	78	69	90,2	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	17,1	26,2	27	29,4	38,6	42,6	26,1	23,2	155	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	40	42	15	60	27	30	30	40	35	UH o UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	16	20	12,5	15	15	18	10	12	15	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	21	27	17	65	12	18	20	22	115	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,08	0,10	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,35	0,3	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ - C
DBO ₅	4,28	7,1	7,78	3,9	6,52	5,18	3,18	6,34	3,28	mg/l O ₂	MNE 5220- C
Fosforo Total	0,11	0,1	0,1	0,98	0,3	0,1	0,2	0,1	1,8	mg/l P	MNE 4500 P- C
Nitratos	0,3	0,7	0,6	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0	0	0,1	0,35	0	0,3	0,25	0	0,50	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	90	70	20	210	90	80	84	100	7	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	20	12	7	23	14	27	37	21	0	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019

Tabla 23. Resultados de laboratorio - septiembre



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: **Magaly Jiménez y Jessica Torres** Código: **6019**

Lugar de la toma de muestra: **: Campamento Guarumales_ CELEC EP**

Tipo de agua:


Dirección:

Teléfono:

Fecha de la toma: **28/09/2019**

Fecha del análisis: **28/09/2019**

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS


Analista Responsable

Parámetros detectados	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Unidad de medida	Método seguido
	Arriba de Garita de Salida	Atrás de Escuela Amaluza	Arriba de Barrio Pinos	Unión AR debajo de estación de inclinómetro	Alado de PTAP	Debajo de Helipuerto	Arriba de Barrio Malvinas	Debajo de taller automotriz	Debajo de PTAR		
	Qb1aa	Qb1 ab	Qb2aa	Qb2 abA	Qb3aa	Qb3 ab	Qb4 aa	Qb4	Qb2abB		
pH	6,77	6,47	6,92	6,36	7,38	6,67	7,32	6,52	6,24	Unidades de pH	MNE 2320-B
Sólidos susp. totales	2,08	2,01	2,10	2,20	2,4	2,6	2,3	2,8	4,1	mg/l	MNE 2540-C
Sólidos disu. Totales	26	46	47	45	68	59	47	39	73	mg/l	MNE 2540-C
Oxígeno disuelto	8,47	8,44	8,82	8,56	8,73	9,90	8,9	7,41	7,6	mg/l O ₂	MNE 4500 -G
Conductividad	24	71	72	70	105	76	72	55	110	uS/cm	MNE 2510-B
Dureza Total	40	35	35	38	32	44	31	42	66	mg / l CaCO ₃	MNE 2340-B
color	35	48	25	60	31	38	52	57	90	UH o UCP	MNE 2120-B
Alcalinidad	22,5	28	32,5	31	39	33,2	29,1	18,5	41,2	mg/L CO ₃ ²⁻	
Turbiedad	21	25	16,4	37	11,8	14	33	37	77	UNT	MNE 2130-B
Cloruros	0,10	0	0,20	0,20	0,20	0,25	0,3	0,1	0,8	mg/l Cl ⁻	MNE 4500 Cl ⁻ - C
DBO5	5,2	6,2	7,8	8,4	7,0	7,22	10,84	10,20	16,1	mg/l O ₂	MNE 5220- C
Fosforo Total	0,2	0,2	0,1	0,3	0,21	0,32	0,2	0,1	0,33	mg/l P	MNE 4500 P- C
Nitratos	1,1	0,4	0,4	0,7	0,9	0,6	0,3	0,8	2,6	mg/l NO ₃ ⁻	MNE 4500-B
Amonio	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0,1	0,35	0,3	1,51	mg/l NH ₄	MNE 4500-E
Coliformes Totales	170	180	28	830	28	38	68	70	1600	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Coliformes Fecales	19	14	13	250	19	22	24	27	860	NMP/ ml	1529-1 INEN NMP
Grasas y Aceites	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible	No visible		

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores— las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán ser retirados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio. Se entregará como certificado a la forma de

Fuente: Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, 2019



ANEXO 3: CÁLCULO DEL ICA DE MONTOYA 97

Parámetros	Valor del Parámetro	Fórmula para li	Exponent e o múltiplo	Resultado 1	Constante de fórmula	li	Wi	$li * Wi$
CR	90	$Ic=123 (C)^{-0.295}$	-0.295	0.2652	123	32.614	1	33
TURB	77	$IT=108 (T)^{-0.178}$	-0.178	0.4615	108	49.845	0.5	25
CE	110	$ICE=540 (CE)^{-0.379}$	-0.379	0.1684	540	90.929	1	91
SST	4.1	$ISS=266.5 (SS)^{-0.37}$	-0.370	0.5933	266.5	158.112	1	158
SDT	73	$ISD=109.1-0.0175 (SD)$	1.278	93.2575	107.822	107.822	0.5	54
pH	6.24	$IpH=10 \wedge 0.2335pH+0.44$ - > pH <7 $IpH=100$ - > $pH = 7$ $IpH=10 \wedge 4.22-0.293pH$ - > pH > 7	1.457	1.8970	78.893	78.893	1	79
ALC	41.2	$IA=105 (A)^{-0.185}$	-0.185	0.5026	105	52.775	0.5	26
DT	66	$IDT=10 \wedge 1.974-[0.00174 DT]$	1.859	0.1148	72.303	72.303	1	72
PO_4^{-3}	0.33	$I PO_4^{-3}=34.215 (PO_4^{-3})^{-0.46}$	-0.460	1.6653	34.215	56.977	2	114
Cl	0.8	$ICl=121 (Cl)^{-0.223}$	-0.223	1.0510	121	127.173	0.5	64
NO_3	2.6	$IN-NO_3=62.2 (N-NO_3)^{-0.343}$	-0.343	0.7206	62.2	44.818	2	90
NH_3-N	1.51	$INH_3=45.8 (N-NH_3)^{-0.343}$	-0.343	0.8682	45.8	39.762	2	80
OD	7.6	$IOD=100OD/ 14.492 - 0.384 T+0.054$ T^2	760.000	25.5489	29.746	29.746	5	149
DBO_5	16.1	$IDBO_5=120(DBO_5)^{-0.673}$	-0.673	0.1541	120	18.492	5	92
COLIF_T	1600	$ICT=97.5 (CT)^{-0.27}$	-0.270	0.1364	97.5	13.301	3	40
COLIF_F	860	$IEC=97.5[5 (CF)]^{-0.27}$	-0.270	0.8066	97.5	78.643	4	315
							30	1480.449
							ICA	49.34831

Tabla 24. Ejemplo de hoja de cálculo del ICA de Montoya 97

Fuente: Autores, 2019

ANEXO 4: SCRIPT DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

```
1. library(readxl)
2. library(dplyr)
3. data<- read_excel("data.xlsx", col_names = TRUE)
4. data$fecha <- as.POSIXct(data$fecha, format = "%d-%m-%y")
5. #####Qb1-----
6. qb1aa<-subset(data, codigo=="Qb1aa")
7. qb1ab<-subset(data, codigo=="Qb1ab")
8. qb1aal<-qb1aa[1:3,]
9. qb1abl<-qb1ab[1:3,]
10. qb1l<-rbind(qb1aal,qb1abl)
11. para<- subset(qb1l, select = -c(1:2, 19))
12. #descriptiva#
13. corre<-cor(para)
14. nram<- scale(para)

15. #ACP#
16. acp<-prcomp(nram)
17. acp
18. summary(acp)
19. desv_stand<-acp[[1]]
20. desv_stand
21. varianza<-desv_stand^2
22. varianza

23. CP11l<-acp[[2]][,1]
24. CP21l<-acp[[2]][,2]
25. CP31l<-acp[[2]][,3]
```

Fuente: Autores, 2019

ANEXO 5: COMPONENTES PRINCIPALES Y MATRIZ DE CORRELACIONES

Tabla 25. Componentes principales de las variables de la quebrada 1 en invierno

	CP1	CP2	CP3
<i>pH</i>	0.310	-0.260	0.099
<i>SST</i>	0.086	0.070	-0.509
<i>SDT</i>	0.369	0.111	-0.120
<i>OD</i>	-0.350	0.177	-0.140
<i>CE</i>	0.316	0.011	0.065
<i>DT</i>	0.361	0.133	0.202
<i>CR</i>	-0.241	0.351	0.110
<i>ALC</i>	0.051	0.186	0.423
<i>TURB</i>	0.037	0.404	0.264
<i>CI</i>	0.004	0.164	-0.511
<i>DBO₅</i>	0.054	0.384	-0.169
<i>PO₄⁻³</i>	-0.374	0.022	0.180
<i>NO₃</i>	0.146	0.237	0.210
<i>NH₃-N</i>	-0.060	0.444	-0.099
<i>COLIF_T</i>	-0.326	0.026	0.110
<i>COLIF_F</i>	-0.267	-0.340	0.047
<i>Desviación estándar</i>	2.434	2.109	1.770
<i>Porcentaje de varianza</i>	37.05	27.82	19.58
<i>Varianza acumulativa</i>	37.05	64.87	84.45

Tabla 26. Componentes principales de las variables de la quebrada 1 en verano

	CP1	CP2	CP3
<i>pH</i>	-0.250	-0.342	0.178
<i>SST</i>	0.092	0.017	0.509
<i>SDT</i>	0.349	0.126	-0.073
<i>OD</i>	-0.210	0.240	-0.373
<i>CE</i>	0.328	0.221	0.014
<i>DT</i>	0.172	0.268	-0.324
<i>CR</i>	0.340	-0.083	0.016
<i>ALC</i>	0.178	-0.424	-0.141
<i>TURB</i>	0.299	-0.254	0.204
<i>Cl</i>	-0.315	-0.085	0.162
<i>DBO₅</i>	0.267	0.343	-0.052
<i>PO₄⁻³</i>	-0.240	-0.153	-0.276
<i>NO₃</i>	0.118	-0.171	-0.036
<i>NH₃-N</i>	0.149	-0.342	-0.348
<i>COLIF_T</i>	0.115	-0.325	-0.380
<i>COLIF_F</i>	-0.335	0.197	-0.158
<i>Desviación estándar</i>	2.612	1.919	1.853
<i>Porcentaje de varianza</i>	42.64	23.03	21.47
<i>Varianza acumulativa</i>	42.64	65.67	87.13

Tabla 27. Componentes principales de las variables de la quebrada 2 en invierno

	CP1	CP2	CP3
<i>pH</i>	-0.178	0.296	-0.357
<i>SST</i>	0.332	0.087	-0.143
<i>SDT</i>	0.272	0.122	-0.214
<i>OD</i>	-0.325	0.134	0.011
<i>CE</i>	0.013	0.412	0.112
<i>DT</i>	0.102	0.464	0.194
<i>CR</i>	0.301	-0.039	0.347
<i>ALC</i>	0.270	0.177	-0.008
<i>TURB</i>	0.340	-0.075	0.003
<i>CI</i>	0.291	-0.154	-0.268
<i>DBO₅</i>	0.234	0.346	-0.187
<i>PO₄⁻³</i>	0.194	-0.343	0.202
<i>NO₃</i>	0.034	-0.180	-0.667
<i>NH₃-N</i>	0.312	-0.086	0.181
<i>COLIF_T</i>	0.105	0.383	0.021
<i>COLIF_F</i>	0.318	-0.021	-0.102
<i>Desviación estándar</i>	2.864	1.972	1.325
<i>Porcentaje de varianza</i>	51.27	24.32	10.98
<i>Varianza acumulativa</i>	51.27	75.59	86.57

Tabla 28. Componentes principales de las variables de la quebrada 2 en verano

	CP1	CP2	CP3
<i>pH</i>	-0.086	-0.074	0.478
<i>SST</i>	-0.193	-0.318	-0.294
<i>SDT</i>	-0.332	0.230	-0.149
<i>OD</i>	0.195	-0.183	0.013
<i>CE</i>	-0.383	0.069	-0.012
<i>DT</i>	-0.317	0.224	0.035
<i>CR</i>	0.192	0.167	-0.448
<i>ALC</i>	-0.303	-0.292	-0.228
<i>TURB</i>	0.284	0.262	-0.111
<i>CI</i>	-0.175	-0.101	-0.329
<i>DBO₅</i>	-0.371	0.067	-0.208
<i>PO₄⁻³</i>	0.171	0.249	-0.435
<i>DBO₅</i>	-0.288	-0.264	-0.081
<i>PO₄⁻³</i>	0.349	0.073	0.087
<i>NO₃</i>	0.157	0.013	0.547
<i>NH₃-N</i>	0.325	-0.134	-0.001
<i>COLIF_T</i>	0.045	-0.442	0.160
<i>COLIF_F</i>	-0.020	-0.458	0.058
<i>Desviación estándar</i>	2.759	2.157	1.508
<i>Porcentaje de varianza</i>	47.59	29.10	14.21
<i>Varianza acumulativa</i>	47.59	76.69	90.91

Tabla 29.

NO_3	0.022	0.430	0.247
$\text{NH}_3\text{-N}$	-0.241	-0.052	-0.324
COLIF_T	0.183	0.336	0.020
COLIF_F	0.283	0.289	0.040
Desviación estándar	2.394	1.970	1.747
Porcentaje de varianza	35.84	24.26	19.08
Varianza acumulativa	35.84	60.10	79.18

Componentes principales de las variables de la quebrada 3 en invierno

Tabla 30. Componentes principales de las variables de la quebrada 3 en verano

	CP1	CP2	CP3
pH	-0.403	-0.051	-0.130
SST	0.100	0.121	0.447
SDT	0.329	0.028	-0.217
OD	0.259	0.092	0.329
CE	-0.384	0.137	-0.127
DT	0.040	0.371	0.041
CR	0.088	-0.268	0.438
ALC	-0.194	-0.394	0.197
TURB	0.421	-0.027	-0.012
Cl	0.274	-0.352	0.110
DBO ₅	-0.108	0.253	0.380
PO ₄ ⁻³	-0.272	0.218	0.265
NO ₃	-0.161	-0.416	0.136
NH ₃ -N	0.002	-0.394	-0.189
COLIF_T	0.199	0.089	-0.310
COLIF_F	0.231	0.132	0.047
Desviación estándar	2.348	2.080	1.768
Porcentaje de varianza	34.46	27.05	19.55
Varianza acumulativa	34.46	61.51	81.06

Tabla 31.

	CP1	CP2	CP3
pH	-0.257	0.132	0.039
SST	0.327	0.179	-0.082
SDT	0.159	-0.363	-0.093
OD	-0.258	-0.054	0.475
CE	-0.317	-0.174	-0.256
DT	0.334	0.189	-0.125
CR	-0.269	0.007	-0.045
ALC	-0.303	-0.196	-0.204
TURB	-0.191	0.341	0.151
Cl	0.304	-0.105	-0.144
DBO ₅	-0.007	0.382	-0.284
PO ₄ ⁻³	-0.068	-0.283	0.497
NO ₃	-0.245	-0.177	-0.421
NH ₃ -N	-0.344	0.020	-0.259
COLIF_T	0.192	-0.365	-0.128
COLIF_F	0.096	-0.439	-0.017
Desviación estándar	2.641	2.192	1.514
Porcentaje de varianza	43.60	30.04	14.33
Varianza acumulativa	43.60	73.65	87.98

Componentes principales de las variables de la quebrada 4 en invierno

	CP1	CP2	CP3
pH	-0.202	0.172	-0.426
SST	0.213	0.295	0.308
SDT	-0.183	0.178	0.350
OD	-0.287	0.015	-0.292
CE	-0.333	-0.227	-0.241
DT	-0.036	0.425	-0.062
CR	0.271	0.337	-0.065
ALC	0.177	0.098	-0.311
TURB	0.274	0.306	0.043
CI	-0.335	-0.006	0.240
DBO ₅	0.003	0.427	-0.155
PO ₄ ⁻³	-0.267	0.294	0.053
NO ₃	0.366	-0.084	-0.080
NH ₃ -N	0.147	0.041	-0.481
COLIF_T	-0.304	0.269	0.111
COLIF_F	-0.273	0.229	-0.130
Desviación estándar	2.268	2.125	1.830
Porcentaje de varianza	32.16	28.23	20.94

Tabla

32.

Componentes principales de las variables de la quebrada 4 en verano



Varianza acumulativa

32.16

60.39

81.33

Tabla 33. Componentes principales de las variables del canal PTAR en invierno

	CP1	CP2
pH	0.265	-0.021
SST	-0.260	-0.147
SDT	-0.212	0.455
OD	0.254	-0.218
CE	-0.229	0.381
DT	-0.257	0.186
CR	-0.260	0.147
ALC	-0.264	0.038
TURB	-0.262	-0.106
CI	-0.250	-0.247
DBO ₅	-0.264	-0.041
PO ₄ ⁻³	-0.250	-0.247
NO ₃	-0.250	-0.247
NH ₃ -N	-0.234	-0.356
COLIF _T	-0.239	0.326
COLIF _F	-0.243	-0.301
Porcentaje de varianza	89.26	10.74
Varianza acumulativa	89.26	100

Tabla 34. Componentes principales de las variables del canal PTAR en verano

	CP1	CP2
--	-----	-----

<i>pH</i>	-0.270	0.066
<i>SST</i>	0.248	-0.260
<i>SDT</i>	0.269	-0.079
<i>OD</i>	-0.268	0.099
<i>CE</i>	0.260	0.182
<i>DT</i>	-0.230	-0.339
<i>CR</i>	0.267	-0.111
<i>ALC</i>	0.271	-0.054
<i>TURB</i>	-0.116	-0.579
<i>CI</i>	0.268	-0.099
<i>DBO₅</i>	0.268	0.100
<i>PO₄⁻³</i>	-0.189	-0.460
<i>NO₃</i>	0.251	-0.242
<i>NH₃-N</i>	0.234	-0.326
<i>COLIF_T</i>	0.266	0.130
<i>COLIF_F</i>	0.271	-0.013
<i>Porcentaje de varianza</i>	70.26	29.74
<i>Varianza acumulativa</i>	70.26	100



Tabla 35. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 1 en invierno

	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>SDT</i>	<i>OD</i>	<i>CE</i>	<i>DT</i>	<i>CR</i>	<i>ALC</i>	<i>TURB</i>	<i>CI</i>	<i>DBO₅</i>	<i>PO₄⁻³</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>COLIF_T</i>	<i>COLIF_F</i>
<i>pH</i>	1.000															
<i>SST</i>	-	1.000														
	0.022															
<i>SDT</i>	0.502	0.319	1.000													
<i>OD</i>	-	0.098	-	1.000												
	0.821		0.589													
<i>CE</i>	0.699	-	0.818	-	1.000											
	0.025			0.520												
<i>DT</i>	0.530	-	0.770	-	0.654	1.000										
	0.108			0.770												
<i>CR</i>	-	-	-	0.781	-0.251	-	1.000									
	0.791	0.252	0.318			0.258										
<i>ALC</i>	-	-	-	-	-0.134	0.549	0.235	1.000								
	0.092	0.533	0.068	0.278												
<i>TURB</i>	-	-	0.155	0.160	0.180	0.464	0.666	0.659	1.000							
	0.255	0.219														
<i>CI</i>	-	0.851	0.328	0.410	0.063	-	0.132	-	-0.104	1.000						
	0.286					0.249		0.669								
<i>DBO₅</i>	-	0.450	0.280	0.136	-0.214	0.297	0.352	0.360	0.515	0.432	1.000					
	0.509															
<i>PO₄⁻³</i>	-	-	-	0.741	-0.551	-	0.691	0.059	0.079	-	-	1.000				
	0.673	0.556	0.798			0.679				0.247	0.244					
<i>NO₃</i>	0.262	-	0.419	-	0.695	0.490	0.348	0.202	0.744	0.000	0.024	-	1.000			
		0.143		0.025								0.150				
<i>NH₃-N</i>	-	0.175	0.190	0.506	-0.073	0.088	0.782	0.197	0.656	0.484	0.790	0.177	0.289	1.000		
	0.711															
<i>COLIF_T</i>	-	-	-	0.753	-0.461	-	0.546	-	0.188	-	-	0.724	0.139	0.007	1.000	



COLIF_F	0.420	0.188	0.801			0.679		0.055		0.091	0.266					
	-	-	-	0.287	-0.411	-	-	-	-0.659	-	-	0.646	-0.536	-0.540	0.430	1.000
	0.099	0.394	0.700			0.748	0.080	0.374		0.300	0.748					

Tabla 36. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 1 en verano

	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>SDT</i>	<i>OD</i>	<i>CE</i>	<i>DT</i>	<i>CR</i>	<i>ALC</i>	<i>TURB</i>	<i>CI</i>	<i>DBO₅</i>	<i>PO₄⁻³</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>COLIF_T</i>	<i>COLIF_F</i>
<i>pH</i>	1.000															
<i>SST</i>	0.157	1.000														
<i>SDT</i>	-0.812	0.145	1.000													
<i>OD</i>	-0.180	-0.756	-0.263	1.000												
<i>CE</i>	-0.870	0.254	0.953	-0.267	1.000											
<i>DT</i>	-0.751	-0.384	0.596	0.395	0.505	1.000										
<i>CR</i>	-0.526	0.142	0.707	-0.594	0.711	0.153	1.000									
<i>ALC</i>	0.115	-0.149	0.324	-0.428	0.113	-0.110	0.539	1.000								
<i>TURB</i>	-0.074	0.539	0.570	-0.905	0.500	-0.143	0.775	0.682	1.000							
<i>CI</i>	0.743	0.167	-0.694	0.210	-0.680	-0.611	-0.826	-0.253	-0.413	1.000						
<i>DBO₅</i>	-0.898	0.157	0.872	0.006	0.898	0.764	0.408	-0.162	0.203	-0.597	1.000					
<i>PO₄⁻³</i>	0.379	-0.599	-0.425	0.612	-0.532	-0.224	-0.552	0.196	-0.493	0.601	-0.509	1.000				
<i>NO₃</i>	0.150	0.155	0.226	-0.281	-0.010	0.374	-0.023	0.340	0.357	-0.098	0.163	-0.196	1.000			
<i>NH₃-N</i>	-0.046	-0.541	0.290	-0.066	0.051	0.205	0.445	0.893	0.382	-0.402	-0.101	0.297	0.338	1.000		
<i>COLIF_T</i>	0.003	-0.617	0.179	0.022	-0.072	0.284	0.335	0.795	0.257	-0.402	-0.145	0.277	0.422	0.973	1.000	
<i>COLIF_F</i>	0.226	-0.491	-0.691	0.847	-0.614	-0.025	-0.821	-0.652	-0.985	0.530	-0.355	0.550	-0.397	-0.399	-0.282	1.000



Tabla 37. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 2 en invierno

	pH	SST	SDT	OD	CE	DT	CR	ALC	TURB	Cí	DBO ₅	PO ₄ ⁻³	NO ₃	NH ₃ -N	COLIF_T	COLIF_F
pH	1.000															
SST	-0.230	1.000														
SDT	-0.093	0.879	1.000													
OD	0.648	-0.820	-0.541	1.000												
CE	0.154	0.067	0.197	0.176	1.000											
DT	0.301	0.403	0.411	-0.006	0.753	1.000										
CR	-0.667	0.722	0.438	-0.856	-0.026	0.296	1.000									
ALC	-0.205	0.823	0.949	-0.503	0.395	0.570	0.535	1.000								
TURB	-0.513	0.929	0.742	-0.932	-0.175	0.166	0.864	0.702	1.000							
Cí	-0.396	0.809	0.549	-0.924	-0.350	-0.134	0.637	0.396	0.869	1.000						
DBO ₅	0.115	0.778	0.732	-0.463	0.620	0.744	0.406	0.752	0.526	0.435	1.000					
PO ₄ ⁻³	-0.947	0.321	0.278	-0.660	-0.276	-0.404	0.586	0.321	0.586	0.482	-0.114	1.000				
NO ₃	0.039	0.154	0.225	-0.210	-0.255	-0.548	-0.322	-0.019	0.093	0.471	0.081	0.158	1.000			
NH ₃ -N	-0.534	0.833	0.669	-0.826	-0.233	0.200	0.898	0.675	0.952	0.710	0.373	0.591	-0.157	1.000		
COLIF_T	0.251	0.368	0.118	-0.224	0.599	0.748	0.317	0.197	0.165	0.166	0.739	-0.441	-0.256	0.063	1.000	
COLIF_F	-0.509	0.835	0.560	-0.954	0.056	0.157	0.770	0.529	0.855	0.893	0.656	0.494	0.275	0.686	0.443	1.000



Tabla 38. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 2 en verano

	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>SDT</i>	<i>OD</i>	<i>CE</i>	<i>DT</i>	<i>CR</i>	<i>ALC</i>	<i>TURB</i>	<i>Ci</i>	<i>DBO₅</i>	<i>PO₄⁻³</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>COLIF_T</i>	<i>COLIF_F</i>
<i>pH</i>	1															
<i>SST</i>	0.601	1														
<i>SDT</i>	0.589	0.872	1													
<i>OD</i>	0.311	-0.468	-0.565	1												
<i>CE</i>	0.388	0.786	0.969	-0.73	1											
<i>DT</i>	-0.561	-0.453	-0.084	-0.404	0.109	1										
<i>CR</i>	-0.127	0.652	0.634	-0.864	0.709	0.162	1									
<i>ALC</i>	-0.433	-0.181	-0.192	-0.072	-0.151	-0.005	0.269	1								
<i>TURB</i>	0.491	0.977	0.847	-0.533	0.776	-0.358	0.771	-0.068	1							
<i>Ci</i>	0.374	0.422	0.663	-0.418	0.713	0.04	0.117	-0.368	0.282	1						
<i>DBO₅</i>	-0.932	-0.828	-0.717	-0.073	-0.525	0.635	-0.188	0.324	-0.758	-0.312	1					
<i>PO₄⁻³</i>	0.707	0.97	0.868	-0.335	0.748	-0.431	0.591	-0.211	0.961	0.321	-0.9	1				
<i>NO₃</i>	0.122	0.567	0.113	-0.108	0.02	-0.771	0.354	0.173	0.569	-0.203	-0.397	0.474	1			
<i>NH₃-N</i>	0.295	0.865	0.784	-0.699	0.78	-0.05	0.804	-0.311	0.903	0.297	-0.556	0.837	0.395	1		
<i>COLIF_T</i>	-0.682	0.088	0.033	-0.728	0.185	0.441	0.779	0.405	0.261	-0.31	0.404	0.015	0.214	0.426	1	
<i>COLIF_F</i>	-0.808	-0.111	-0.09	-0.701	0.1	0.606	0.656	0.387	0.055	-0.279	0.592	-0.19	0.021	0.27	0.971	1



Tabla 39. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 3 en invierno

	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>SDT</i>	<i>OD</i>	<i>CE</i>	<i>DT</i>	<i>CR</i>	<i>ALC</i>	<i>TURB</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>DBO₅</i>	<i>PO₄⁻³</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>COLIF_T</i>	<i>COLIF_F</i>
<i>pH</i>	1.000															
<i>SST</i>	-0.179	1.000														
<i>SDT</i>	-0.158	0.309	1.000													
<i>OD</i>	-0.313	0.106	-0.331	1.000												
<i>CE</i>	0.315	0.339	0.720	-0.767	1.000											
<i>DT</i>	0.011	0.094	0.902	-0.133	0.587	1.000										
<i>CR</i>	-0.860	0.043	0.065	0.278	-0.441	-0.161	1.000									
<i>ALC</i>	-0.366	-0.047	-0.787	0.182	-0.610	-0.922	0.390	1.000								
<i>TURB</i>	-0.552	-0.477	-0.134	0.517	-0.725	-0.081	0.753	0.203	1.000							
<i>Cl⁻</i>	0.105	0.481	-0.607	0.527	-0.468	-0.651	0.009	0.504	-0.102	1.000						
<i>DBO₅</i>	-0.185	0.580	0.936	-0.293	0.773	0.803	-0.017	-0.666	-0.361	-0.409	1.000					
<i>PO₄⁻³</i>	-0.597	-0.025	0.167	-0.341	-0.009	-0.190	0.799	0.348	0.408	-0.218	0.069	1.000				
<i>NO₃</i>	0.077	-0.821	0.248	-0.100	-0.042	0.472	0.000	-0.457	0.493	-0.765	-0.067	0.000	1.000			
<i>NH₃-N</i>	-0.217	0.476	0.384	-0.682	0.698	0.081	-0.006	0.077	-0.594	-0.245	0.563	0.385	-0.426	1.000		
<i>COLIF_T</i>	0.138	-0.568	-0.115	-0.412	-0.103	-0.250	0.305	0.117	0.404	-0.223	-0.378	0.608	0.413	-0.168	1.000	
<i>COLIF_F</i>	0.060	-0.630	-0.321	-0.131	-0.401	-0.392	0.395	0.265	0.592	-0.055	-0.584	0.534	0.405	-0.399	0.951	1.000



Tabla 40. Matrix de correlación de las variables de la quebrada 3 en verano

	<i>pH</i>	<i>SST</i>	<i>SDT</i>	<i>OD</i>	<i>CE</i>	<i>DT</i>	<i>CR</i>	<i>ALC</i>	<i>TURB</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>DBO₅</i>	<i>PO₄⁻³</i>	<i>NO₃</i>	<i>NH₃-N</i>	<i>COLIF_T</i>	<i>COLIF_F</i>
<i>pH</i>	1															
<i>SST</i>	-0.434	1														
<i>SDT</i>	-0.63	0.139	1													
<i>OD</i>	-0.769	0.419	0.01	1												
<i>CE</i>	0.891	-0.207	-0.477	-0.743	1											
<i>DT</i>	-0.067	0.177	0.063	0.205	0.133	1										
<i>CR</i>	-0.354	0.478	-0.233	0.551	-0.557	-0.456	1									
<i>ALC</i>	0.444	-0.042	-0.533	-0.235	0.099	-0.628	0.625	1								
<i>TURB</i>	-0.902	0.232	0.813	0.524	-0.879	0.105	0.192	-0.407	1							
<i>Cl⁻</i>	-0.56	0.096	0.366	0.369	-0.837	-0.434	0.682	0.379	0.682	1						
<i>DBO₅</i>	0.059	0.821	-0.198	0.108	0.336	0.442	0.108	-0.08	-0.252	-0.427	1					
<i>PO₄⁻³</i>	0.41	0.158	-0.843	0.176	0.505	0.264	0.05	0.079	-0.715	-0.653	0.534	1				
<i>NO₃</i>	0.428	-0.043	-0.346	-0.359	0.087	-0.613	0.544	0.97	-0.302	0.444	-0.109	-0.123	1			
<i>NH₃-N</i>	0.252	-0.487	0.121	-0.434	-0.129	-0.375	0.109	0.569	0.112	0.579	-0.601	-0.618	0.7	1		
<i>COLIF_T</i>	-0.47	-0.307	0.479	0.172	-0.32	-0.238	-0.293	-0.577	0.382	0.008	-0.519	-0.311	-0.59	-0.271	1	
<i>COLIF_F</i>	-0.406	0.215	0.445	0.306	-0.379	0.753	-0.123	-0.416	0.606	0.233	0.143	-0.316	-0.306	0.114	-0.256	1



Tabla 41. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 4 en invierno

	pH	SST	SDT	OD	CE	DT	CR	ALC	TURB	Cl ⁻	DBO ₅	PO ₄ ⁻³	NO ₃	NH ₃ -N	COLIF_T	COLIF_F
pH	1															
SST	-0.287	1														
SDT	-0.299	0.159	1													
OD	0.473	-0.726	-0.28	1												
CE	0.449	-0.82	0.025	0.339	1											
DT	-0.542	0.924	0.065	-0.781	-0.819	1										
CR	0.033	-0.789	-0.574	0.423	0.592	-0.575	1									
ALC	0.58	-0.744	0.117	0.369	0.955	-0.854	0.422	1								
TURB	0.375	-0.252	-0.99	0.409	0.033	-0.177	0.596	-0.047	1							
Cl ⁻	-0.722	0.598	0.384	-0.704	-0.529	0.619	-0.367	-0.474	-0.481	1						
DBO ₅	0.231	0.362	-0.53	-0.378	-0.12	0.446	-0.014	-0.242	0.464	-0.275	1					
PO ₄ ⁻³	0.002	-0.49	0.35	0.744	0.102	-0.549	0.029	0.174	-0.234	-0.228	-0.8	1				
NO ₃	0.216	-0.666	0.119	0.034	0.941	-0.591	0.547	0.843	-0.102	-0.33	-0.003	-0.11	1			
NH ₃ -N	0.65	-0.699	-0.369	0.327	0.892	-0.725	0.654	0.857	0.409	-0.61	0.184	-0.171	0.8	1		
COLIF_T	-0.748	0.081	0.776	-0.397	-0.055	0.163	-0.184	-0.059	-0.811	0.71	-0.626	0.244	0.123	-0.427	1	
COLIF_F	-0.511	-0.18	0.852	-0.078	0.163	-0.161	-0.14	0.194	-0.833	0.435	-0.795	0.533	0.238	-0.272	0.924	1



Tabla 42. Matriz de correlación de las variables de la quebrada 4 en verano

	pH	SST	SDT	OD	CE	DT	CR	ALC	TURB	Cl ⁻	DBO ₅	PO ₄ ⁻³	NO ₃	NH ₃ -N	COLIF_T	COLIF_F
pH	1															
SST	-0.476	1														
SDT	-0.137	0.305	1													
OD	0.659	-0.588	0.111	1												
CE	0.52	-0.922	-0.147	0.704	1											
DT	0.481	0.489	0.126	-0.065	-0.321	1										
CR	0.09	0.627	0.101	-0.203	-0.756	0.503	1									
ALC	0.299	-0.045	-0.145	0.395	-0.158	-0.059	0.651	1								
TURB	-0.188	0.796	0.1	-0.214	-0.83	0.395	0.884	0.557	1							
Cl ⁻	-0.059	-0.122	0.747	0.516	0.38	-0.183	-0.43	-0.25	-0.259	1						
DBO ₅	0.609	0.338	0.28	0.163	-0.31	0.82	0.754	0.412	0.511	-0.152	1					
PO ₄ ⁻³	0.326	0.263	0.426	0.465	0.1	0.586	0.003	-0.152	0.185	0.584	0.392	1				
NO ₃	-0.258	0.186	-0.647	-0.739	-0.467	-0.024	0.306	0.066	0.18	-0.934	-0.087	-0.747	1			
NH ₃ -N	0.497	-0.205	-0.771	0.304	0.085	0.157	0.318	0.633	0.28	-0.601	0.23	-0.075	0.329	1		
COLIF_T	0.427	0.12	0.532	0.149	0.164	0.692	-0.103	-0.509	-0.206	0.421	0.485	0.692	-0.504	-0.412	1	
COLIF_F	0.695	-0.107	0.06	0.249	0.345	0.746	-0.145	-0.398	-0.289	0.096	0.48	0.604	-0.293	0.035	0.866	1



Tabla 43. Matriz de correlación de las variables del canal PTAR en invierno

	pH	SST	SDT	OD	CE	DT	CR	ALC	TURB	Cl ⁻	DBO ₅	PO ₄ ⁻³	NO ₃	NH ₃ -N	COLIF_T	COLIF_F
pH	1															
SST	-0.976	1														
SDT	-0.819	0.673	1													
OD	0.966	-0.886	-0.939	1												
CE	-0.88	0.754	0.993	-0.973	1											
DT	-0.976	0.905	0.924	-0.999	0.962	1										
CR	-0.986	0.926	0.902	-0.995	0.946	0.999	1									
ALC	-1	0.97	0.831	-0.972	0.89	0.981	0.99	1								
TURB	-0.986	0.999	0.711	-0.909	0.788	0.926	0.945	0.982	1							
Cl ⁻	-0.937	0.991	0.566	-0.814	0.657	0.839	0.866	0.929	0.982	1						
DBO ₅	-0.997	0.99	0.769	-0.942	0.838	0.955	0.97	0.995	0.996	0.962	1					
PO ₄ ⁻³	-0.937	0.991	0.566	-0.814	0.657	0.839	0.866	0.929	0.982	1	0.962	1				
NO ₃	-0.937	0.991	0.566	-0.814	0.657	0.839	0.866	0.929	0.982	1	0.962	1	1			
NH ₃ -N	-0.871	0.958	0.431	-0.714	0.532	0.744	0.778	0.86	0.941	0.988	0.908	0.988	0.988	1		
COLIF_T	-0.916	0.805	0.98	-0.989	0.997	0.981	0.97	0.925	0.836	0.717	0.88	0.717	0.717	0.6	1	
COLIF_F	-0.907	0.978	0.501	-0.768	0.598	0.795	0.825	0.898	0.965	0.997	0.939	0.997	0.997	0.997	0.662	1

Tabla 44. Matriz de correlación de las variables del canal PTAR en verano

	pH	SST	SDT	OD	CE	DT	CR	ALC	TURB	Cl ⁻	DBO ₅	PO ₄ ⁻³	NO ₃	NH ₃ -N	COLIF_T	COLIF_F
pH	1															
SST	-0.951	1														
SDT	-1	0.957	1													
OD	0.999	-0.966	-0.999	1												
CE	-0.924	0.76	0.916	-0.903	1											
DT	0.79	-0.561	-0.777	0.757	-0.964	1										
CR	-0.997	0.97	0.999	-1	0.895	-0.744	1									
ALC	-1	0.945	0.999	-0.997	0.931	-0.801	0.996	1								
TURB	0.333	-0.024	-0.314	0.284	-0.668	0.841	-0.266	-0.351	1							
Cl ⁻	-0.999	0.966	0.999	-1	0.903	-0.757	1	0.997	-0.284	1						
DBO ₅	-0.967	0.84	0.961	-0.952	0.991	-0.92	0.946	0.971	-0.563	0.952	1					
PO ₄ ⁻³	0.618	-0.344	-0.602	0.576	-0.871	0.97	-0.561	-0.633	0.947	-0.576	-0.799	1				
NO ₃	-0.96	1	0.965	-0.973	0.78	-0.586	0.977	0.954	-0.055	0.973	0.856	-0.373	1			
NH ₃ -N	-0.909	0.993	0.917	-0.929	0.68	-0.461	0.936	0.901	0.091	0.929	0.772	-0.233	0.989	1		
COLIF_T	-0.953	0.812	0.947	-0.936	0.996	-0.938	0.929	0.959	-0.603	0.936	0.999	-0.827	0.83	0.739	1	
COLIF_F	-0.997	0.922	0.995	-0.991	0.953	-0.838	0.988	0.998	-0.41	0.991	0.985	-0.681	0.933	0.871	0.975	1