	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAr113 30
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 1 de 8

Girardot 12 de Diciembre de 2016

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

SEDE/SECCIONAL/EXTENSIÓN	Seccional Girardot
DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	NO. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Rentería Triana	Jeissy Ximena	1.110.552.624
Clavijo López	Maira Alexandra	1.075.628.094



MACROPROCESO DE APOYO

CODIGO: AAAr113

PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO

VERSION:1

DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA
DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

PAGINA: 3 de 8


RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS: (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres):

La composición fisicoquímica de las cuencas hidrográficas está en constante cambio, por constituirse como un sistema de drenaje en donde confluyen un sin número de nutrientes. Las fluctuaciones de dichos nutrientes pueden hacer variar o no las condiciones en que se desarrolla la biota del ecosistema e incluso pueden alterar la calidad de un cuerpo de agua. Es indispensable evaluar esta calidad del agua para determinar el uso que se le puede dar, sin embargo, en la mayoría de las cuencas de Colombia se usa el agua instintivamente para actividades humanas sin tener en cuenta su composición fisicoquímica y microbiológica (Segura, 2007), por esta razón el objetivo de este proyecto de investigación, fue establecer la posible relación entre variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada Acuata, en el municipio de Tocaima- Cundinamarca, con el fin de determinar la calidad del agua en la batea frente al centro recreacional El Gran Pozo Azufrado, el cual vierte sus aguas grises en este punto de la quebrada. Para el desarrollo de este proyecto se establecieron 3 puntos de muestreo para el análisis de variables fisicoquímicas (T°, turbidez, pH, O.D., % de saturación de O2, materia orgánica, DBO5, alcalinidad, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos salinidad y conductividad) microbiológicas (coliformes fecales) y biológicas (macroinvertebrados acuáticos, cianobacterias y algas asociadas), además se planteó establecer la correlación entre ellas mediante la matriz de correlación de Pearson y se determinó la calidad del agua en la zona de muestreo mediante los índices WQI y BMWP/Col.

Se encontraron valores de parámetros como pH, fosfatos, nitratos y turbidez inferiores a los límites establecidos para consumo humano según la Resolución 2115 de 2007, en el punto 1; aunque para los puntos 2 y 3 la turbidez sobrepasa los límites máximos permisibles. Los coliformes fecales no cumplen con la norma en ningún punto de muestreo. El Índice de calidad del agua WQI arrojó una calidad del agua Media en los tres puntos de muestreo mientras que el índice BMWP/Col arrojó una calidad del agua Dudosa en el primer punto de muestreo y una calidad Crítica en los otros dos puntos; mientras que el WQI no permite ver una variación en la composición de la quebrada, el BMWP/Col si lo demuestra.

The physicochemical composition of the watersheds is constantly changing because it is a drainage system where a number of nutrients converge. Fluctuations of these nutrients may or may not vary the conditions under which the biota of the ecosystem develops and may even alter the quality of a body of water. However, in most watersheds in Colombia, water is instinctively used for human activities without taking into account its physico-chemical and microbiological composition (Segura, 2007) , For this reason the objective of this research project was to establish the possible relationship between physicochemical, microbiological and biological variables of the Acuata stream, in the municipality of Tocaima-Cundinamarca, in order to determine the water quality in the front pit To the recreational center El Gran Pozo Azufrado, which pours its gray water at this point of the ravine. For the development of this project, 3 sampling points were established for the analysis of physicochemical variables (T °, turbidity, pH, OD,% saturation of O2, organic matter, BOD5, alkalinity, sulfates, nitrates, nitrites, ammonium, phosphates (Aquatic macroinvertebrates, cyanobacteria and associated algae). In addition, it was proposed to establish the correlation between them using the Pearson correlation matrix and to determine the water quality in the sampling area by means of the Indexes WQI and BMWP / Col.

Parameter values such as pH, phosphates, nitrates and turbidity were found lower than the limits established for human consumption according to Resolution 2115 of 2007, in item 1; Although

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 2 de 8

Director(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Meneses Ortegón	Luz Andrea

TÍTULO DEL DOCUMENTO
ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA ACUATA EN TOCAIMA CUNDINAMARCA, MEDIANTE LA RELACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y BIOLÓGICOS.

SUBTITULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía Ingeniero(a) Ambiental

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS (Opcional)
25/11/2016	71

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLES: (Usar como mínimo 6 descriptores)	
ESPAÑOL	INGLES
1. Quebrada Acuata	Gully Acuata
2. Correlación	Correlation
3. Variables fisicoquímicas	Physicochemical variables
4. Calidad del agua	Water quality
5. Índice WQI	Index WQI
6. Índice BMWP/Col	Index BMWP/Col



for points 2 and 3 the turbidity exceeds the maximum permissible limits. Fecal coliforms do not meet the standard at any sampling point. The WQI Water Quality Index yielded average water quality at the three sampling points while the BMWP / Col index had a doubtful water quality at the first sampling point and a critical quality at the other two points; While the WQI does not allow to see a variation in the composition of the ravine, the BMWP / Col if it proves it.

AUTORIZACION DE PUBLICACION

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un alianza, son:

Marque con una "x":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la Biblioteca.		x	
2. La consulta física o electrónica según corresponda.		x	
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.			x
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.			x
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.			x
6. La inclusión en el Repositorio Institucional.		x	

**MACROPROCESO DE APOYO**

CODIGO: AAAr113

PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO

VERSION:1

**DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA
DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

PAGINA: 5 de 8


De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

	MACROPROCESO DE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 6 de 8

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI** NO X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron



expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional, cuyo texto completo se puede consultar en biblioteca.unicundi.edu.co

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons : Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).



MACROPROCESO DE APOYO

CODIGO: AAAr113

PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO

VERSION:1

DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA
DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

PAGINA: 8 de 8

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Título Trabajo de Grado o Documento.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Estudio de la calidad del agua de la Quebrada Acuata en Tocaima Cundinamarca., mediante la relación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA
Jeissy Ximena Renteria Triana	
Maira Alexandra Clavijo López	Maira A. Clavijo Lopez

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA ACUATA EN
TOCAIMA CUNDINAMARCA, MEDIANTE LA RELACIÓN DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y BIOLÓGICOS.

MAIRA ALEXANDRA CLAVIJO LPEZ
JEISSY XIMENA RENTERIA TRIANA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERIA AMBIENTAL
GIRARDOT

2016

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA ACUATA EN
TOCAIMA CUNDINAMARCA, MEDIANTE LA RELACIÓN DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y BIOLÓGICOS.

MAIRA ALEXANDRA CLAVIJO LÓPEZ
JEISSY XIMENA RENTERIA TRIANA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO:
LUZ ANDREA MENESES ORTEGON BIOL. ESP. M.Sc.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT

2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Girardot 21 de octubre de 2016

Escribe aquí tu dedicatoria

A nuestros padres, Que fueron nuestro apoyo emocional durante el desarrollo de este proyecto.

Porque esta etapa que hoy culminamos pero que a la vez emprendemos no es más que la cosecha de un sueño que un día construimos en su seno y que hoy pasa a ser realidad

A dios quien supo guiarnos y nos brindó la sabiduría necesaria para concluir esta investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por forjarnos y dirigirnos en el camino correcto en todo momento.

A nuestros padres por sus frases de motivación, por el apoyo económico, por sus esfuerzos para que salgamos adelante y por ser los mejores.

A nuestra directora Andrea Meneses Ortega, quien siempre estuvo dispuesta a colaborarnos y compartir sus conocimientos, quien nos brindó todo el apoyo y tiempo posible para culminar este proyecto.

A los miembros del grupo de investigación Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad – *Xiuâ* de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia quienes nos prestaron sus instalaciones y algunos recursos para desarrollar parte de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	23
3. JUSTIFICACIÓN	25
4. MARCO REFERENCIAL.....	26
4.1 MARCO TEORICO	26
4.2 MARCO LEGAL	32
5. MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1 AREA DE ESTUDIO	35
5.2. MATERIALES	38
5.3 METODOLOGÍA	38

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
7. CONCLUSIONES.....	73
9. RECOMENDACIONES.....	74
10. BIBLIOGRAFÍA.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Características del agua.....	26
Tabla N° 2: Normatividad asociada al proyecto de investigación.....	32
Tabla N° 3: Clasificación de la calidad del agua con respecto al índice WQI.....	42
Tabla N° 4: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.....	43
Tabla N° 5: Resultados de los parámetros físico-químicos.....	45
Tabla N° 6: Listado de algas y protozoos asociados a la cianobacteria.....	58
Tabla N° 7: Muestreo manual de macroinvertebrados en el P1.....	59
Tabla N° 8: Muestreo con red surber en el P1.....	59
Tabla N° 9: Muestreo con red surber en el P2.....	59
Tabla N° 10: Muestreo con red surber en el P3.....	60
Tabla N° 11: Muestreo manual de macroinvertebrados en el P3.....	60
Tabla N° 12: Descripción algas y protozoos.....	64
Tabla N° 13: Calculo del WQI en el punto número uno de muestreo.....	65
Tabla N° 14: Calculo del WQI para el punto número dos.....	66
Tabla N° 15: Calculo del WQI en el punto número tres de la quebrada Acuata....	67
Tabla N° 16: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 1.....	70
Tabla N° 17: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 2.....	70
Tabla N° 18: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 2.....	71
Tabla N° 19: Resultados del Índice BMWP en la zona de interés de la Quebrada Acuata.....	72

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Resultados Temperatura en cada punto.....	46
Gráfica N° 2: Resultados Materia Orgánica	47
Gráfica N° 3: Porcentaje de saturación de oxígeno	48
Gráfica N° 4: Resultados de Alcalinidad	49
Gráfica N° 5: Resultados Nitritos	50
Gráfica N° 6: Resultados Nitratos	50
Gráfica N° 7: Resultado Fosfatos.....	51
Gráfica N° 8: Resultado Amonio	52
Gráfica N° 9: Resultado Sulfatos	53
Gráfica N° 10: Resultados Turbiedad.....	54
Gráfica N° 11: Resultados pH	54
Gráfica N° 12: Resultados DBO5.....	55
Gráfica N° 13: Resultados OD	56
Gráfica N° 14: Resultados Salinidad.....	57
Gráfica N° 15: Resultados Conductividad.....	57
Gráfica N° 16: Resultados Coliformes Fecales	61
Gráfica N° 17: Clúster de similaridad	63
Gráfica N° 18: Fluctuación del WQI en la quebrada Acuata.....	69

LISTA DE IMÁGENES

Imagen N° 1: Ubicación geográfica de Tocaima Cundinamarca.....	35
Imagen N° 2: Ubicación geográfica de la quebrada Acuata - Tocaima Cundinamarca	36

GLOSARIO

AGUA RESIDUAL: Agua contaminada no purificada, proveniente de las unidades industriales, los hogares o agua de lluvia contaminada por los asentamientos urbanos.

ANALISIS FISICOQUÍMICO DEL AGUA: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA: pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

CALIDAD DEL AGUA: se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

CONTAMINACION: la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

CORRELACION: el grado de relación, asociación o dependencia que pueda existir entre dos o más variables.

CUENCA HIDROGRÁFICA: está constituida por el territorio que delimita el curso de un río y el espacio donde se colecta el agua que converge hacia un mismo cauce.

CUERPO DE AGUA: Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento.

MACROINVERTEBRADOS BENTICOS: todos aquellos organismos que por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes entre 250-300 μm . el 80% corresponden a grupos de artrópodos y dentro de estos los insectos son los más abundantes.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL AGUA: se relacionan con la presencia de especies biológicas en el agua, y su evaluación es de gran importancia ya que son un indicador de la calidad del recurso hídrico.

PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA: las que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato, como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

PROPIEDADES QUIMICAS DEL AGUA: están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, entre las que podemos mencionar los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, materia orgánica, metales y nutrientes.

TAXÓN: grupos taxonómicos en que se clasifican los distintos tipos de organismos se denominan categorías taxonómicas o TAXONES.

VERTIMIENTO: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

RESUMEN

La composición fisicoquímica de las cuencas hidrográficas está en constante cambio, por constituirse como un sistema de drenaje en donde confluyen un sin número de nutrientes. Las fluctuaciones de dichos nutrientes pueden hacer variar o no las condiciones en que se desarrolla la biota del ecosistema e incluso pueden alterar la calidad de un cuerpo de agua. Es indispensable evaluar esta calidad del agua para determinar el uso que se le puede dar, sin embargo, en la mayoría de las cuencas de Colombia se usa el agua instintivamente para actividades humanas sin tener en cuenta su composición fisicoquímica y microbiológica (Segura, 2007), por esta razón el objetivo de este proyecto de investigación, fue establecer la posible relación entre variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada Acuata, en el municipio de Tocaima- Cundinamarca, con el fin de determinar la calidad del agua en la batea frente al centro recreacional El Gran Pozo Azufrado, el cual vierte sus aguas grises en este punto de la quebrada. Para el desarrollo de este proyecto se establecieron 3 puntos de muestreo para el análisis de variables fisicoquímicas (T° , turbidez, pH, O.D., % de saturación de O_2 , materia orgánica, DBO_5 , alcalinidad, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos salinidad y conductividad) microbiológicas (coliformes fecales) y biológicas (macroinvertebrados acuáticos, cianobacterias y algas asociadas), además se planteó establecer la correlación entre ellas mediante la matriz de correlación de Pearson y se determinó la calidad del agua en la zona de muestreo mediante los índices WQI y BMWP/Col.

Se encontraron valores de parámetros como pH, fosfatos, nitratos y turbidez inferiores a los límites establecidos para consumo humano según la Resolución 2115 de 2007, en el punto 1; aunque para los puntos 2 y 3 la turbidez sobrepasa los límites máximos permisibles. Los coliformes fecales no cumplen con la norma en ningún punto de muestreo. El Índice de calidad del agua WQI arrojó una calidad del agua Media en los tres puntos de muestreo mientras que el índice BMWP/Col arrojó una calidad del agua Dudosa en el primer punto de muestreo y una calidad Crítica en los otros dos puntos; mientras que el WQI no permite ver una variación en la composición de la quebrada, el BMWP/Col si lo demuestra.

Se concluyó que las características propias de la quebrada como su poca profundidad y su velocidad lenta, probablemente influyen en la calidad del agua puesto que se presenta estancamiento y poca oxigenación; lo cual impide la disolución de algunas sustancias e impurezas que generan proliferación de

microorganismos y cianobacterias lo que explica que el agua no sea de buena calidad.

Palabras Claves: Quebrada Acuata, Correlación, Variables fisicoquímicas, Calidad del agua, Índice WQI, Índice BMWP/Col.

INTRODUCCIÓN

El agua es el constituyente más importante en la superficie terrestre siendo capaz de disolver cualquier sustancia sin importar el estado en que se encuentre para ser el pilar de la vida.

La composición fisicoquímica de los cuerpos de agua superficial juega un papel significativo en los ecosistemas acuáticos, pues influye en los procesos biológicos que se desarrollan allí. Las características físicas y químicas están en constante cambio en las cuencas hidrográficas, por constituirse como un sistema de drenaje en donde confluyen un sin número de nutrientes (Martínez, Alvarado & Sénior, 2001).

Martínez et al. (2001) mencionan que en las últimas décadas las perturbaciones antropogénicas debido a la agricultura, efluentes domésticos e industriales y otras actividades desarrolladas en los centros urbanos y las riberas de los ríos o quebradas, han incrementado los aportes de nutrientes a estos ambientes, obteniéndose como resultado la eutrofización de muchos cuerpos de agua. Estas condiciones generan un desarrollo excesivo de cianobacterias citotóxicas que causan problemas de contaminación ambiental y salud pública en las poblaciones que utilizan el río como proveedor de agua para el sostenimiento de zonas agrícolas y/o ganaderas y actividades de recreación y/o pesca (Gonzales & Gómez, 2010).

La evaluación de la calidad de un cuerpo de agua, se puede realizar teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, las cuales pueden ser comparadas con normatividad colombiana. Sin embargo, para evaluar completamente la calidad del agua de una cuenca hidrográfica se deben conocer variables biológicas como la presencia de macroinvertebrados bénticos, que han sido utilizados como bioindicadores de la calidad del agua por diferentes autores. Los métodos de evaluación de la calidad de las aguas basados en macroinvertebrados acuáticos ofrecen múltiples ventajas tales como: simplicidad metodológica, rapidez en la obtención de los resultados y una alta confiabilidad, lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria de la calidad del agua en las cuencas (Alba-Tercedor & SánchezOrtega 1988, Jonson et al. 1992)

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se evaluó la posible relación entre variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada Acuata, en el municipio de Tocaima- Cundinamarca, con el fin de determinar la calidad del agua en la batea frente al centro recreacional El Gran Pozo Azufrado, el cual vierte sus aguas grises en este punto de la quebrada.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la relación entre las variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada Acuata-municipio de Tocaima, con el fin de determinar la calidad del agua que recibe influencia del Balneario el Gran Pozo Azufrado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos que presenta la quebrada Acuata en puntos específicos.
- Correlacionar las variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada.
- Establecer la calidad del agua de la quebrada Acuata a través del indicador WQI y el índice BMWP con respecto a la normatividad vigente.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es considerada un recurso vital, ya que es el factor abiótico más importante de la tierra; es fundamental para el desarrollo de las sociedades y para ello el agua debe ser limpia y permanecer limpia. Sin embargo aunque dependemos de ella, su acceso se dificulta cada vez más, ya sea por su calidad o por su escasez. La importancia del agua radica en la necesidad de usarla en nuestras actividades cotidianas, pues ha influido en la vida espiritual y social de diversas poblaciones y ha determinado sus lugares de asentamiento (Banus, 2010). Por años Colombia ha sido considerado potencia hídrica debido a su ubicación, relieve y precipitación (Ojeda, 2000). Sin embargo la disponibilidad del agua ha presentado limitaciones por la alternancia climática, su calidad y por la carencia de control por parte de las autoridades ambientales.

La cuenca hidrográfica Acuata riega el municipio de Tocaima Cundinamarca, el cual posee un desarrollo económico basado en el turismo que es atraído por el clima y especialmente por los azufrados medicinales característicos de la región; esta actividad influye directamente en la quebrada, pues su ubicación permite el asentamiento de centros vacacionales, los cuales usan su agua con fines recreacionales y algunos otros pobladores usan el agua para actividades de agricultura y ganadería. Por tanto la quebrada constituye un cuerpo de agua de vital importancia para los pobladores del municipio (Alcaldía Tocaima, 2016).

El centro vacacional el Gran Pozo Azufrado ejerce un uso recreativo de contacto primario sobre la quebrada, de esta forma prestan el servicio de baños medicinales y devuelven el agua sin tratamientos previos a la quebrada; además realizan descargas de aguas grises provenientes del sistema de lavado de platos (Alcaldía Tocaima, 2016).

Hasta el momento en la quebrada no se han realizado estudios previos tendientes a determinar la calidad del agua, por lo que la población la desconoce.

De acuerdo a lo anterior, este estudio estableció la calidad del agua de la Quebrada Acuata, mediante la correlación de variables fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas, con el fin de dar la confiabilidad necesaria a los pobladores del municipio en cuanto a los usos que le dan al agua de la quebrada y proteger el desarrollo turístico de la región de manera que se realice un manejo integrado de la cuenca.

Por lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la Calidad del agua de la quebrada Acuata en el sector del gran Pozo Azufrado?

3. JUSTIFICACIÓN

Las fuentes hídricas son un recurso vital para los seres vivos, por esto, los asentamientos poblacionales se presentan cerca de cuencas hidrográficas que proveen de tan preciado líquido. Sin embargo, para el desarrollo adecuado de la sociedad humana, la calidad del agua se convierte en un factor determinante, pues este define el uso que se le va dar a cierto cuerpo de agua.

Las diferentes cuencas hidrográficas que suponen el sistema hídrico del país, soportan los impactos asociados al desarrollo de las actividades humanas (IDEAM, 2015), lo que con el tiempo intensifica la dificultad de acceder al recurso hídrico.

El deterioro de la calidad del agua plantea un problema de índole ambiental y dado que la población asentada en la ribera de la quebrada desconoce la calidad del agua que usan en el desarrollo de sus actividades, se pretendió, por medio de este proyecto de investigación, conocer la calidad del agua de la quebrada Acuata, para poder tomar medidas correctivas tendientes a evitar el deterioro de la calidad del agua y a su vez impedir la afectación de los usos asignados al cuerpo de agua (usos recreativos de contacto directo, usos agrícolas y usos ganaderos).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEORICO

Aspectos físico químicos

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua. La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua, que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. (Barrenechea, 2010)

Las características del agua se pueden clasificar como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla N° 1: Características del agua.

FISICAS	QUIMICAS	BACTERIOLOGICAS
<ul style="list-style-type: none">• Turbiedad.• Olor.• Color.• Sabor.• Conductividad.• Temperatura.• Solidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none">• Solidos disueltos.• Dureza.• Alcalinidad.• pH.• Sulfatos.• Nitritos.• Nitratos.• Acidez.• Fosfatos.• Cloruro.• Amoniacó.• Oxígeno disuelto.• Cloro.• Metales pesados.• Etc.	<ul style="list-style-type: none">• Coliformes.• Fecales.• Coliformes totales.• Mesofilos.• Bacterias.• Etc.

Fuente: Autores

PARAMETROS FISICOS DEL AGUA

Temperatura

La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua. Vertimientos con temperaturas mayores a las del cuerpo de agua receptor interrumpen los procesos biológicos y reproductivos de especies acuáticas. Pues pueden acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno e influir en la precipitación de muchos compuestos acelerando la eutrofización del cuerpo de agua. (Cortolima, 2011).

Turbiedad

Origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema, La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, las concentraciones de las sustancias determinan la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a través de ella (Roldán, 2003). La turbiedad Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema (Roldan, 1992). Sirve para determinar el grado de tratamiento requerido por un agua natural, al igual que permite establecer su filtrabilidad, así como la efectividad de procesos de coagulación, sedimentación y filtración (Romero, 1996).

Conductividad.

Es una medida de la capacidad de transportar una corriente eléctrica en una solución acuosa, varía con el tipo y la cantidad de iones que contenga y depende de la temperatura. La variación de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación, la evaluación de la actitud del agua para riego y la evaluación de la naturaleza geoquímica del terreno (Cortolima, 2011).

Solidos

Este parámetro está compuesto este definido por los sólidos totales que puede presentar un agua, sin embargo, este incluye dos términos más como, sólidos disueltos y sólidos en suspensión.

El primero lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos. El segundo está constituido por el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. (Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas, 2010).

PARAMETROS QUIMICOS DEL AGUA

pH

Este parámetro es definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H⁺); (Calderón Saenz, 2002). El intervalo de la concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce a la diversidad por estrés fisiológico y la reproducción (Roldán, 2003. Citado en Cortolima 2000).

Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (Roldán, 2003).

Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% SAT O₂).

El Porcentaje de Saturación es la cantidad de Oxígeno Disuelto en la muestra de agua comparada con la cantidad máxima que podría estar presente a la misma temperatura. Por ejemplo, se dice que el agua está saturada en un 100% si contiene la cantidad máxima de Oxígeno a esa temperatura. Una muestra de agua que está saturada en un 50% solamente tiene la mitad de la cantidad de Oxígeno que potencialmente podría tener a esa temperatura. A veces, el agua se supersatura con Oxígeno debido a que el agua se mueve rápidamente. Esto generalmente dura un período corto de tiempo, pero puede ser dañino para los peces y otros organismos acuáticos. Los valores del Porcentaje de Saturación del OD de 80 a 120% se consideran excelentes y los valores menores al 60% o superiores a 125% se consideran malos (Cortolima, 2000).

Alcalinidad.

Es la capacidad de neutralizar ácidos y en una muestra es la suma de todas las bases titulables, la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de hidroxilos, carbonatos, bicarbonatos (calcio, potasio, sodio y magnesio) por tanto se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes (Faña, 2000. Citado en Cortolima 2000). Este parámetro proporciona la acción buffer o amortiguadora de cambios de pH al agua, conocer por tanto la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera (Roldán 2003). La alcalinidad es importante además en los procesos de coagulación química ablandamiento y control de la corrosión (Romero, 1996).

Dureza.

La dureza del agua está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, evaluados como carbonato de calcio y magnesio Las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada duras son muy productivas, la productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 2003).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

La demanda biológica de oxígeno, también denominada demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Se expresa en mg O₂/litro. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos y es aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica (Cortolima, 2000).

La DBO es una medida de la valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones el agua tiene apariencia de color turbio, grisáceo y olores característicos de huevos podridos (ácido sulfhídrico). Este efecto causa una baja diversidad (Roldán, 2003).

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Faña 2002, Citado en Cortolima 2000, define este parámetro como la cantidad de Oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de

agente oxidante, temperatura y tiempo; permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento. Su determinación permite además calcular las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Efecto de la materia orgánica disuelta.

Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo general bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales puede agotar el oxígeno en el agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición (Roldán, 2003).

Fósforo y fosfatos.

El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de ortofosfato es nutriente de organismos fotosintetizadores y por tanto un componente limitante para el desarrollo de las comunidades, su determinación es necesaria para en estudios de polución de ríos, así como en procesos químicos de y biológicos de purificación y tratamiento de aguas (Roldán, 2003).

Nitrógeno, Nitritos y Nitratos.

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias reduciendo por ende los niveles de este, Las diferentes formas del nitrógeno son importantes en determinar para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos (Roldán, 2003).

Sulfatos.

El ion Sulfato (SO_4) es un compuesto de gran concentración en los cuerpos de agua naturales. Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido es también importante,

porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor. (IDEAM, 2007)

BIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA CON MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Los ecosistemas lóticos son típicamente complejos y envuelven muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos, dentro de una intrincada dinámica espacial y temporal. Los métodos de evaluación de la calidad de las aguas basados en macroinvertebrados acuáticos ofrecen múltiples ventajas tales como: simplicidad metodológica, rapidez en la obtención de los resultados y una alta confiabilidad, lo que hace de estos métodos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria de la calidad del agua en las cuencas y ríos en general (Riss *et al.*, 2004).

Los posibles efectos de una alteración de las condiciones del medio donde una comunidad habita pueden evidenciarse a diferentes niveles. Si la perturbación es muy grande (por ejemplo, una contaminación por vertidos domésticos que agota el oxígeno del agua) los efectos se notan a nivel de la comunidad entera con la única presencia de unas pocas especies tolerantes. Perturbaciones intermedias (por ejemplo, un incremento de nutrientes) pueden dar lugar a otros cambios menos drásticos, como la desaparición de unas pocas especies o el incremento de la densidad de otras ya presentes o la aparición de unas terceras, más tolerantes al factor de estrés. Finalmente, algunas perturbaciones (un ligero incremento de las sales, por ejemplo) pueden no modificar la estructura de la comunidad, pero sí dar lugar a otros cambios no perceptibles a este nivel, pero sí a nivel individual. Este es el caso de la presencia de tóxicos en el agua, induce en los organismos respuestas metabólicas para intentar compensar el problema generado por las condiciones del medio. Si las concentraciones son bajas, pueden no producirse cambios en la presencia o abundancia de la especie, pero sí cambios en la utilización de ciertas vías metabólicas o en las propiedades del material genético y es posible detectar el estrés generado para esta especie mediante estos cambios. A los indicadores que no producen cambios estructurales se les denomina biomarcadores para diferenciarlos de los bioindicadores que sí detectan estos cambios. (Prat *et al.*, 2009)

Los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad por diversas circunstancias (Resh, 2008. Citado en Prat *et al.*, 2009) entre las que se destacan:

- Tener una amplia distribución (geográfica y en diferentes tipos de ambientes).
- Una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales.
- Ser en su mayoría sedentarios, lo que permite el análisis espacial de la contaminación.
- En otros casos, la posibilidad de utilizar su reacción de huida (deriva) como indicador de contaminación.
- En algunas especies, tener ciclos de vida largo porque integra los efectos de la contaminación en el tiempo.
- Poder ser muestreados de forma sencilla y económica.
- Una taxonomía en general bien conocida a nivel de familia y género.
- La sensibilidad bien conocida de muchos taxa a diferentes tipos de contaminación.
- El uso de muchas especies en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación.

4.2 MARCO LEGAL.

A continuación se relaciona toda la normatividad colombiana inherente al desarrollo del proyecto investigativo.

Tabla N° 2: Normatividad asociada al proyecto de investigación.

NORMA	DRECRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 1594 de 1984	por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 165 de 1994	Aprueba el convenio sobre la "Diversidad Biológica" hecho en rio de janeiro 5 de Julio del 1992
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1376 de 2013	Por el cual se reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación biológica no comercial.
Resolución 0631 de 2015	Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Autores

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 AREA DE ESTUDIO

Este estudio se realizó en la quebrada Acuata del municipio de Tocaima; el cual forma parte de la Provincia del Alto Magdalena, en el suroeste del Departamento de Cundinamarca. Está situada en la parte media de la Región Andina, a la margen izquierda de la cordillera Oriental y dista 30 Km del margen derecho del Río Magdalena, a la altura del Municipio de Girardot. Tocaima pertenece a la subregión natural central del valle cálido del Alto Magdalena; se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 287 metros de altitud en la parte baja de Pubenza, limita con el municipio de Girardot y a los 1.568 metros de altitud en el Alto del Trigo, extremo norte de la vereda de Copó; la cabecera municipal se encuentra a 400 metros sobre el nivel del mar a 4° 26' de Latitud Norte y a 74° 38' de Longitud Oeste. (Alcaldía de Tocaima, 2015). Tocaima presenta relieves planos, ligeramente planos, con pendientes del 3% al 7%; suelos aptos para ganadería y agricultura con riego (Herrera, 2001).

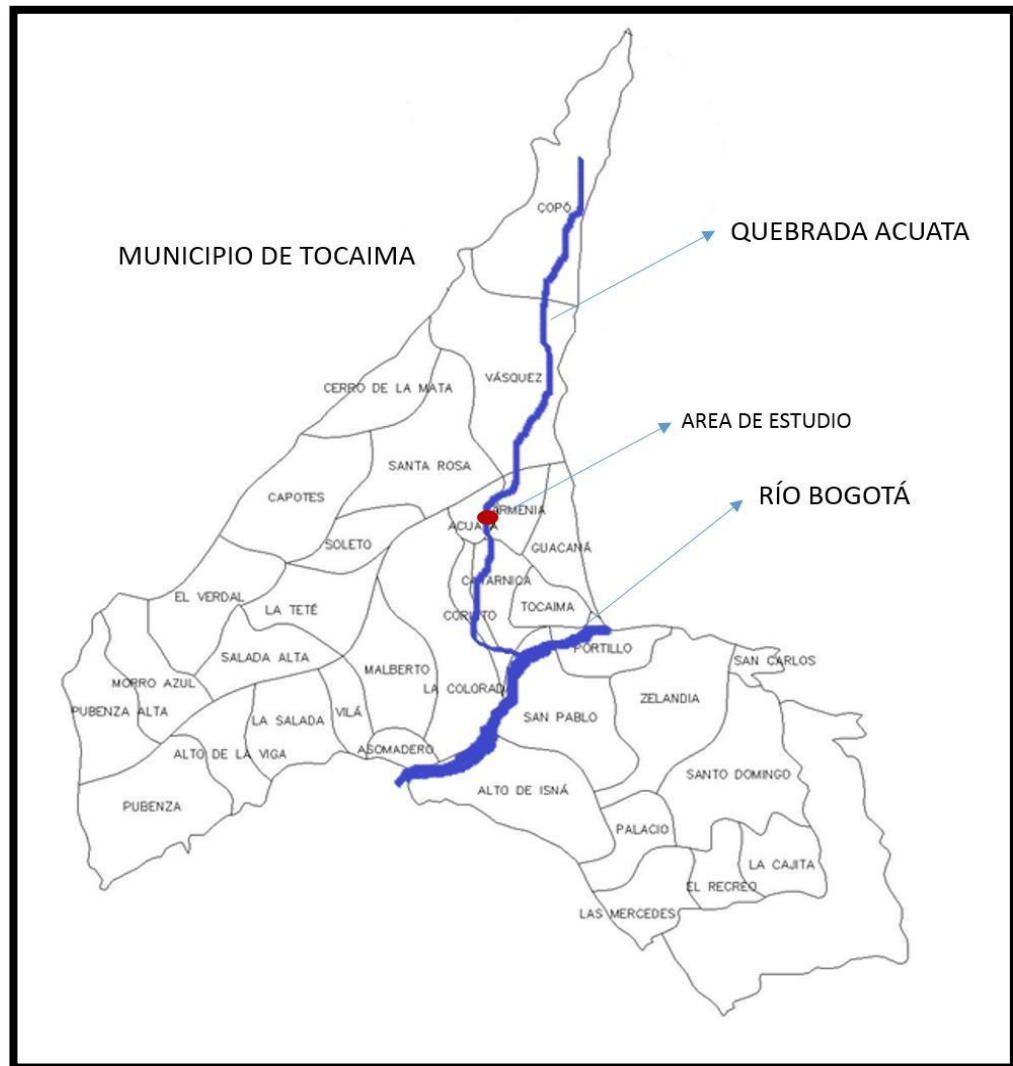
Imagen N° 1: Ubicación geográfica de Tocaima Cundinamarca.



Fuente: Alcaldía de Tocaima, 2016

La quebrada Acuata se ubica al oeste de la vía Tocaima-Jerusalén, pasando por los pozos azufrados del municipio, en los puntos denominados “Bateas”; Allí el cuerpo de agua presenta riesgos de inundación por su alta permeabilidad, deforestación y baja retención de agua en los suelos. El cauce principal de la quebrada tiene una longitud de 18,074 kms; su recorrido es paralelo a la carretera Tocaima – Jerusalén hasta su desembocadura en el río Bogotá (Herrera, 2001). La quebrada nace con el nombre de Quebrada Seca entre los cerros del Alto de Copo y Alto de del Trigo, Aguas abajo es alimentada por varias quebradas de primer y segundo orden, hasta que pasa por la vereda Acuata, donde recibe dicho nombre.

Imagen N° 2: Ubicación geográfica de la quebrada Acuata - Tocaima
Cundinamarca



Fuente: Adaptado de la Alcaldía de Tocaima, 2016

El área de muestreo está ubicada en la vereda Acuña, al norte del centro urbano de Tocaima- Cundinamarca, a 50 mts al oeste del km 3 vía Tocaima – Jerusalén, en la batea del Centro Recreacional el Gran Pozo azufrado, entre coordenadas $04^{\circ} 28' 59,074''$ N y $74^{\circ} 39' 2,151''$ O; en este punto la altitud es de 399 msnm (Autores). La zona se considera como ecosistema de Bosque Seco Tropical, registrando temperaturas entre $28 - 35^{\circ}\text{C}$. (Alcaldía de Tocaima, 2016).

En el punto de interés se realizan descargas de aguas grises procedentes del centro vacacional el Gran Pozo Azufrado, las cuales incluyen las aguas residuales del lavaplatos y aguas residuales provenientes del lavado del barro azufrado usado en las actividades recreacionales. Esto significa que en este punto la

quebrada recibe concentraciones considerables de tensoactivos y barros azufrados.

5.2. MATERIALES

Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron:

- Erlenmeyer
- Libreta de registro
- Nevera.
- Rotuladores.
- Conductivímetro YSI 30.
- Oxímetro YSI 55.
- pH-meter de marca wtw.
- GPS Móvil Garmin Gpsmap.
- Cámara fotográfica.

5.3 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta propuesta se llevaron a cabo los siguientes pasos metodológicos, con el fin de dar cumplimiento al objetivo general del proyecto.

Se seleccionaron tres puntos de muestreo (P1, P2 y P3) en la quebrada Acuata, los cuales fueron georreferenciados con un GPS Móvil Garmin Gpsmap. Se resalta el punto N° 2, ubicado la batea del Centro Recreacional el Gran Pozo azufrado, entre coordenadas $04^{\circ} 28' 59,074''$ N y $74^{\circ} 39' 2,151''$ O, aquí la quebrada se ve fuertemente influenciada por los vertimientos generados por el centro vacacional. El punto de muestreo N° 1 se ubica 200 mts aguas arriba con coordenadas $04^{\circ} 28,5' 34''$ N y $74^{\circ} 39' 28''$ O, en donde la quebrada presenta condiciones relativamente normales. A 200 mts aguas abajo del punto N° 2, se designa el punto N° 3 con coordenadas $04^{\circ} 27' 38''$ N y $74^{\circ} 40' 13,2''$ O, en el cual se puede observar con claridad la variación de las características del agua.

Se realizó un muestreo puntual, para representar adecuadamente la composición del cuerpo de agua en el tramo de interés.

Para la caracterización físico-química se analizaron los siguientes parámetros físicos: Temperatura, Turbiedad y Conductividad; y parámetros químicos como pH, Oxígeno Disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, Materia Orgánica, Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅), Alcalinidad, concentración de Sulfatos, Nitratos, Nitritos, Amonio, Fosfatos y Salinidad.

Para el análisis microbiológico se midió Coliformes Fecales. Para análisis biológicos se tuvieron en cuenta macroinvertebrados acuáticos, cianobacterias y las algas asociadas.

Fase de campo

Se tomaron muestras para análisis in situ de algunos de los parámetros fisicoquímicos, en cada punto de muestreo.

- pH y Temperatura: se midieron en cada punto con el pHmetro WTW.
- Conductividad y salinidad: se midieron con el conductivímetro de referencia YSI 30
- Oxígeno disuelto y Porcentaje de saturación de oxígeno: estos parámetros fueron medidos con el oxímetro de referencia YSI 55.

De igual forma durante la fase de campo se tomaron las muestras para el resto de análisis fisicoquímicos (DBO₅, sulfatos, turbiedad, materia orgánica, alcalinidad, nitratos, nitritos, amonio y fosfatos) en envases de polietileno tereftalato de 600 ml esterilizados. Para los análisis microbiológicos se tomaron muestras en frascos esterilizados y se refrigeraron a 4°C para su posterior análisis.

El muestreo de macroinvertebrados acuáticos se realizó mediante métodos de recolección cualitativa como Red Surber y recolección manual, las cuales fueron ejecutadas en los puntos de muestreo una vez durante 10 minutos, después de la recolección se vaciaron y guardaron las muestras en frasco con alcohol al 70 %, para su separación.

Se tomó una muestra de la cianobacteria encontrada exclusivamente en la batea del Gran Pozo Azufrado y a esta se le determinaron las algas asociadas; esta muestra se tomó de la parte del cauce con menos corriente en un envase de vidrio de 500 ml con un volumen de agua de 400 ml.

Fase de laboratorio

Para el análisis de las muestras se llevaron a cabo métodos o protocolos basados en la metodología estándar APHA, así como técnicas para el análisis microbiológico y biológico.

Protocolos para análisis de las muestras según parámetro:

Los parámetros de DBO₅, Concentración de Sulfatos y turbidez, fueron analizados en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, siguiendo los métodos de incubación 5 días winkler, S.N 5210 B, el método espectrofotométrico, cloruro de Barrio EPA W.M. y el método Nefelométrico EPA W.M. respectivamente.

Los parámetros de materia orgánica, alcalinidad, concentración de nitritos, nitratos, amonio y fosfatos fueron analizados en el laboratorio de investigación del grupo Manejo Integrado de Ecosistemas y Biodiversidad – *Xiuá* de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por parte de los autores y con el apoyo de los investigadores del grupo. Para ello se utilizaron los siguientes métodos:

- *Materia orgánica*: para determinar la materia orgánica en el agua se elige el método de oxidabilidad al permanganato descrito en Roldan et. al. 1990.
- *Alcalinidad*: el procedimiento para la determinación de alcalinidad se basó en el método de Gran, para lo cual se procesaron los datos en el programa Carboce.
- *Nitratos y Nitritos*: el procedimiento para el análisis de nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) se basa en el método de reducción con Cadmio.
- *Amonio*: la determinación de amonio se realizó según el método del Fenato descrito en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- *Fosfatos*: el análisis se llevó a cabo, mediante el método del ácido ascórbico que muestra el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

El parámetro microbiológico de interés coliformes fecales fue analizado en los laboratorios de Investigación de la Calidad del Agua de la Empresa de Acueducto de Bogotá EAB – ESP, mediante el método de filtración por membrana.

En cuanto a los parámetros biológicos, estos fueron analizados como se describe a continuación:

- *Macroinvertebrados*: se identificaron los macroinvertebrados mediante estereoscopio de marca Nikon SM2745T, en los laboratorios de biología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en Tunja Boyacá, con el apoyo de la Bióloga Mabel Pimiento y los laboratorios de la UDEC, Basados en la guía Macroinvertebrados como Bioindicadores de la Calidad del agua de Roldan.

- *Cianobacterias*: la muestra fue analizada en los laboratorios de ecología de la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo del biólogo Gabriel Pinilla basados en la clave de determinación taxonómica de Geitler, 1932, Cyanophyceae.
- *Algas asociadas*: se analizó una muestra de agua por medio del microscopio de marca Nikon Eclipse Triocular con cámara Motic en los laboratorios de biología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en Tunja Boyacá; con el apoyo de la bióloga Andrea Meneses Ortegón, basada en el Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales de Parra O., et. al. 1982.

Análisis de datos:

Se realizaron graficas a partir de una base de datos en Excel para visualizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas y microbiológicas analizadas en los puntos de muestreo de la quebrada y con el programa estadístico Past se determinaron los datos de estadística descriptiva para covalidar la relación de cada dato obtenido.

Se determinó la correlación entre variables, mediante la matriz de correlación de Pearson con el programa Primer V5.

La matriz de correlación es una matriz conformada por **n** filas y por **n** columnas. Además es una matriz simétrica. Explica cómo se encuentran relacionadas cada una de las variables con otra variable. Su diagonal siempre contendrá el valor de 1. Si tiene un valor 0, indicará que no tiene ninguna relación con esa variable, por lo menos no lineal; es decir, pueda que tenga una relación cuadrática o de otro grado. Cuando la correlación es positiva, esto indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable. Cuando la correlación es negativa, indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a decrecer conjuntamente con la contra variable. Una manera de llegar a una síntesis aún más clara se obtiene al realizar un análisis de aglomerados (cluster) de la matriz de similitud. Lo que este hace es agrupar a los parámetros más similares primero. Tomando los valores más cercanos (método de vinculo único o vecino más cercano) se recalculan las similitudes, y después se agrega el siguiente conglomerado más similar (Hanneman, R. 2001). Esto con el fin de determinar las relaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas.

- Cálculo del Índice General de Calidad (WQI). El Índice de Calidad Ambiental (ICA) o WQI por sus siglas en inglés (Water Quality Index) mide

la calidad físico-química del agua en una escala de 0 a 100 referida principalmente para potabilización (0, muy mala; 100, excelente). fue creado por la NSF (National Sanitation Foundation), entidad gubernamental de Estados Unidos. Para su empleo se toman en cuenta los valores de nueve variables: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, temperatura del agua, fósforo total, nitratos, turbiedad y sólidos totales reunidos en una suma lineal ponderada. (Unipamplona, 2008)

Para su determinación se usa la siguiente formula:

$$WQI = \sum^n SI * Wi$$

Donde:

n: número de parámetros analizados.

SI: subíndice de cada parámetro o valor de calidad Q obtenido de las curvas de función promedio por parámetro.

Wi: pesos ponderados asignados a cada parámetro.

La calidad del agua se determinó a partir de la puntuación obtenida por el índice en la siguiente tabla.

Tabla N° 3: Clasificación de la calidad del agua con respecto al índice WQI.

CALIDAD DEL AGUA	RANGO DE VALOR DEL WQI
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Regular	51 - 70
Mala	26 - 50
Muy mala	0 - 25

Fuente: Adaptado de Unipamplona, 2008.

- Cálculo del Índice BMWP/Col: El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o

Ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP (Roldan, 2012).

Tabla N° 4: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

FAMILIAS	PUNTAJES
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5

Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldan, 2012.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon), es, el puntaje total BMWP dividido entre el número de los taxa, es un índice particularmente valioso para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación. Los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación. Teóricamente, una medida ideal de la calidad del agua estaría dada por la determinación del grado de composición al cual una comunidad difiere de la que fue considerada típica para un determinado ecosistema acuático (Roldan, 2012).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las actividades que se desarrollaron para dar cumplimiento a los objetivos específicos estipulados en el trabajo.

Objetivo específico 1. Analizar los aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos que presenta la quebrada Acuata en puntos específicos.

VARIABLES FISICO – QUIMICAS

En la tabla N° 5 se presentan los valores obtenidos de la determinación de los parámetros físicos y químicos de la quebrada Acuata.

Tabla N° 5: Resultados de los parámetros físico-químicos.

PARAMETRO	PUNTO DE MESTREO			UND	ESTADISTICA DESCRIPTIVA				
	P1	P2	P3		Promedio	Varianza	Desviación estándar	Normalidad	P
FISICOS									
Temperatura	27,5	29	28,5	°C	28,33333	0,58333	0,7637626	0,9643	0,6369
Turbiedad	1,3	5,8	29	NTU	12,03333	220,963	14,864835	0,8681	0,2902
Conductividad	1357	1436,5	1449,5	µS/cm	1414,333	2507,58	50,075776	0,853	0,2486
QUIMICOS									
Salinidad	0,7	0,6	0,7	PPT	0,666667	0,00333	0,057735	0,8811	0,3275
pH	7,223	7,176	7,337		7,245333	0,00685	0,0827909	0,9454	0,5497
O.D.	2,72	2,38	1,31	mgO ₂ /L	2,136667	0,54143	0,7358215	0,918	0,4453
M.O.	2	1,28	1,4	mgO ₂ /L	1,56	0,1488	0,385746	0,871	0,2983
DBO ₅	19	17	16	mgO ₂ /L	17,33333	2,33333	1,5275252	0,9643	0,6369
Alcalinidad	182,8 47	172,07 7	188,36 4	mgCO ₃ /L	181,096	68,6161	8,2834831	0,9663	0,6477
[SO ₄]	1748	1593	1487	mgSO ₄ /L	1609,333	17230,3	131,26436	0,9884	0,7938
[Nitritos]	0,45	0,47	0,71	µg N-NO ₂ /L	0,543333	0,02093	0,1446836	0,8073	0,1321
[Nitratos]	954,3 5	744,64	185,66	µg N-NO ₃ /L	628,2167	157887	397,34981	0,9356	0,5098
[Amonio]	9,68	64,57	59,78	µg N-NH ₃ /L	44,67667	924,311	30,402484	0,8149	0,1506
[Fosfatos]	6,5	13,14	1,66	µg PO ₄ /L	7,1	33,2176	5,7634712	0,9919	0,8276

Fuente: Autores

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Varianza de los datos

Los resultados de la varianza muestran que los parámetros de temperatura, turbiedad, conductividad, sulfatos, nitratos, amonio y fosfatos tienen una mayor

dispersión o variación de los datos; y los demás parámetros los resultados de varianza indican que los datos presentan una mayor homogeneidad.

Desviación estándar de los datos

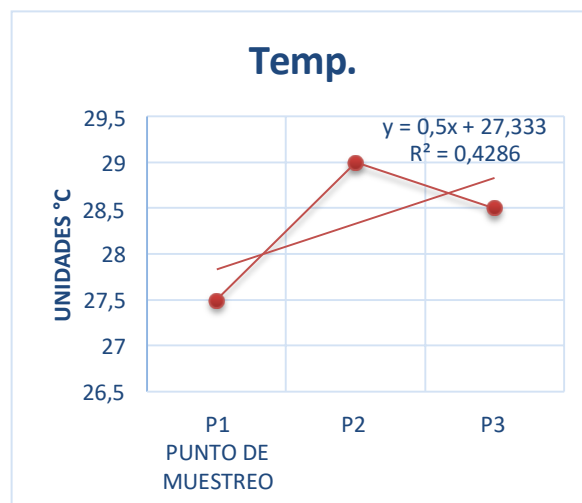
Los datos de temperatura, oxígeno disuelto y materia orgánica el desvío es menor e indica una distribución más homogénea y en consecuencia la varianza es representativa, los demás datos indican que la varianza no es representativa y que su distribución es heterogénea.

Normalidad de los datos

Todos los parámetros estudiados registran una distribución normal puesto que el valor P de cada dato es menor respecto a su normalidad.

TEMPERATURA

En la gráfica N° 1 se expresan los valores de temperatura según los resultados de la toma *in situ*; el P1 tiene una temperatura relativamente fría (27 °C) según Rojas, et al., 2014. Dado que en este punto la incidencia de luz es mínima debido a la densa vegetación que se encuentra allí; todo lo contrario a los otros 2 puntos de muestreo en donde se evidencio un aumento en la temperatura en el agua siendo está relativamente calida (28,5 °C a 29 °C) según Rojas, et al., 2014., considerándose que esto se debe a la incidencia de los rayos de luz directos y por las descargas que tiene este punto por parte de la actividad humana.

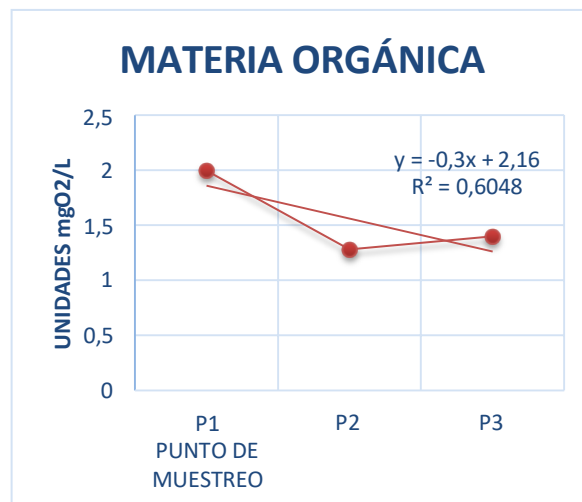


Gráfica N° 1: Resultados Temperatura en cada punto.

Fuente: Autores

MATERIA ORGÁNICA

Los resultados de la concentración de materia orgánica presente en el recurso hídrico representada en la gráfica N° 2, se encuentra dentro de los límites en donde se considera que el agua no está contaminada (concentraciones por debajo de 2 mgO₂/L) (Roldán 2003); en los datos obtenidos se observa que los 3 puntos tienen concentraciones de materia orgánica bajas, la concentración más alta se encuentra en el P1 en donde no hay intervención del hombre, pero por las características propias del sustrato del fondo de la quebrada, en donde se encuentra barro, hojarasca, y demás desechos vegetales que aportan materia orgánica al cuerpo de agua a diferencia del P2 y P3 en donde el sustrato del fondo de la quebrada es rocoso y no se presentan sedimentos que aporten materia orgánica a este mismo.

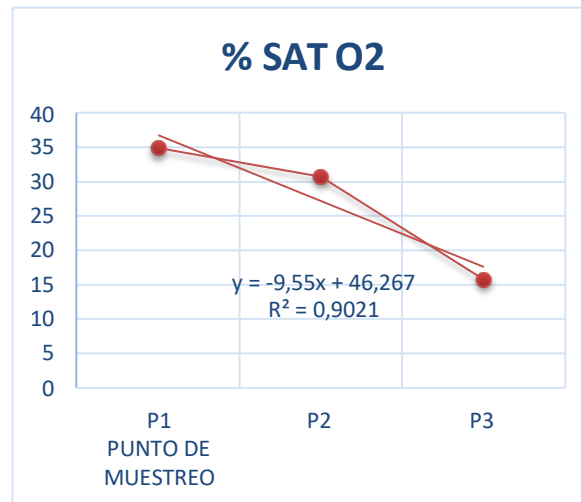


Gráfica N° 2: Resultados Materia Orgánica

Fuente: Autores

PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO

Los resultados obtenidos en la medición del porcentaje de saturación de oxígeno (% SAT O₂) que se muestran en la gráfica N° 3 están por debajo del 60% (Cortolima 2000), este valor se considera malo para un cuerpo de agua; la relación de este parámetro con las características de la quebrada están en la poca profundidad del agua y al lento movimiento de la corriente en los 3 puntos de muestreo.

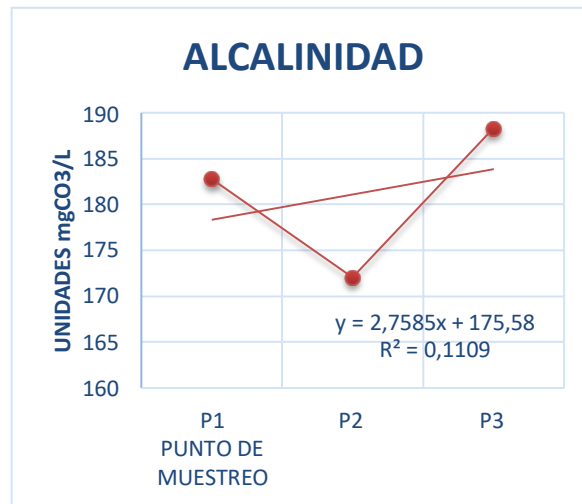


Gráfica N° 3: Porcentaje de saturación de oxígeno

Fuente: Autores

ALCALINIDAD:

Los resultados obtenidos en la medición de alcalinidad son elevados con respecto al rango propuesto por Massol & Fuentes (1998), quienes indican que los rangos de alcalinidad se clasifican en los siguientes niveles; Bajo los $< 75 \text{ mgCO}_3/\text{L}$, Media entre 75 y 150 y altos los $> 150 \text{ mgCO}_3/\text{L}$. como se puede evidenciar en la gráfica N° 4 en el P2 se encuentra la menor concentración de CO_3 con respecto a los otros 2 puntos; esto se debe a que en esta zona se encuentra una floración de la cianobacteria y está como productor primario realiza la fotosíntesis utilizando el CO_3 como fuente de energía; esto justificado con lo que dice Massol & Fuentes (1998); en donde resaltan que este parámetro indica la productividad del ecosistema.



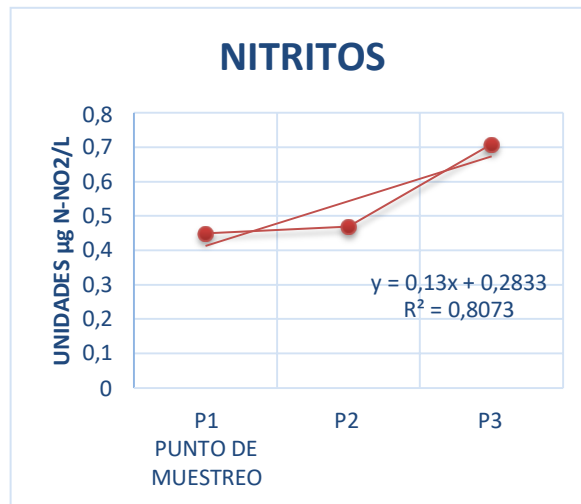
Gráfica N° 4: Resultados de Alcalinidad

Fuente: Autores

NITRITOS Y NITRATOS:

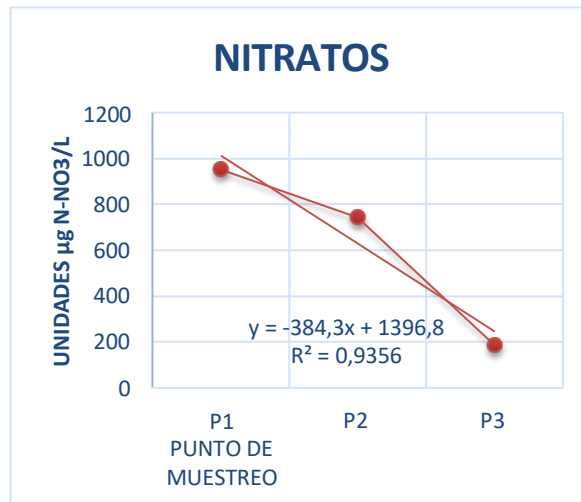
En las gráficas N° 5 y N° 6 se expresan los resultados obtenidos de la medición de nitritos y nitratos en la quebrada Acuata, en la gráfica de nitritos se observa que la concentración es menor en comparación a la de nitratos; esto se debe a que los iones de nitrito son menos estables y funcionan como agentes de oxidación y reducción, transformándose en nitratos; predominando en aguas superficiales (Albert, 2002). Los resultados obtenidos muestran que la concentración de nitritos no supera los niveles de 0,1 mg/L que según Stumm & Morgan (1981) en aguas superficiales este es el máximo nivel que se puede encontrar. Para los nitratos la concentración en aguas superficiales es de 0-18 mg/Litro (Almudena & Lizaso, 2001), y los resultados obtenidos no exceden este valor indicando que las concentraciones presentes en la quebrada de este parámetro son naturales y no generan riesgo para la salud y las actividades recreativas que allí se realizan.

En los resultados obtenidos se observa que la concentración más alta de nitritos se encuentra en el P3 y las de nitrato en este mismo punto se encuentran en menor concentración; la interpretación de esto es debido a que en este mismo punto la concentración de oxígeno es menor y no se realiza la reducción del nitrito.



Gráfica N° 5: Resultados Nitratos

Fuente: Autores



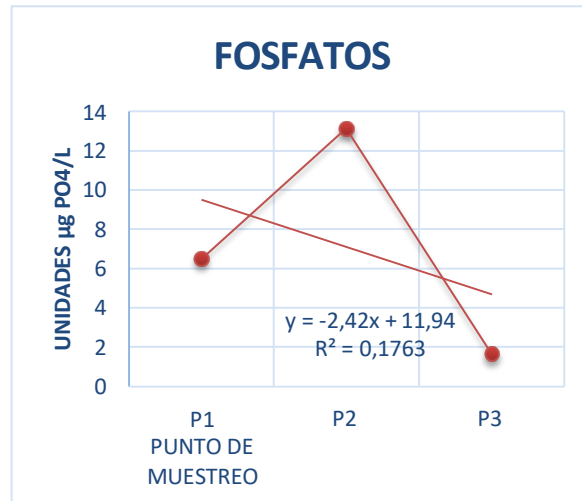
Gráfica N° 6: Resultados Nitratos

Fuente: Autores

FOSFATOS

Los resultados que se muestran en la gráfica N° 7 de la concentración de fosfatos presentes en el cuerpo de agua no generan afectación o contaminación en el recurso hídrico, debido a que las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l PO₄-P en el agua corriente (Petra Pütz 2010), los resultados obtenidos no alcanzan estos valores mencionados pero la incidencia de las actividades recreativas y la descarga de aguas domesticas que

aportan los fosfatos sobre todo por jabones y detergentes, hacen representativa la concentración que se observa en el P2 debido a que allí se encuentra el tubo de salida de estas aguas usadas por el centro vacacional.



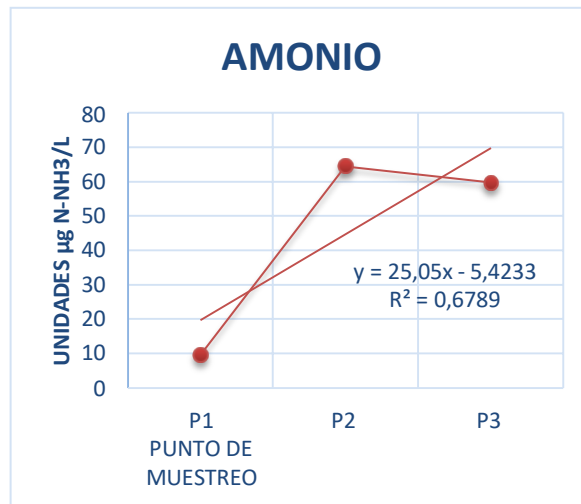
Gráfica N° 7: Resultado Fosfatos

Fuente: Autores

AMONIO

Los resultados de Amonio que se muestran en la gráfica N° 8 reflejan las concentraciones determinadas en la quebrada Acuata; según la OMS (Organización Mundial de la Salud), 1993 señalo que las concentraciones naturales en aguas superficiales suelen ser menores de 0,2 mgNH4/L; si se supera dicho valor se determina que el agua está contaminada con aguas residuales de origen doméstico o ganadero. La concentración que se obtuvo no excedió los valores mencionados, pero en los P2 y P3 se encuentran los valores más altos; esto a causa de que los vertimientos generados por parte del centro vacacional son descargados en el P2 y la corriente del agua los transporta hasta el P3.

En los resultados de esta medición del amonio se evidencio que en el P1 las concentraciones son bajas y esto es debido a que en este lugar no se lleva a cabo ninguna intervención por parte la las actividades recreativas del hombre.

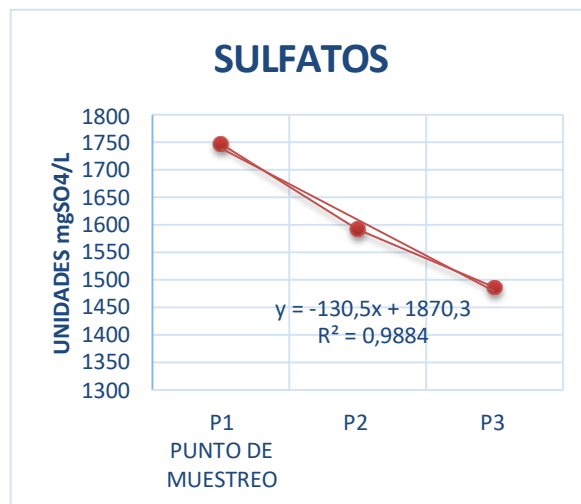


Gráfica N° 8: Resultado Amonio

Fuente: Autores

SULFATOS

En los resultados representados en la gráfica N° 9, se evidencian valores significativos, mayores a 1400 mgSO₄/l en el punto de interés, estas concentraciones son consideradas normales para cuerpos de aguas termales usadas en actividades de recreación, de aquí el uso que se le da justo en este tramo, siendo aprovechada debido a los beneficios que presentan las aguas azufradas para la salud humana (Rojas et al., 2014). La variación de la concentración de azufre no es significativa en los 3 puntos, sin embargo dichas concentraciones exceden los límites máximos permisibles en el agua para consumo humano, establecidos en la Resolución 2115 del 2007 cuyo límite es de 250 mg/l.

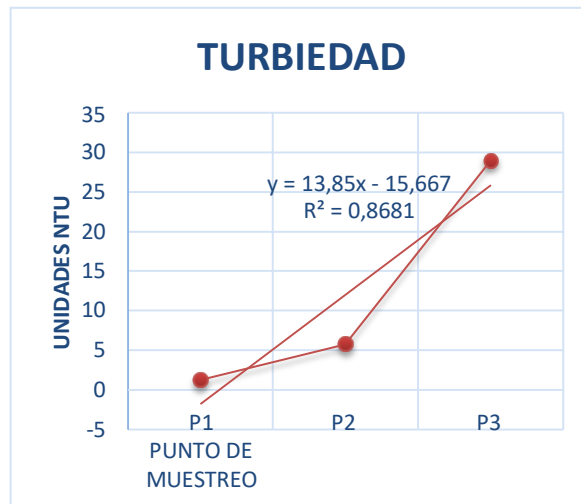


Gráfica N° 9: Resultado Sulfatos

Fuente: Autores

TURBIEDAD

Este parámetro se expresa dependiendo de la cantidad de sólidos disueltos que presente el cuerpo de agua, estos pueden producirse por actividad biológica, erosiva o por causas antrópicas; según los rangos de turbiedad del agua los valores <1 NTU se clasifican como aguas transparentes, los valores entre $1 - 5$ NTU son aguas algo turbias y los > 5 NTU son aguas turbias (Massol, 2010), y los resultados que se obtuvieron en este parámetro que se muestran en la gráfica N° 10, en los P1 y P2 indican que las aguas son algo turbias, y en el P3 el resultado fue de 29 NTU lo que indica que en este punto el agua es muy turbia. Se atribuye este cambio tan representativo a la descarga de vertimientos por parte de la actividad turística que se desarrolla en este punto y al paso de la carretera que cruza el cauce de la quebrada lo cual puede aumentar la re suspensión de los sedimentos entre el P2 y el P3.

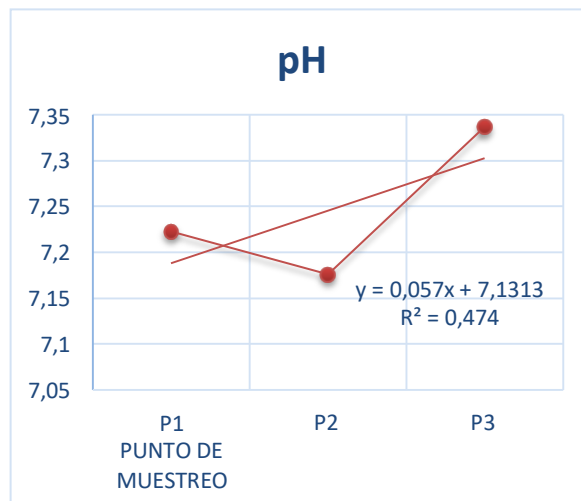


Gráfica N° 10: Resultados Turbiedad

Fuente: Autores

pH

Los resultados obtenidos en este parámetro medido se muestran en la gráfica N° 11, reflejan que fueron similares entre los 3 puntos analizados, siendo este un pH relativamente neutro; según Babor & Ibarz, 1963, un pH ácido son los valores < 7, un pH básico los valores > 7 y los valores de pH 7 son neutros, indicando que las aguas de esta cuenca son neutras; favoreciendo así los distintos usos recreativos que se le da a esta.



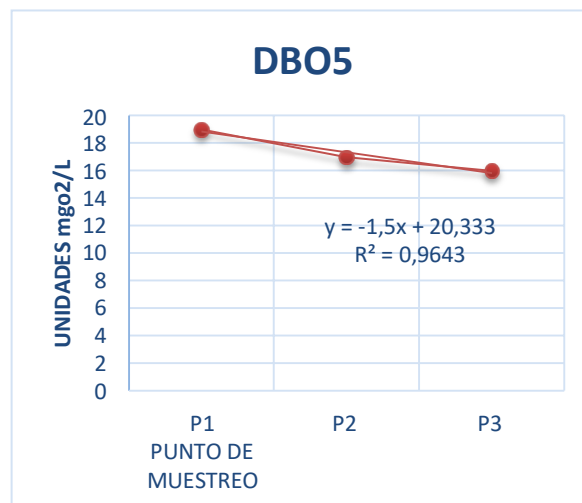
Gráfica N° 11: Resultados pH

Fuente: Autores

DBO₅ Y OXÍGENO DISUELTO

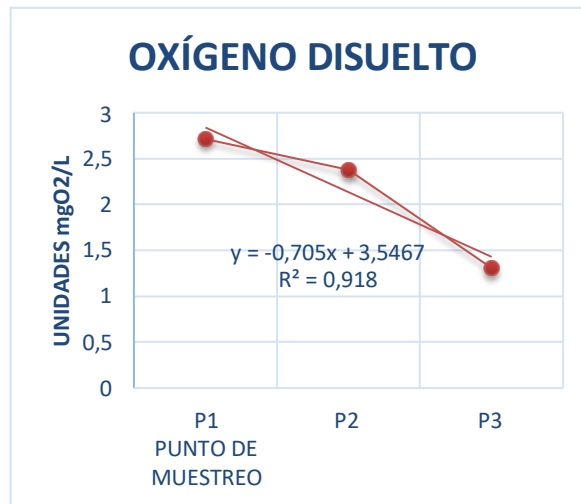
La relación entre el parámetro de oxígeno disuelto y la DBO₅ radica en el proceso biológico de descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos, quienes utilizan el oxígeno disuelto en el agua para cumplir con tal fin. Los resultados obtenidos para el parámetro de DBO₅ señalan, según el rango expuesto por Rodríguez, (2013), que la concentración que está entre los 5 mgO₂/L y 50 mgO₂/L indica que el agua está poco contaminada (grafica N° 12).

Los resultados que se obtuvieron en la medición del oxígeno disuelto muestran concentraciones por debajo de los valores normales que van de 7 a 8 mgO₂/L (Roldan 2003). En la gráfica N° 13, se observa cómo van disminuyendo entre cada punto, de los 3 datos la concentración más alta se presenta en el P1, el cual, está en la zona en donde la cuenca no se ha intervenido y el punto con la menor concentración de oxígeno es el 3; que es el más afectado por las actividades recreativas que generan vertimientos en este punto.



Gráfica N° 12: Resultados DBO₅

Fuente: Autores

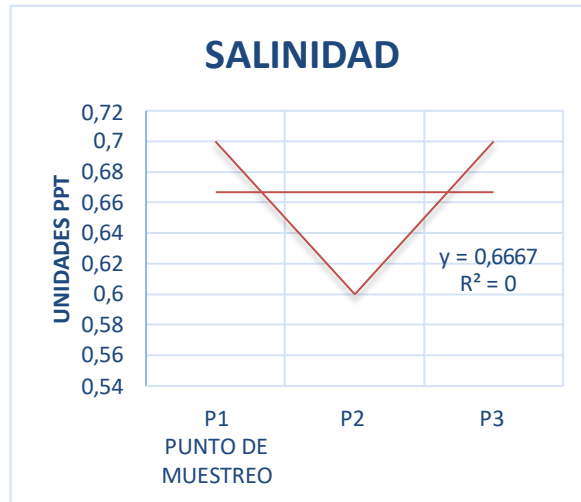


Gráfica N° 13: Resultados OD

Fuente: Autores

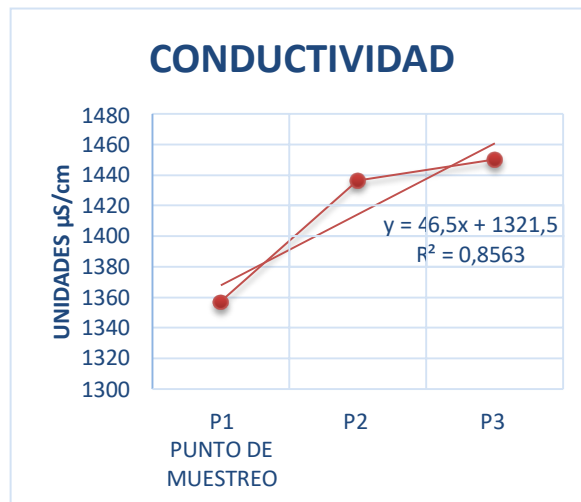
SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD

En la gráfica N° 14 se muestran los resultados de salinidad y en la gráfica N° 15 se muestran los resultados de conductividad que contiene la quebrada Acuata, en donde los valores obtenidos están dentro de los rangos que indican que el agua está poco contaminada; la OMS señala que los niveles de conductividad por encima de los 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indica que el recurso se encuentra contaminado, este parámetro está relacionado directamente con las sales disueltas en el agua ya sea por acción natural o por descargas de fertilizantes y vertimientos domésticos; debido a que cuanto mayor sea la conductividad mayor son los sólidos disueltos en el agua.



Gráfica N° 14: Resultados Salinidad

Fuente: Autores



Gráfica N° 15: Resultados Conductividad

Fuente: Autores

VARIABLES BIOLÓGICAS

CIANOBACTERIA Y ALGAS

Los resultados obtenidos en el estudio de las variables biológicas, se determinaron de las muestras tomadas en el punto 2; debido a que es el único lugar del área de estudio en donde se encuentra la presencia de una biopelícula con características particulares como su color el cual es totalmente blanco.

Se analizó la biopelícula y se determinó que esta floración pertenece a la cianobacteria *Schizothrix sp.*, junto con esto también se analizaron las algas y protozoos asociados a la cianobacteria. Los resultados de este análisis se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 6: Listado de algas y protozoos asociados a la cianobacteria.

DIVISION	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO
Clorophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnernataceae	<i>Maugeotia</i>
Heterokontophyta	Bacillanophyceae	Cyrmbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>
Clorophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Mesotaeniaceae	<i>Cylindrocystis</i>
Heterokontophyta	Bacillanophyceae	Naviculas	Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>
Clorophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Mesotaeniaceae	<i>Netrium</i>
Euglenophyceta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>
Clorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropieales	Hydrodictyceae	<i>Pediastrum</i>

Fuente: Autores

MACROINVERTEBRADOS

A continuación se muestran los resultados de los macroinvertebrados encontrados por cada punto y tipo de muestreo.

Tabla N° 7: Muestreo manual de macroinvertebrados en el P1

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Chironomidae
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae
Arthropoda	Insecta	Efemeroptera	Leptohiphidae
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydraenidae

Fuente: Autores

Tabla N° 8: Muestreo con red surber en el P1

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Chironomidae
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae

Fuente: Autores

Tabla N° 9: Muestreo con red surber en el P2

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Chironomidae
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionnidea
Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae
Arthropoda	Insecta	Efemeroptera	Caenidae
Arthropoda	Insecta	Efemeroptera	Leptohiphidae
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae
Arthropoda	Insecta	Efemeroptera	Baetidae

Fuente: Autores

Tabla N° 10: Muestreo con red surber en el P3

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Chironomidae
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Stratiomyidae
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae
Mollusca	Gastropoda	Bassomatophora	Physidae
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda	Hydrobiidae

Fuente: Autores

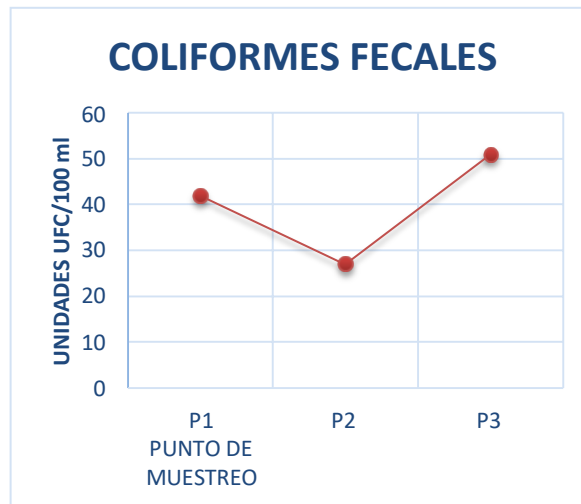
Tabla N° 11: Muestreo manual de macroinvertebrados en el P3

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Mollusca	Gastropoda	Basomatophora	Physidae
Arthropoda	Insecta	Dipteria	Chironomidae

Fuente: Autores

MICROBIOLOGICOS

En la siguiente grafica se muestran los resultados de los análisis microbiológicos realizados en cada punto. Según los límites permisibles mencionados en el decreto 1594 del 1984, la concentración máxima que debe contener el agua superficial de uso recreativo (contacto primario) es de 200 UFC/100 ml de coliformes fecales. Las concentraciones obtenidas de los puntos muestreados no exceden este valor; se observa que el resultado más alto se encuentra en el punto 3 y esto se le atribuye a la descarga de posibles vertimientos y la presencia de animales de la finca que se encuentra frente a este punto.



Gráfica N° 16: Resultados Coliformes Fecales

Fuente: Autores

Objetivo específico 2. • Correlacionar las variables fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la quebrada.

ANALISIS DE LA CORRELACION DE LOS RESULTADOS FISICO QUIMICOS MEDIANTE UNA MATRIZ TRIANGULAR

Cuadro N° 1: Matriz triangular del coeficiente de correlación de Pearson.

	M. O mg O2/L	Alcalinidad	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Amonio	Sulfatos	DBO5	Turbidez	pH	Conductividad	Temp.	Oxígeno	% de Sat	Salinidad
M. O mg O2/L															
Alcalinidad	-0,880														
Nitritos	-0,423	0,803													
Nitratos	0,593	-0,904	-0,981												
Fosfatos	-0,244	-0,247	-0,776	0,637											
Amonio	-0,997	0,914	0,492	-0,653	0,168										
Sulfatos	0,841	-0,997	0,846	0,934	0,320	0,880									
DBO5	0,882	-1,000	0,799	0,902	0,241	0,916	0,997								
Turbidez	-0,496	0,850	0,997	-0,993	-0,721	0,562	-0,887	-0,846							
pH	-0,080	0,544	0,937	-0,850	0,947	0,156	-0,606	0,539	0,905						
Conductividad	0,522	-0,054	0,552	-0,377	0,954	0,455	-0,022	0,060	0,481	0,808					
Temp.	-0,984	0,782	0,256	-0,441	0,411	0,968	-0,732	0,786	0,335	0,098	-0,665				
Oxígeno	0,565	-0,889	-0,987	0,999	0,662	0,627	0,922	0,887	-0,997	0,867	-0,408	-0,411			
% de Sat	0,542	-0,876	-0,991	0,998	0,683	0,605	0,911	0,874	-0,999	0,881	-0,434	0,385	1,000		
Salinidad	0,629	-0,183	0,439	-0,254	-0,908	0,567	0,108	0,189	0,363	0,725	0,992	0,756	0,286	0,313	

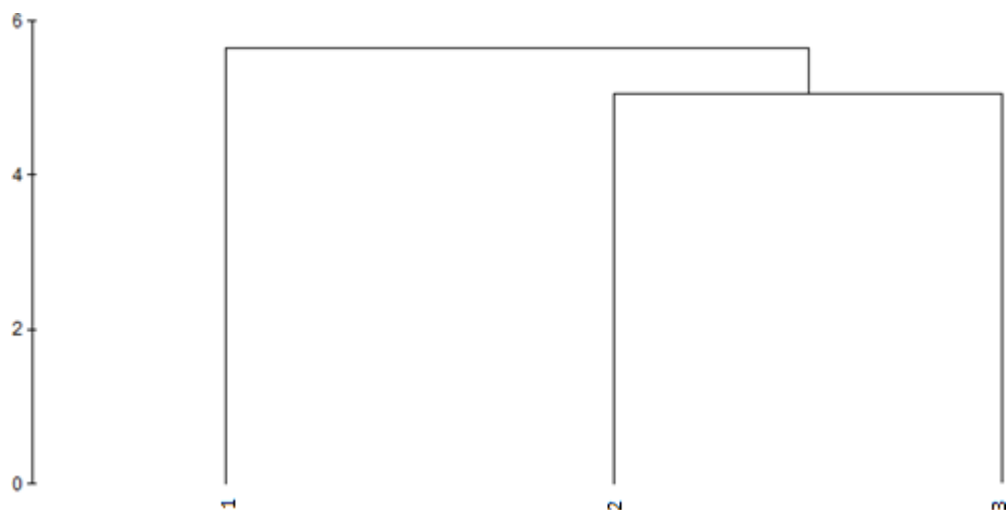
Fuente: Autores

Los resultados de la matriz de correlación de Pearson nos muestran cuales de las variables analizadas se encuentran significativamente correlacionadas, los resultados señalados en el cuadro N° 1 muestran las variables que tienen una relación positiva y negativa. La relación entre las variables de Turbidez y Nitritos, DBO₅ y Sulfatos, Nitratos y Oxígeno Disuelto, Nitratos y Porcentaje de Saturación, Salinidad y Conductividad, Porcentaje de Saturación y Oxígeno Disuelto; están

positivamente correlacionadas, indicando que los valores relacionados de cada parámetro tienden a crecer conjuntamente.

Y la relación entre las variables MO y Amonio, Sulfatos y Alcalinidad, DBO₅ y Alcalinidad, Turbidez y Nitratos, Nitritos y Porcentaje de Saturación, Turbidez y Oxígeno Disuelto, Turbidez y Porcentaje de Saturación; es negativa, indicando que a medida que uno aumenta, el otro disminuye y viceversa.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS MEDIANTE CLÚSTER DE SIMILARIDAD



Gráfica N° 17: Clúster de similaridad

Fuente: Autores

El clúster de similaridad se realizó con distancia euclidiana, esta mide la separación que hay entre dos muestras. En este gráfico se puede ver como las muestras 2 y 3 son más similares en el comportamiento con respecto a las variables físico-químicas que se midieron y como distan de la muestra 1. Esto está relacionado con las circunstancias que encontramos en el tramo estudiado puesto que las áreas en donde se muestrearon los puntos 2 y 3 están intervenidos y afectados por descarga de vertimientos de aguas grises por parte de las actividades recreativas; lo opuesto a lo que se evidencia en el punto 1 en donde no se realiza ninguna intervención del hombre.

CORRELACIÓN ENTRE LOS PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y LOS BIOLÓGICOS

Los resultados obtenidos de cada muestreo de las características físico químicas indican que el grado de contaminación no es significativo, pero que las condiciones antrópicas a las que está expuesto el cuerpo de agua está cambiándolas; esta variación no es significativa puesto que el cambio no excede los valores límites permisibles.

Los resultados de las algas y protozoos asociados a la floración de la cianobacteria *Schizothrix sp*, están relacionados con las características propias (poca profundidad y velocidad lenta) y fisicoquímicas determinadas en el proyecto. En el siguiente cuadro se mencionan las características representativas de cada género encontrado.

Tabla N° 12: Descripción algas y protozoos

GÉNERO	DESCRIPCION
<i>Mougeotia</i>	Aguas contaminadas Aguas estancadas
<i>Gomphonema</i>	Concentración alta de nutriente
<i>Cylindrocystis</i>	Aguas estancadas
<i>Frustulia</i>	Son ampliamente tolerables a diferentes estados de contaminación
<i>Netrium</i>	Concentraciones bajas de nutrientes
<i>Euglena</i>	Se encuentra en aguas poco profundas
<i>Pediastrum</i>	Presentes en reservorios eutróficos

Fuente: Autores

La descripción que se muestra en el cuadro anterior de las características del medio en donde se desarrollan estos microorganismos describe las condiciones que presenta el cuerpo de agua; puesto que según los resultados obtenidos de los análisis físico químicos se evidencia que en el punto 2 en donde se hizo el muestreo para el análisis microbiológico de algas; está influenciado por descarga de aguas grises, por lo tanto al encontrar géneros como *Frustulia*, *Pediastrum*, *Gomphonema* y *Mougeotia*, indican que los vertimientos están afectando la calidad del agua.

Las familias de macroinvertebrados como Baetidae, Leptohiphidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Hydraenidae y Caenidae indican contaminación de los cuerpos de agua (Roldan 1987), sin embargo también se encontraron familias

como Hydrophilidae, Tipulidae y Physidae las cuales son sensibles a ambientes con carga contaminante elevada. Esto quiere decir que el cuerpo de agua aun presenta condiciones buenas con respecto a la calidad, no obstante hay mayor número de familias que indican contaminación, por lo que se puede atribuir cierto nivel de polución causado por las actividades humanas.

De los análisis realizados la familia más representativa o notoria fue la Chironomidae, esta tiene la característica de ser altamente tolerante a ecosistemas contaminados y también poco contaminados (Roldan 1987), debido a esto en los 3 puntos se encontró gran cantidad de este espécimen.

Objetivo específico 3. *Establecer la calidad del agua de la quebrada Acuata a través del indicador WQI y el índice BMWP con respecto a la normatividad vigente.*

INDICE DE CALIDAD HIDRICA (WQI O ICA).

Para calcular el índice de la calidad del agua fue necesario como primera medida determinar el valor de calidad Q para cada parámetro en los tres puntos. Después de aplicar el método propuesto por la NSF se estimó el índice WQI en los diferentes puntos de muestreo y se compararon algunos parámetros con la normatividad vigente.

Punto 1

En el punto de muestreo uno, el valor de Coliformes Fecales sobrepasa el límite máximo permitido en la resolución 2115 de 2007, la cual “*establece características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*” sin embargo los parámetros pH, Fosfatos, Nitratos y Turbidez registran valores inferiores a los límites permitidos. A continuación se muestra el cálculo del WQI, Tabla N° 13.

Tabla N° 13: Calculo del WQI en el punto número uno de muestreo.

PARAMETRO	VALOR	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (RES. 2115/2007)	UNIDADES	VALOR-Q (SI)	PESO PONDERADO (w)	TOTAL	
Oxígeno Disuelto	34,9	N/A	% saturación	24	0,18	4,32	
Coliformes Fecales	42	0	UFC/100 cm ³	56	0,16	8,96	
pH	7,223	6,5-9,0	unidades de pH	91	0,13	11,83	
DBO ₅	19	N/A	mg/L	12	0,11	1,32	
Cambio de T°	10,5	N/A	°C	41	0,11	4,51	
Fosfatos	0,0065	0,5	mgPO ₄ /L	97	0,11	10,67	
Nitratos	0,95425	10	mg NO ₃ /L	91	0,11	10,01	
Turbidez	1,3	2	NTU	95	0,09	8,55	
VALOR DEL ICA						Σ	60,17

Fuente: Autores

El índice de calidad del agua (WQI) en el punto 1 de muestreo arrojó valores de 60,17, por lo que se establece una calidad Media entre 51-70, representada por el color amarillo.

Punto 2.

En el punto de muestreo número dos, el índice de calidad del agua (WQI) dio como resultado 59,78 Tabla N° 14, dicho valor clasifica el agua de la quebrada en ese punto en calidad media. Los parámetros turbidez y coliformes fecales sobre pasan los límites establecidos en la resolución 2115 de 2007, no obstante los parámetros pH, fosfatos y nitratos cumplen con la norma, si el agua fuera destinada para consumo humano.

Tabla N° 14: Calculo del WQI para el punto número dos.

PARAMETRO	VALOR	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (RES. 2115/2007)	UNIDADES	VALOR-Q (SI)	PESO PONDERADO (w)	TOTAL
Oxígeno Disuelto	30,8	N/A	% saturación	21	0,18	3,78
Coliformes Fecales	27	0	UFC/100 cm ³	59	0,16	9,44
pH	7,176	6,5-9,0	unidades de pH	90	0,13	11,7
DBO 5	17	N/A	mg/L	19	0,11	2,09
Cambio de T°	9	N/A	°C	43	0,11	4,73
Fosfatos	0,01314	0,5	mgPO ₄ /L	96	0,11	10,56
Nitratos	0,74464	10	mg NO ₃ /L	91	0,11	10,01
Turbidez	5,8	2	NTU	83	0,09	7,47
VALOR DEL ICA					Σ	59,78

Fuente: Autores

Punto 3.

Los valores de turbidez y coliformes fecales sobrepasan los límites establecidos en la resolución 2115 de 2007, no obstante los parámetros pH, fosfatos y nitratos cumplen con la norma. El WQI en este punto clasifica el agua en la calidad media con un valor de 53,59, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 15: Calculo del WQI en el punto número tres de la quebrada Acuata.

PARAMETRO	VALOR	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (RES. 2115/2007)	UNIDADES	VALOR-Q (SI)	PESO PONDERADO (w)	TOTAL
Oxígeno Disuelto	15,8	N/A	% saturación	7	0,18	1,26
Coliformes Fecales	51	0	UFC/100 cm3	51	0,16	8,16
pH	7,337	6,5-9,0	unidades de pH	90	0,13	11,7
DBO 5	16	N/A	mg/L	19	0,11	2,09
Cambio de T°	9,5	N/A	°C	44	0,11	4,84
Fosfatos	0,00166	0,5	mgPO4/L	96	0,11	10,56
Nitratos	0,18566	10	mg NO3/L	92	0,11	10,12
Turbidez	29	2	NTU	54	0,09	4,86
VALOR DEL ICA					∑	53,59

Fuente: Autores

En el proyecto desarrollado en un tramo de quebrada de la Acuata el índice de calidad del agua fluctuó entre 60,7 para el punto uno, 59,78 para el punto dos y 53,59 en el punto tres de la quebrada (Grafica 18). De forma general el tramo de estudio tuvo una calidad del agua media o regular representada por el color amarillo.



Gráfica N° 18: Fluctuación del WQI en la quebrada Acuata.

Fuente: Autores

Dinius (1987) establece que la calidad media del agua tiene medidas o recomendaciones según el uso al cual se vaya a destinar. Por ejemplo para consumo humano el agua necesita obligatoriamente un tratamiento potabilizador; para su uso en agricultura se permite el riego en la mayoría de cultivos; para uso recreativo es viable su contacto primario sin embargo se debe tener precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

INDICE BMWP.

Las familias colectadas en los puntos de muestreo definieron la calidad del agua para la zona de interés.

Punto de muestreo 1.

La tabla N° 16 muestra los puntajes para cada familia encontrada en este lugar y el puntaje total BMWP/Col, indicando así la calidad del agua obtenida de la comparación con la tabla de clases de calidad de agua presentada por Roldan (2003). Este punto presenta un puntaje total del BMWP/Col de 38 y un puntaje promedio por taxón (ASPT) de 5,42 de acuerdo a esto la calidad del agua corresponde a la Clase III, calidad Dudosa (Aguas moderadamente contaminadas) representado por el color amarillo. En total se encontraron 7 familias.

Tabla N° 16: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 1

TAXON	PUNTUACION BMWP
Chironomidae	2
Coenagrionidae	7
Libellulidae	5
Caenidae	7
Leptohyphidae	7
Tipulidae	3
Baetidae	7
Puntaje Total	$\Sigma = 38$
ASPT	5,42

Fuente: Autor.

Punto de muestreo 2.

En este punto se obtuvo un valor de BMWP/Col de 32, indicando una calidad del agua de clase IV, Calidad Crítica (Aguas muy contaminadas), representada por el color naranja. Allí se registraron en total 7 familias y un ASPT de 4,57. Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 2.

TAXON	PUNTUACION BMWP
Chironomidae	2
Hydrophilidae	3
Coenagrionidae	7
Leptohyphidae	7
Hydraenidae	4
Libellulidae	6
Tipulidae	3
Puntaje Total	$\Sigma = 32$
ASPT	4,57

Fuente: Autores

Punto de muestreo 3.

Un total de 6 familias colectadas en este punto definieron la calidad del agua en clase IV, Calidad Crítica (aguas muy contaminadas), debido a que el valor del índice BMWP/Col fue de 20. El puntaje promedio por taxón (ASPT) es de 4.

Tabla N° 18: Resultados del índice BMWP/Col para el punto de muestreo 2.

TAXON	PUNTUACION BMWP
Chironomidae	2
Stratiomyidae	4
Hydrophilidae	3
Physidae	3
Hydrobiidae	8
Puntaje Total	$\Sigma = 20$
ASPT	4

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla N° 19 en la zona de interés de la quebrada Acuata, el punto de muestreo número uno fue el que mejor calidad de agua presento, con una calidad del agua Dudosa; mientras que en los punto 2 y 3 los valores del BMWP/Col arrojaron una calidad Crítica. Estos resultados son concordantes si se tiene en cuenta que en los punto 2 y 3 la intervención humana es elevada y la presencia de macroinvertebrados muy sensibles a la contaminación (por ejemplo las familias Ptilodactylidae, Hidridae, Leptophlebiida, entre otras) es nula; por el contrario la presencia de taxas tolerantes a la contaminación es elevada.

Aunque se esperaba que en el punto de muestreo número uno la calidad del agua fuera mucho mejor, se puede asociar una calidad del agua Dudosa con posibles intervenciones humanas en tramos anteriores a la zona de interés.

Tabla N° 19: Resultados del Índice BMWP en la zona de interés de la Quebrada Acuata.

Punto de muestreo	BMWP/Col	Calidad de agua	Características	Color
P1	38	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
P2	32	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja
P3	20	Critica	Aguas muy contaminadas	Naranja

Fuente: Autores

7. CONCLUSIONES

Las actividades recreativas desarrolladas en la zona tienen influencia en la calidad del agua, debido a la descarga de vertimientos de aguas grises al cauce de la quebrada.

Las características físico químicas determinadas en el punto 1 señalan como es la calidad del agua de la quebrada Acuata sin intervención antrópica y las de los puntos 2 y 3 indican como varían estas condiciones al ser intervenida por la actividad del hombre.

La correlación de los datos obtenidos en los punto 1 y 2 es positiva, representando que las variables físico-químicas en estos puntos son cercanas o similares.

Las características propias de la quebrada como su poca profundidad y su velocidad lenta influyen en la calidad del agua puesto que se presenta estancamiento y poca oxigenación; lo cual impide la disolución de algunas sustancias e impurezas que generan proliferación de microorganismos y cianobacterias indicando que el agua no es de buena calidad.

Debido al uso que se le da a este recurso en el punto de análisis número 2, se determinó que el agua de la quebrada Acuata es apta para uso recreativo de contacto primario y que no genera ningún riesgo a la salud del ser humano.

El índice BMWP/Col confirma y deja ver el aumento del grado de contaminación en la quebrada Acuata, debido a la influencia de la intervención humana, pasando de una calidad de agua Dudosa a una Crítica. Sin embargo el índice WQI no permite observar claramente la influencia de la actividad humana que se desarrolla en el tramo de interés, pues refleja una calidad del agua media en los tres puntos de muestreo, esto puede deberse a que el WQI caracteriza en forma general la calidad de las aguas, de tal forma que los parámetros fisicoquímicos o biológicos que indican alto grado de contaminación pueden ser enmascarados por otros que sugieren contaminación mínima.

9. RECOMENDACIONES

Realizar varios periodos de muestreos en el área de interés de esta investigación y aumentar el número de muestras para así realizar un análisis más exacto de los datos. Además ampliar las distancias entre cada punto de muestreo; pasar de 200 metros a 1000 metros probablemente esto influiría en cuanto a un análisis más representativo de la cuenca Acuata.

Es necesario analizar los mismos parámetros fisicoquímicos medidos en esta investigación en diferentes temporadas climáticas para poder establecer un punto de comparación más exacto.

Se debe fomentar la conservación del recurso hídrico en la zona con el fin de mitigar los impactos que generan las actividades de recreación del hombre en la zona. Es decir implementar técnicas ecológicas con el fin de mitigar el impacto que generan los vertimientos de las aguas grises al cauce de la quebrada.

En futuros trabajos se deberían establecer los índices de contaminación (ICO) los cuales hacen referencia al mecanismo de contaminación que sufren las fuentes hídricas superficiales, cosa que no determina el WQI.

10. BIBLIOGRAFÍA

Albert, Lilia A. (2002). Cuso básico de Toxicología Ambiental. Editorial, Limusa. Cap 17. Pag. 279-296.

Almudena Antón, J. I. (2001). *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas*. Madrid: Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria

Banus, M. (2010). H2O Elixir de vida. *Elementalwatsonlarevista*, [online] (01), pp.04-08. Available at: <http://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf> [Accessed 1 Jul. 2016].

Barrenechea, A., M. (2010). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Cap. 2. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/uno.pdf>

Blanco - Belmonte, L. (1990). Estudio de las comunidades de invertebrados asociados a las macrofitas acuáticas de tres lagunas de inundación de la sección baja del río Orinoco, Venezuela.

Calderón Saenz, Felipe. 2001. Interpretación de Análisis de Agua: Parámetros Ambientales. [en línea]. [Octubre 15 de 2002, 07-20'40"]. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Métodos/Análisis_D

Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA. (2000). Parámetros Físicoquímicos y Bacteriológicos del Agua. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/e01.pdf

Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA. (2012) Fichas Efemerópteros. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/apendices/invertebrados/fichas_efemeropteros.pdf

Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA. (2012) Fichas Macroinvertebrados Acuáticos. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/e12.pdf

Corporación Autónoma Regional del Tolima, CORTOLIMA. (2011). Calidad de aguas. Factores fisicoquímicos de los ecosistemas. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/l211.pdf

Cano Rodríguez, C. A., Palacios Lucio, J. P., & ALCIVAR PINARGOTE, S. S. (2013). DESARROLLO DE BIOFILTRO CON SOPORTE DE PLÁSTICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA ESPAMMFL (Doctoral dissertation).

Claudia Seeligmann, B. C. (2001). ALGAS FITOPLANCTÓNICAS EN LA EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DE SISTEMAS LÓTICOS EN EL NOERESTE ARGENTINO. *Asociación Española de Limnología, Madrid, Spain*, 123-133.

Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina, 656.

Dinius, S. (1987). Design of An Index Of wáter Quality. *Water Res.* Pag. 883-843.

Fillat, M. B. (1998). *Isolation and overexpression in Escherichia coli of the flavodoxin gene from Anabaena* .

Florez, A. H. (2008). *Cyanobacteria molecular biology, genomics and evolution*. Caister Academic Press.

Froni. (1999). *Procesos Microbianos*. Argentina: Fundacion Universitaria Nacional de Argentina.

Gutiérrez, J. D., Riss, W., & Ospina, R. (2004). Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia*, 26(1), 151.

Geitler, L. 1932. Cyanophyceae, in: Rabenhorst's Kryptopagamen-flora, Vol. 14. Akademisches Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1196 pp.

Hanneman, R. (2001). Introducción a los métodos del análisis de redes sociales.

Herrera Enciso, F. Esquema de ordenamiento territorial municipal. Documento técnico de soporte. (2001). Recuperado de: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema_de_ordenamiento_territorial_tocaima_cundinamarca_2001_2003_diagnostico_total_\(252_p%C3%A1g_1,194_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema_de_ordenamiento_territorial_tocaima_cundinamarca_2001_2003_diagnostico_total_(252_p%C3%A1g_1,194_kb).pdf).

Hori, K. I. (2002). *Behavior of filamentous cyanobacterium Anabaena spp. in water column and its cellular characteristics*.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2007). Determinación de sulfatos por el método nefelométrico. Versión 3. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sulfato+en+agua+por+Nefelometr%C3%ADa.pdf/f65867a2-079f-420c-9067-b1c4c3139e89>

- IDEAM, Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C., 2015. 496 páginas.
- Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas. (2010). Parámetros y características de las aguas naturales. Recuperado de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
- Knoll, A. H. (2002). *Paleobiología*. Mexico D. F.
- Leon, L. d. (2002). Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: Causas y Consecuencias. En *Perfil Ambiental del Uruguay 2002* (págs. 28 - 37). Montevideo: Nordan-Comunidad.
- Martínez, G., Alvarado, J., & Sénior, W. (Enero de 2001). Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río manzanares. Vol. 26 N°8
- M Gómez, B. G. (2011). Análisis de las concentraciones de azufre en agua, alimento y gas sulfúrico ruminal de rebaños bovinos de carne de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile.
- Martínez-Romero E., M.-S. M.-G. (2002). Determinación de toxinas biológicas en una fuente de abastecimiento de agua dulce. *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Cancún, México.
- Nación, M. d. (2011). *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Buenos Aires - Argentina: Ministerio de salud de la Nación.
- Narcís Prat, B. R. (2014). LOS MACROINVETEBRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS. BARCELONA.
- Ojeda, E. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia. Sector: Recursos Hídricos. Santafé de Bogotá, p.<http://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inco00200.pdf>.
- OMS, 2003: Ammonia in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud.
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R. & Rieradevall, M., (2009). Los Macroinvertebrados como Indicadores de Calidad de las Aguas. Macroinvertebrados de sudamerica. Argentina.
- Petra Pütz, (2010). ANALÍTICA DE LABORATORIOS Y SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO NUTRIENTES, FOSFATOS. Laboratorios HACH LANGE.
- Pérez, D. S. (2008). Cianobacterias y cianotoxinas: Rol de las microcistinas. *Analecta Veterinaria*, 48 - 56.

Pérez, G. R. (2002). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá.

Pizzolon, L. (1996). *importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales*.

Rada, F. F. (2005). INDICADORES FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PROCESO DE EUTROFIZACIÓN DEL LAGO TITIKAKA (BOLIVIA). *Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina*, 135-141.

Ramirez R., (2003). Colombia Potencia Hidrica. Primera versión.

Riss, W., Gutiérrez, J. D., & Ospina, R. (2004). Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldas*, 26(1), 151.

RIVERA GONZÁLEZ, M., & GÓMEZ GÓMEZ, L. (2010). Identificación de cianobacterias potencialmente productoras de cianotoxinas en la curva de salguero del río Cesar. *Luna Azul*, (31), 17-25

Rocha Castro E., (2011). Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas. Parámetros y características de las aguas naturales. Cap. 1, Pag 1-22.

Rojas, J. A. (2002). Calidad del Agua. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Roldán, G. (1998). ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. 331-370. Medellín, Colombia.

Roldán, G. (1999). LOS MACROINVERTEBRADOS Y SU VALOR COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA. *Revista Académica. Colombia. Ciencia.: VOL, XXIII, NUMERO 88-SEPTIEMBRE DE 1999*, 375-387.

ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad del Antioquia, 2003..

Roldan Perez, G. (2012). Los Macroinvertebrados como Bioindicadores de la Calidad del Agua. Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca, CAR. Bogota

ROMERO ROJAS, (1996) J. A. Acuquímica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

S., A. (2011). *Potencialidades de las cianobacterias plantónicas como bioindicadores de estrés ambiental en ecosistemas costeros*. Habana, Cuba.

Sánchez, I. S. (2011). Las cianobacterias: Cooperación versus competencia. ZARAGOZA.

Silvia Bonilla, L. A. (2013). cianobacterias y cianotoxinas. URUGUAY.

Sprent J. y Sprent P., 1. (2008). *Nitrogen-fixing Leguminous Symbioses*. springer.

Ubers, J. (2012). Paleobotánica: un registro del origen de la vida en nuestro planeta.

Universidad de Pamplona, (2008). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua de Importancia Mundial. Cap.3, Recuperado de: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Vladimir Dobal Amador, S. L. (2011). *Potencialidades de las cianobacterias planctónicas como bioindicadores de estrés ambiental en ecosistemas costeros*. HABANA, CUBA: Serie Oceanológica. No. 9, 2011 (Número Especial)

Yimmy Montoya Moreno, N. A. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 91-117.