

**CONTRIBUCIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS
EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA - CUNDINAMARCA**

LUZ MARITZA SIERRA FANDIÑO

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTA
2015**

**CONTRIBUCIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS
EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA – CUNDINAMARCA**

LUZ MARITZA SIERRA FANDIÑO

Proyecto para optar por el título de Master en desarrollo sostenible y medio ambiente

Director: NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. PhD.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTA
2015**

DEDICATORIA

A mí amado hijo David Andrés

Por ser mi compañero y la motivación constante en mi vida

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su colaboración permitieron que este proyecto se realizara. En general a todos los maestros que día tras día compartieron sus conocimientos para el desarrollo de este proyecto. Especialmente al Doctor Nelson Rodríguez Valencia por su acompañamiento y orientación como asesor en la construcción de este trabajo. A los Doctores Diego Hernández, Oscar Gómez y al Licenciado Francisco Medellín por sus oportunas sugerencias y observaciones.

También quiero extender mi agradecimiento A la ingeniera Laura Quintero, a los licenciados Jeisson Steven López y Mary Lorena Moyano, Jorge Piraban por sus aportes al desarrollo de este trabajo, por la compañía y colaboración en la fase de campo y laboratorio.

...A mi familia porque las mejores lecciones de vida quiero aprenderlas, compartirlas y seguirlas viviendo a su lado...

De manera muy especial a la Licenciada Ligia Marlene Forero que me ha apoyado y me brindó su consejo oportuno.

Finalmente, directivos, personal administrativo y docentes de la Universidad de Manizales en la Facultad de Ciencias Contables, Económicas Y Administrativas en especial al equipo de la Maestría en Desarrollo Sostenible Y Medio Ambiente

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito contribuir al diagnóstico de la calidad del agua en la quebrada las Brujas en el Municipio de La Vega - Cundinamarca, con el fin de determinar si era apta para los diferentes usos que de ella hacen los usuarios de la cuenca y generar estrategias que permitan mantener o mejorar la calidad del agua, de forma que pueda ser utilizada por los usuarios de la cuenca sin deterioro de sus actividades residenciales y productivas.

Se utilizaron 2 índices para determinar la calidad del agua: ICA-NSF y BMWP-Col, y el muestreo de las aguas se realizó utilizando la metodología del IDEAM. Para el cálculo del índice de calidad físico-química, ICA-NSF, se midieron 9 parámetros (DQO, Oxígeno disuelto, Temperatura, Sólidos Totales, Turbiedad, Fosfatos, Nitratos, pH y coliformes fecales) y para el cálculo del índice de calidad biológica, BMWP-Col, se recolectaron e identificaron taxones de macroinvertebrados.

Según los resultados encontrados con los índices, el agua en la Quebrada Las Brujas, en la mayoría de los muestreos, estuvo levemente contaminada y se puede utilizar en riego agrícola para la mayoría de cultivos, requiriendo de potabilización para su uso destinado al consumo humano y tiene restricciones para ser utilizada con fines recreativos.

Se encontraron relaciones cercanas entre los resultados de los 2 índices (ICA-NSF y BMWP-Col), aunque la categorización y los rangos de calidad fueron diferentes, se observaron similitudes entre las características de calidad del agua que éstos presentan. El cuerpo de agua del estudio se utiliza para actividades pecuarias y agrícolas, verificándose, de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio, que es apta para los usos que actualmente realizan los usuarios de la cuenca. Se recomienda que la comunidad conserven y adopten actividades que propendan por el cuidado del agua con el fin de que la puedan seguir utilizando para sus actividades productivas.

Palabras clave: Recurso hídrico, Calidad de agua, Índices de calidad del agua, NSF, BMWP-Col, Macroinvertebrados.

SUMMARY

This research was aimed to contribute to the diagnosis of water quality in the Basin Witches in the Municipality of La Vega - Cundinamarca, in order to determine whether it was suitable for the different uses made of it by users of the basin and generate strategies to maintain or improve water quality so that it can be used by users of the basin without deterioration of residential and productive activities.

Two indexes were used to determine water quality: ICA-NSF and BMWP-Col, and water sampling was conducted using the methodology of IDEAM. To calculate the index of physical-chemical, ICA-NSF, nine parameters (COD, dissolved oxygen, temperature, total solids, turbidity, phosphates, nitrates, pH and fecal coliform) were measured and calculating the biological quality index , BMWP-Col, were collected and identified taxa of macroinvertebrates.

According to the results found with the indexes, the water in the basin Witches, in most samples, was slightly contaminated and can be used in agricultural irrigation for most crops, requiring purification for its intended use for human consumption It has restrictions for use for recreational purposes.

Close relations between the results of the two indexes (ICA-NSF and BMWP-Col) were found, although the categorization and quality ranges were different, there are similarities between the characteristics of water quality they present. The body of water is used to study livestock and agricultural activities, verifying, according to the results of the study, which is suitable for applications that currently make users of the basin. It is recommended that the community keep the water care activities so that they can continue using their productive activities.

Keywords: Water resources, Water quality, Water quality indexes, NSF, BMWP-Col, Macroinvertebrates.

CONTENIDO

GLOSARIO	xv
ABREVIATURAS	xviii
INTRODUCCIÓN	21
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	23
1. JUSTIFICACIÓN.....	24
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	26
3.1. OBJETIVO GENERAL	26
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. ANTECEDENTES	27
4.1. BIOINDICACIÓN	27
4.2. SISTEMAS LÓTICOS.....	28
4.3. SISTEMAS LÉNTICOS.....	31
4.4. MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO.....	32
4.5. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA.....	34
5. MARCO LEGAL	37
6. MARCO REFERENCIAL	41
6.1. DINÁMICA FLUVIAL.....	41
6.2. CALIDAD DE AGUA	41
6.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	42
6.4. ÍNDICES FÍSICOQUÍMICOS.....	44
6.4.1. OXÍGENO DISUELTO.....	44
6.4.2. pH.....	45
6.4.3. CONDUCTIVIDAD	46
6.4.4. TEMPERATURA	46
6.4.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	47

6.4.6. FÓSFORO	47
6.4.7. NITRATOS	47
6.4.8. TURBIEDAD.....	48
6.4.9. SÓLIDOS TOTALES	48
6.4.10 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO.....	48
6.5. MICROBIOLÓGICOS.....	49
6.6. ÍNDICES BIÓTICOS	50
6.6.1. ÍNDICE EPT (Efemerópteros, Plecópteros o Tricópteros).....	50
6.6.2. ÍNDICE BMWP – Col (Biological Monitoring Working Party).....	51
6.7. MACROINVERTEBRADOS	53
7. METODOLOGÍA.....	56
7.1. PRIMERA FASE- PROPUESTA.....	56
7.2. SEGUNDA FASE- DESARROLLO.....	56
7.3. TERCERA FASE- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
7.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	59
7.5. DESCRIPCIÓN MICROCUENCA	59
7.6. USO DEL SUELO.....	61
7.7. ACUEDUCTOS VEREDALES	62
7.8 SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO	63
7.9. METODOLOGÍA DE LOS MUESTREOS.....	64
7.10. METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AGUAS SUPERFICIALES	65
7.10.1. EQUIPOS Y MATERIALES	66
7.10.2. DETERMINACIÓN DE CAUDAL.....	67
7.10.3. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA IN SITU	70
7.10.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	70
7.10.5. PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO	71
7.11. PROTOCOLO TOMA DE MUESTRA DE MACROINVERTEBRADOS POR METODOLOGÍA MANUAL	72
7.11.1. EQUIPOS Y MATERIALES	73
7.11.2. SELECCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO	73

7.11.2.1	CORÍOTOPOS QUE SE BUSCA ENCONTRAR EN CADA ESTACIÓN DE MUESTREO	74
7.11.2.2.	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS.....	76
7.12.	PROCEDIMIENTO EN LABORATORIO.....	77
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	78
8.1.	PARAMETROS QUÍMICOS	78
8.2.	PARAMETROS FISICOS	84
8.3.	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	88
8.4.	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA OBTENIDA EN LOS MUESTREOS	90
8.5.	MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS	95
7.12	DATOS DE PRECIPITACIÓN	101
9.	CONCLUSIONES.	105
10.	RECOMENDACIONES.....	107
11.	ANEXOS	108
	Anexo A. Certificación de presencia o no de comunidades étnicas en zonas de proyecto	108
	Anexo B. Permiso otorgado por la CAR- Cundinamarca para realizar la colecta de especímenes	111
	Anexo C. Registro de precipitaciones en el municipio de La Vega- Cundinamarca	112
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	113

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. RIO COMO ECOSISTEMA COMPLEJO. Adaptado de Morisawa (1985) citado de Sabater y Elozegi(2009).....	29
Figura 2. Zona de un ecosistema acuático lentic. Adoptado de la CAR (2012).....	32
Figura 3. NORMATIVA GENERAL Y RELEVANTE ACERCA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DE MEDIO AMBIENTE.....	37
Figura 4. PROCESO DE ACTIVIDADES QUE SE REALIZARON EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	57
Figura 5. PROCESO DE ANÁLISIS UNA VEZ SE TENGAN LOS DATOS DEL ESTUDIO.....	58
Figura 6. MAPA HIDROLÓGICO DE LA VEGA – CUNDINAMARCA. Adoptado de http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/index.shtml#3	60
Figura 7. GRÁFICA DEL USO DEL SUELO MUNICIPIO DE LA VEGA- CUNDINAMARCA.....	61
Figura 8. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL ÁREA PARA TOMAR EL CAUDAL.....	68
Figura 9. ESQUEMA REPRESENTATIVO INDICA LAS PROFUNDIDADES DEL CUERPO DE AGUA.....	69
Figura 10. ESQUEMA DE LA ETIQUETA PARA IDENTIFICAR LOS MACROINVERTEBRADOS.....	78
Figura 11. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO(ppm).....	78
Figura 12. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE OXÍGENO DISUELTOS (%).....	79
Figura 13. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE OXÍGENO DISUELTOS (mg/L).....	80
Figura 14. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE NITRATOS (mg/L NO ₃).....	81
Figura 15. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE FOSFATOS (mg/L PO ₄).....	82
Figura 16. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE pH.....	83

Figura 17. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA DESCARGA (m ³ /s).....	84
Figura 18. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA TURBIEDAD (NTU).....	85
Figura 19. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS SÓLIDOS TOTALES (ppm).....	86
Figura 20. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA CONDUCTIVIDAD (μS/cm).....	87
Figura 21. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA TEMPERATURA (°C).....	87
Figura 22. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS COLIFORMES TOTALES (UFC/100mL).....	88
Figura 23. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS COLIFORMES FECALES (UFC/100mL).....	89
Figura 24. ESQUEMA DE CRITERIOS GENERALES DE USO DE AGUA SEGÚN ICA.....	89
Figura 25. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 1.....	95
Figura 26. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 2.....	95
Figura 27. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 3.....	98
Figura 28. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 4.....	98
Figura 29. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LA PRECIPITACIÓN REGISTRADA EN LA ESTACIÓN LA ESTANCIA – MUNICIPIO LA VEGA CUNDINAMARCA.....	101

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	CATEGORIZACIÓN DEL INDICE ICA SEGÚN LOS PUNTAJES OBTENIDOS.....	36
Tabla 2.	NORMATIVA RELEVANTE RESPECTO AL CUIDADO DE LOS RECURSOS NATURALES, ESPECIALMENTE DEL AGUA	38 - 40
Tabla 3.	ÍNDICES BMWP/COL DE ACUERDO A LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS MACROINVERTEBRADOS.....	52
Tabla 4.	CLASES DE CALIDAD DE AGUA, VALORES BMWP/Col, SIGNIFICADO Y COLORES PARA REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS	53
Tabla 5.	DIFICULTADES Y BENEFICIOS DEL USO DE BIOINDICADORES.....	55
Tabla 6.	CRITERIOS DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA adoptado del protocolo de aguas superficiales del IDEAM.....	71
Tabla 7.	RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS	77
Tabla 8.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA.....	90
Tabla 9.	CATEGORIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN INDICE ICA.....	91
Tabla 10.	RESULTADOS OBTENIDOS DEL INDICE BMWP- Col y la categorización correspondiente.....	93
Tabla 11.	LISTADO DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 1 Y 2.....	95
Tabla 12.	LISTADO DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 3 Y 4.....	98
Tabla 13.	RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	100

LISTADO DE FOTOS

Foto 1. Microcuenca Las Brujas, Municipio La Vega – Cundinamarca, temporada de lluvias.....	41
Foto 2. Psephenidae, macroinvertebrado colectado en el primer muestreo estación 1.....	53
Foto 3. Deslizamiento del terreno cercano al nacimiento de la microcuenca.....	59
Foto 4. Nacimiento Quebrada las Brujas.....	60
Foto 5. Primera estación de muestreo.....	60
Foto 6. Segunda estación de muestreo.....	60
Foto 7. Planta de café, cultivo característico del área de estudio.....	62
Foto 8. Mangueras que distribuyen agua en las veredas aledañas al área de estudio.....	62
Foto 9. Nacimiento de la Quebrada Las Brujas, intervención fuerte.....	63
Foto 10. Estación de Muestreo 1, obsérvese el área adecuada para medir caudal.....	64
Foto 11. Estación de muestreo 2. Allí se observaron basuras arrojadas al cuerpo de agua...65	
Foto 12. Medición del ancho para determinar el caudal, estación de muestreo 2.....	67
Foto 13. PH metro usado en campo.....	70
Foto 14. Ajuste de pH para el envío de las muestras con H ₂ SO ₄ concentrado.....	70
Foto 15. Abundante caída de hojas, sobre la quebrada, ideal para tomar muestra de hojarasca.....	74
Foto 16. Colecta de macroinvertebrados en campo.....	75
Foto 17. Musgo sobre piedra.....	75
Foto 18. Clasificación inicial de macroinvertebrados en campo.....	76
Foto 19. Estación 1 de muestreo, intervención construcción vía, esta foto fue tomada en abril, se evidencia el aumento de caudal en este punto.....	82
Foto 20. Huellas de vehículos del paso que hay sobre la quebrada en la estación uno.....	85

Foto 21. <i>Leptoplebiidae thraulodes</i> macroinvertebrado colectado en el muestreo 1.....	96
Foto 22. <i>Libellulidae micrathyria</i> macroinvertebrado colectado en el muestreo 2.....	97
Foto 23. <i>Gyrinidae gyretes</i> macroinvertebrado colectado en el muestreo 3.....	99
Foto 24. <i>Megapodagrioidae megapodagrion</i> macroinvertebrado colectado en el muestreo 4.....	100
Foto 25. Pez visto en el muestreo 4, estación 2, el organismo fue devuelto a su hábitat...	101

GLOSARIO

ALÓCTONA: Hace referencia a que no es originario del lugar.

ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS: Son análisis en los que se identifica la presencia de bacterias y/o microorganismos en el agua, los cuales ayudan a establecer la calidad del recurso y sus posibles usos.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS: Son análisis en los que se mide la presencia de sustancias orgánicas, minerales y compuestos tóxicos en el agua, los cuales ayudan a establecer la calidad del recurso y sus posibles usos.

AUTÓCTONA: Hace referencia a que es natural o procedente del lugar.

BENTOS: organismos que habitan el fondo enterrados en el sustrato; adheridos a rocas, piedras y restos de vegetación.

BIODIVERSIDAD: Hace referencia a la diversidad de seres vivos presentes en determinado lugar.

BIOINDICACIÓN: Es una técnica de evaluación ambiental que a lo largo de los años se ha venido consolidando como método para la detección y control de la toxicidad en un determinado ecosistema.

CAUDAL: es la cantidad de agua que pasa a través de una sección del canal por unidad de tiempo.

CORIOTOPO: Habitats o ambientes presentes en el curso de un ecosistema acuático.

CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL: Hace referencia a las aguas que se encuentran al nivel del suelo, las cuales se producen por escorrentía, generadas por lluvia o el afloramiento de aguas subterráneas, entre estas se pueden nombrar, ríos, quebradas, embalses, humedales estuarios.

ESTADO ECOLÓGICO: Este concepto es introducido por el texto normativo de la Directiva Marco del agua (en Europa), convirtiéndose en un elemento clave que refiere la estructura

y funcionamiento de los ecosistemas, arrojando una visión del estado de salud del sistema acuático.

ESTENÓICA: Especies que tienen exigencias muy rigurosas y una tolerancia muy pequeña para uno o varios factores que tienen que ver con el crecimiento de estas especies.

HUELLA HÍDRICA: Es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o comercio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad así como los producidos por el comercio.

ÍNDICE BMWP-COL: Es la adaptación del índice BMWP (Biological Monitoring Working Party score) para Colombia, se fundamenta la identificación y categorización de las familias de los macroinvertebrados colectados del área de estudio, el puntaje asignado a cada familia depende de la susceptibilidad a los cambios del entorno en el que se encuentran, siendo de mayor valor cuando en el entorno hay condiciones óptimas para su mantenimiento esta valiosa herramienta de investigación fue desarrollada por Roldán en Colombia.

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS: Se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista; es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0,5 mm de longitud. Estos organismos viven en el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie.

MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO: se refiere a la coordinación del desarrollo y la administración del agua, de la tierra y otros recursos relacionados, maximizando el bienestar económico y social sin comprometer la sustentabilidad de los sistemas medioambientales vitales (Asociación Mundial del Agua, 2000)

MICROCUENCA: Es el agua que discurre por las montañas, concentrándose en un cauce en el que se interrelacionan plantas, animales y comunidades, son cuerpos de agua superficiales.

NECTON: macroinvertebrados que nadan activamente dentro del agua.

NEUSTON: organismos que se desplazan sobre la superficie del agua.

RECURSO HÍDRICO: Hace parte de los recursos naturales, es esencial para la vida, por esta razón es responsabilidad de todos el cuidado de las fuentes.

RECURSO MULTIDIMENSIONAL: Hace referencia a lo que se conoce como la gestión integrada del agua, multiplicando esfuerzos en la constitución de un modelo colaborativo intersectorial con los diferentes actores de las cuencas, desarrollando sinergias con los entes gubernamentales y territoriales, el sector productivo, la comunidad y la academia logrando propiciar un ambiente para la generación de alternativas de carácter interdisciplinar consensuadas y viables hacia la construcción de una cultura sostenible del agua y del patrimonio natural y social que fortalezca las instituciones y proponga a las comunidades mejores prácticas de gestión, ordenación y administración de las fuentes de agua. Mesa, F. & Garcia, P. (2013).

RECURSO MULTIFUNCIONAL: Hace referencia a las diversas funciones y destinos que tiene el agua, tales como el riego, la alimentación, el aseo, entre otros.

RELACIONES SOCIOAMBIENTALES: Los problemas medioambientales han sido un campo de estudio clave a partir del cual los antropólogos han analizado las diversas representaciones en torno a la naturaleza y las cambiantes relaciones entre los seres humanos y el medio.

ABREVIATURAS

BMWP - Col: Biological Monitoring Working Party para Colombia

CAR: Corporación Autónoma Regional

CENICAFE: Centro Nacional de Investigaciones del Café

D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

ISA: Índice de Sostenibilidad de Abastecimiento

IWRM: Manejo Integrado de Recursos Hídrico

M.O.: Materia Orgánica

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MAVDT: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

O.D.: Oxígeno Disuelto

SINA: Sistema Nacional Ambiental

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

UPN: Universidad Pedagógica Nacional

INTRODUCCIÓN

El Desarrollo sostenible involucra aspectos económicos, ambientales y sociales que se relacionan de forma permanente en las actividades realizadas por el hombre. En la actualidad hay una creciente demanda por el recurso hídrico, lo cual ha generado un deterioro progresivo, debido a la constante contaminación arrojada en los cuerpos de agua; con este panorama, algunos sectores han tratado de realizar estudios que posibiliten la identificación de las afectaciones que las microcuencas tienen, para luego generar programas de recuperación en los que se involucre la comunidad que se sirve del recurso, de tal manera que se suscite compromiso social, y responsabilidad en el uso racional de los recursos naturales y en especial el recurso hídrico, el cual resulta ser fundamental para la vida humana.

Las fuentes hídricas son sistemas en el que cohabitan plantas, animales, y microorganismos, estas comunidades se afectan por factores que determinan la calidad de agua. El presente trabajo identifica la relación de parámetros fisicoquímicos, tales como D.Q.O. (Demanda Química de Oxígeno), O.D. (oxígeno disuelto), sólidos totales, fósforo, nitratos, turbiedad, microbiológicos y los macroinvertebrados, presentes en la Quebrada Las Brujas, del municipio de la Vega- Cundinamarca, lo cual contribuye al diagnóstico de la calidad de agua de la microcuenca.

Las etapas de estudio se dividieron en fases, así: Primera fase – Propuesta. Consistió en el planteamiento y elaboración de la propuesta de investigación, revisión bibliográfica, el reconocimiento y definición del área; además de la identificación de posibles entidades que apoyaran el desarrollo del proyecto, esclarecimiento de parámetros a monitorear, definición de protocolos de muestreo. Segunda fase - Desarrollo. Localización de las estaciones de muestreo, gestión para los permisos con las entidades correspondientes, toma de muestra, análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras de agua; determinación de la calidad de agua de la Quebrada Las Brujas. Tercera fase – Análisis de resultados y discusión. Se parametrizan los resultados obtenidos en las diferentes áreas de

estudio abordadas y que constituyen el proyecto, elaboración del documento final y de acuerdo a los resultados se elaboran las recomendaciones, entrega de material biológico a entidades competentes.

Este proyecto se desarrolló con el apoyo de varias instituciones; entre estas, CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones del Café), institución que con los profesionales y expertos brindó orientación y apoyo en los análisis de los parámetros fisicoquímicos, de las muestras de agua; a su vez, la UPN (Universidad Pedagógica Nacional) facilitó los equipos para la clasificación de los macroinvertebrados colectados, además de la orientación, que profesionales brindaron en la clasificación de los macroinvertebrados acuáticos colectados. Finalmente, la Universidad de Manizales con el equipo de profesores expertos que orientaron el proceso y desarrollo de la investigación.

El documento consta de una introducción a la temática de bioindicadores y la importancia que esta metodología ha ido conquistando, dado que es una alternativa que permite relacionar los efectos fisicoquímicos y los macroinvertebrados presentes en el cuerpo de agua, realizando una descripción general de la microcuenca Las Brujas, del municipio de La Vega- Cundinamarca, indicando las metodologías utilizadas, los resultados obtenidos y el análisis del estudio propuesto.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

El manejo integrado de los recursos hídricos según (FOCUS, 2003) es un proceso que promueve el desarrollo y la disposición coordinada del agua y los recursos relacionados con estos patrimonios, maximizando el bienestar económico y social resultante, preparando el camino hacia el desarrollo sostenible. Colombia es un país con valiosos recursos hídricos, sin embargo con el tiempo se ha hecho evidente que varios se han agotado, debido al deterioro y aumento en la demanda de los cuerpos de agua.

Ahora bien, la legislación ambiental del país, ha tenido un importante desarrollo en las últimas tres décadas, aunque estas, proporcionan una directriz en la que se establece la política para el cuidado y manejo del recurso hídrico; hace falta mucho, debido a la carencia en la implementación de programas que fomenten el cuidado ambiental, para lo cual se requiere de un compromiso por parte de entidades privadas y locales, en las que se involucre a la población, que directamente se sirve de éste recurso.

Para programar una recuperación organizada es necesario generar un diagnóstico del cuerpo de agua en el que se establezca el índice de calidad del agua, tradicionalmente se realizan análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, sin embargo hay nuevas técnicas las cuales se fundamentan en la identificación de las especies acuáticas del cuerpo de agua, generando de esta manera un diagnóstico más completo a partir de las poblaciones presentes, lo cual permite conocer el estado ecológico de los ríos en los cuales se usa esta técnica, esto permite planteamientos formales y reflexivos; una invitación en la que se pueda constituir propuestas de educación con la población en torno al cuidado y recuperación del cuerpo de agua del estudio. Teniendo en cuenta lo expuesto, se suscita el interés por realizar una contribución al diagnóstico de la calidad de agua de la microcuenca Las Brujas ubicada en el municipio de la Vega Cundinamarca. Partiendo de esta reflexión se plantea. ¿Cuál es la relación existente entre los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y de los macroinvertebrados de la microcuenca Las Brujas, en el municipio de La Vega Cundinamarca?.

1. JUSTIFICACIÓN

El agua es necesaria para la vida, recurso fundamental para el desarrollo de las comunidades y de las actividades económicas que las poblaciones realizan, desafortunadamente este recurso se ha agotado debido a las practicas poco adecuadas que en ocasiones se establecen. Esto se evidencia en los diversos sectores en los que el hombre realiza actividades, ocasionando escasez y deterioro en la calidad de las fuentes, daño a la biodiversidad de las zonas afectadas, el paisaje y finalmente afectando, la calidad de vida de las comunidades que se sirven de este recurso.

La comunidad mundial no es indiferente ante esta realidad, en los mercados internacionales, se reconoce aquellos productos que se han desarrollado, originándose de forma sostenible y amigable con el entorno, con prácticas que involucren el cuidado del medio ambiente; además de la generación de ingresos dignos y estables, en la población involucrada en el desarrollo del producto. A los productos que cumplen estas características se les da un valor agregado en el momento de la comercialización, lo cual se ha visto reflejado en los sellos de calidad que en ocasiones incrementa el valor en algunos mercados especializados; como se reconoce el ambiente y el entorno son determinante para la calidad de vida de las poblaciones, y en definitiva fundamental para el sector agropecuario; actividad económica más relevante en el área de estudio, por lo anterior, se propuso un proyecto que brindara una contribución al diagnóstico de la calidad del agua de la Quebrada Las Brujas, apoyándose en caracterización de los macroinvertebrados presentes en el cuerpo de agua y en los resultados fisicoquímicos obtenidos, los cuales sirven como indicadores la calidad de este recurso, esta técnica se ha adoptado cada vez más por las ventajas que ofrece; es más económica y permite establecer un diagnóstico ecológico y completo del recurso hídrico en el que se realiza.

La legislación colombiana, demanda el cuidado de los recursos hídricos; entre esta normativa se encuentra la Constitución Política de Colombia, 1991 que establece principios enmarcados en el desarrollo sostenible de las comunidades. Además de la 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.

Asimismo, desde la misión planteada por la Universidad de Manizales en la que se proyecta

CEDUM (2010) *“...la construcción de conocimiento válido y pertinente; e interacción con el entorno orientada a la promoción del desarrollo humano y social.”*

Además en los planteamientos de la línea de investigación en desarrollo sostenible de la maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente (2010) *“...El análisis de la actual problemática ambiental se enfoca principalmente en”...” el agotamiento y degradación de los recursos naturales, la contaminación ambiental y la pérdida de biodiversidad y de la diversidad cultural. Todos ellos se refuerzan entre sí para afectar la capacidad de generación de los diversos ecosistemas y la calidad de la vida en los asentamientos humanos, urbanos y rurales...”*

Así mismo, el MAVDT en el 2010, publica la política nacional de gestión integral del recurso hídrico, en la que se resalta el deterioro de la calidad de agua en el territorio nacional, allí se identifican los principales factores que afectan este recurso, siendo la contaminación generada por los vertimientos provenientes de la actividad agroindustrial y residencial de poblaciones en crecimiento ubicadas en cercanías de algunos sistemas hídricos las que ocasionan el mayor deterioro y por ende afectan la disponibilidad del recurso. En este sentido se evidenció que en los usuarios que se sirven del recurso, hay prácticas y hábitos poco adecuados, asociados a la falta de información en las comunidades, además, resalta la importancia de realizar estudios que permitan el diagnóstico de los cuerpos de agua los cuales permitan establecer planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, consistentes con los parámetros y problemas que más afectan el cuerpo de agua; para así, plantear planes de gestión integral del recurso hídrico que involucre a la comunidad a través de programas de recuperación y manejo adecuado del recurso hídrico.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir en el diagnóstico de la calidad del agua en la quebrada las Brujas del municipio de la Vega Cundinamarca.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el índice BMWP-Col, a partir de la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos colectados.
- Determinar el índice ICA-NSF, a partir de la determinación de los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Totales, Turbiedad, Temperatura, Fosfatos, Nitratos y Coliformes fecales.
- Evaluar las relaciones entre los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y los resultados de la identificación de los macroinvertebrados presentes en las aguas de la Quebrada las Brujas (índices ICA-NSF y BMWP-Col).

3.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La calidad del agua de la Quebrada las Brujas, calculada a partir de índices fisicoquímicos y biológicos es apta para los usos que del recurso realizan los pobladores de la zona.

4. ANTECEDENTES

A nivel mundial se han desarrollado varias investigaciones en torno al cuidado de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneas, en la actualidad se le ha dado mucha importancia al manejo integrado de este recurso, debido a que el agua interviene y se ve intervenida por el entorno y los diversos agentes en el que se encuentra; a continuación se mencionan algunos conceptos importantes que fundamentan el diagnóstico de cuerpos de agua, usando las técnicas de bioindicación junto con los parámetros fisicoquímicos. Dichos estudios son fundamentales para plantear el manejo integrado del recurso, lo cual requiere trabajar con la población que se sirve del cuerpo de agua, el estudio se realiza con población que centra su economía en el sector agropecuario por lo anterior, también se aborda la contaminación generada en el recurso agua.

4.1. BIOINDICACIÓN

Roldán (2003) en su libro Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, usando el método BMWP /Col (Biological Monitoring Working Party para Colombia) resalta la importancia de la metodología de la bioindicación en la evaluación del índice de calidad de agua, muestra cual ha sido el avance que esta técnica ha tenido, resalta las ventajas y desventajas que ofrece, establece la importancia de identificar las comunidades de organismos presentes en los cuerpos de agua, además relaciona la afectación que estas poblaciones tiene cuando los parámetros fisicoquímicos son alterados. Muestra los principales avances obtenidos en la metodología BMWP /Col. Realiza una descripción detallada de las etapas del proceso, toma de muestra, identificación de especies; finalmente abre la posibilidad de usar esta metodología de forma complementaria a los análisis que rutinariamente se realizan, obteniendo un diagnóstico completo que brinda más instrumentos para el cuidado y protección de este recurso.

Muchas han sido las investigaciones que han surgido en torno a la técnica de bioindicación. Medellín, Ramírez & Rincón (2004), realizan una investigación titulada Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Allí se analizaron aspectos fisicoquímicos y la composición de la tricopterofauna; colectaron especímenes de diferentes coriotopos, durante temporadas de alta y baja precipitación. Se encontró que el régimen pluviométrico incide sobre las condiciones biológicas y fisicoquímicas del cuerpo de agua. Por su parte la CAR (Corporación Autónoma Regional) Regional Cundinamarca (2012), en alianza con Roldán publica *“Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua”*, brinda las orientaciones generales de los muestreos y técnicas de colección que se pueden realizar en las investigaciones que involucren la metodología de bioindicación de macroinvertebrados, adicionalmente, describe la incidencia de algunos parámetros fisicoquímicos en la calidad del agua, es una guía que ayuda a la clasificación de los macroinvertebrados acuáticos.

4.2. SISTEMAS LÓTICOS

Vergara (2009) citado por Aguilera (2014) menciona que tres cuartas partes de la superficie de la tierra están cubiertas por las aguas de los océanos, lagos, ríos, arroyos, manantiales y subsuelo. Cubriendo el 71% de la superficie de la Tierra, este es el recurso natural para muchas formas de vida. Roldán & Ramírez (2003). El proceso conocido como ciclo del agua permite evidenciar una secuencia de fenómenos por medio de los cuales existe un balance del agua en la naturaleza. Nebel & Wright (1999).

En un planeta modelado por el agua, los ríos, riachuelos, arroyos y quebradas hacen parte de los ecosistemas acuáticos de corrientes lólicas, asociados comúnmente a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales, Roldán & Ramírez (2003). Las fuentes lólicas se caracterizan también por un flujo turbulento, lo cual permite una mayor re-oxigenación, así como mayor arrastre de sólidos y con ello menor penetración de la luz y temperaturas más bajas, lo que a su vez crea condiciones especiales para la vida y para la organización de las estructuras y procesos ecológicos básicos tales como: flujos de energía,

materia, información, mantenimiento de los equilibrios ecológicos, generación de biodiversidad y sucesión, Ramírez & Viña (1998).

Los ecosistemas acuáticos que poseen caudal sólo albergan una fracción pequeña del total de agua, 0,002 km³, cifra menor que la de cualquier otro compartimento hidrológico, por ejemplo, acuíferos y suelos 8,1 km³, océanos 13,88 km³, agua sólida (casquetes polares y glaciares) 24,1km³, lagos agua dulce 0,125 km³, lagos salados 0,104 km³ y la atmósfera 0,013 km³, Sabater & Elosegi (2009). Sin embargo, los ríos llevan anualmente al mar cerca de 37.000 km³ de agua (Hynes, 1972 citado en Roldán & Ramírez 2003). Cifra mayor que la de cualquier otra fuente.

Encalada (s,f) expone que los ríos son ecosistemas dinámicos, complejos e integradores, con múltiples conexiones con otros ecosistemas: longitudinales (conexión río arriba - río abajo), laterales (conexión con la cuenca hidrográfica y vegetación de la ribera) y verticales (conexión con las aguas subterráneas y la precipitación). Lo que a su vez determina diferencias entre las partes altas y bajas de un mismo cuerpo de agua, el cual puede verse como un continuo que varía a medida que desciende (Ramírez & Viña, 1998 citados en Vergara 2009). Por consiguiente, Sabater & Elosegi (2009) agregan que los ríos son ecosistemas complejos, con números componentes únicos, relacionados con la organización física en el eje horizontal (Esquema 1).

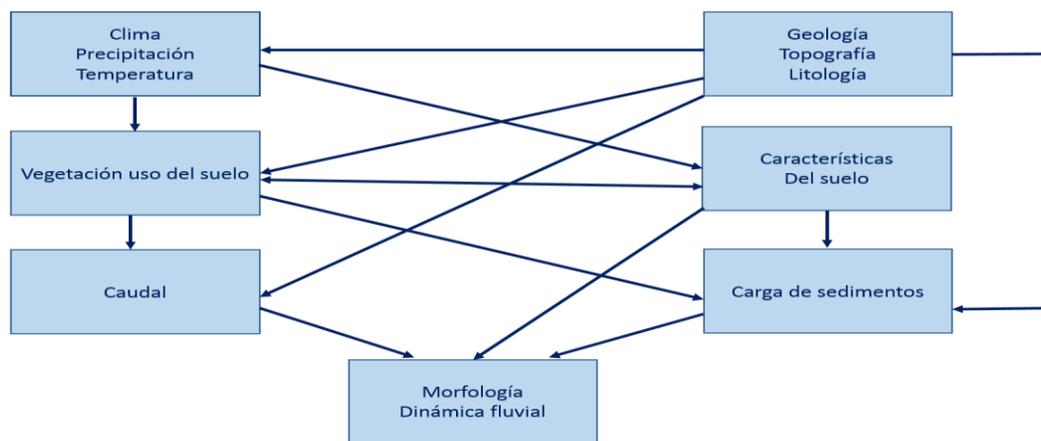


Figura 1. RIO COMO ECOSISTEMA COMPLEJO
Adaptado de Morisawa (1985) citado de Sabater y Elosegi (2009)

Las condiciones más representativas que marcan diferencia entre los sistemas lénticos y lóuticos son el caudal, la corriente y el intercambio entre el agua y la tierra. En primer lugar, el caudal define la morfología, estructura, diversidad biológica y las tasas de los procesos ecosistémicos en dichos sistemas Encalada, (s,f). En segundo lugar, la corriente del agua se presenta como un factor dominante y limitativo en los ríos, así Odum (1972) expresa que la velocidad de la corriente varía grandemente en diversas partes de un mismo río, lo mismo que de un momento a otro, lo que hace que existan diferencias entre los organismos y sus hábitats en un mismo río. Asimismo, la corriente facilita la renovación de nutrientes, e impone fuertes restricciones a los organismos, por lo que ha acabado moldeando muchos de sus rasgos vitales Sabater & Elosegí (2009). En tercer lugar, el intercambio con los ecosistemas terrestres adyacentes, a lo largo de su recorrido; por ejemplo hojarasca que cae de los bosques ribereños e insectos acuáticos que pasan al bosque es mayor en los ríos, estos últimos están íntimamente asociados a la tierra circundante, en efecto, la mayoría de los ríos dependen, en una porción importante del suministro básico de energía, de áreas terrestres. Odum (1972).

En cuanto a la gran heterogeneidad de los ríos, ésta se corresponde con su elevado dinamismo temporal. Las variaciones de caudal determinan que las comunidades de organismos que habitan en época de aguas altas no sean las mismas que se encuentran en situaciones de aguas bajas. La llegada de materiales disueltos y particulados varía con el tiempo y con las variaciones hidrológicas y los cambios en el medio terrestre circundante, al igual como lo hace la disponibilidad de luz. La composición de la biota responde a la disponibilidad de materiales (materia orgánica y nutrientes disueltos) y de energía (luz, velocidad del agua). Sabater & Elosegí (2009).

En los ríos, las perturbaciones ambientales más frecuentes suelen ser las crecidas o corrientes, que arrastran gran parte de los organismos dejando zonas libres para los colonizadores. Las especies fluviales se han adaptado a estos entornos cambiantes, desarrollando mecanismos que favorecen la recolonización y facilitan una rápida recuperación de la comunidad tras la perturbación, estos cambios sucesionales impiden la consolidación de ecosistemas estables y permanentes. Sabater & Elosegí (2009). Ello ha

significado por lo tanto, menor especialización es decir, comunidades más generalistas adaptadas a amplios rangos ambientales y a su vez capaces de obtener su alimento de fuentes muy diversas. Ramírez & Viña (1998).

4.3. SISTEMAS LÉNTICOS

Los sistemas leníticos o lénticos hacen referencia a espacios donde el agua no corre en forma unidireccional sino que se estanca renovándose lentamente, los remansos de los ríos y quebradas se comportan en general como hábitats lénticos dependiendo de la geomorfología del cauce. CAR (2012) . El contacto con el entorno terrestre se reduce y los procesos endógenos cobran mayor importancia. Wetzel, (1981). En este sentido, es de esperarse que los ecosistemas de agua estancada cambien, con el transcurso del tiempo, a una velocidad más o menos proporcional con su tamaño y profundidad, Odum y Barrett, (2006) Otra de las distinciones de los cuerpos lénticos es su capacidad para estratificarse térmicamente, para formar diferentes niveles o capas de agua en función de su temperatura Schafer, (1984). ; Debido a esta característica se zonifica formando un termoclina que separa la capa superior o epilimnion, en la cual se genera un equilibrio térmico con el exterior; en la capa inferior o hipolimnion, la temperatura suele ser más baja. Este proceso es clave en la recirculación de nutrientes dentro del sistema. Asimismo, en el hipolimnion la concentración de oxígeno es menor debido a que predominan los procesos de descomposición de la materia orgánica, lo cual hace que se acumulen gases tóxicos; generalmente el espesor de este estrato es también mayor. La zonificación y estratificación distintiva son rasgos característicos de los lagos y estanques grandes. Así, zona litoral se identifica por contener vegetación de raíces a lo largo de la playa, zona limnética en la cual se encuentra plancton, y una zona profunda en que se caracteriza por tener autótrofos, y una zona béntica en la que se encuentran organismos que viven en el fondo. Odum y Barrett (2006).

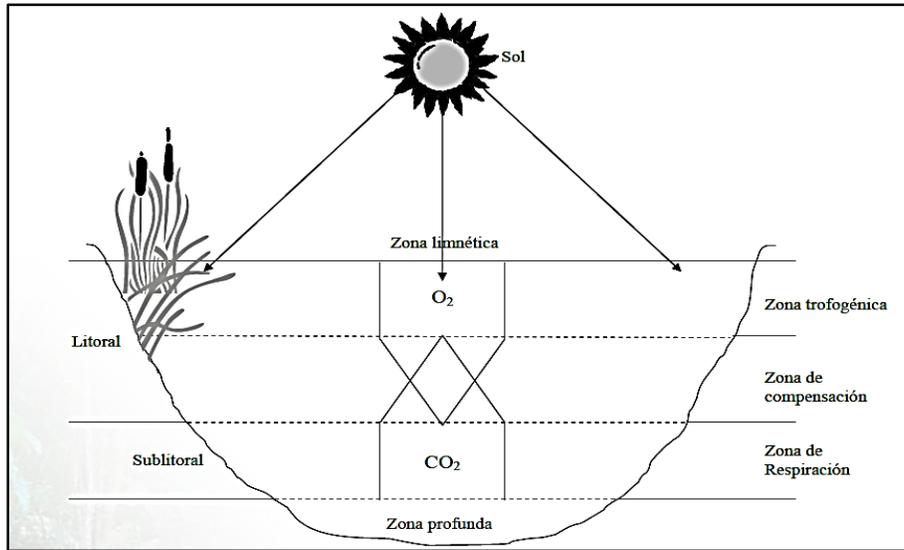


Figura 2. ZONA DE UN ECOSISTEMA ACUÁTICO LENTICO. Adoptado de la CAR (2012)

4.4. MANEJO INTEGRADO DEL RECURSO HÍDRICO

Entre tanto, Benavides (2010) manifiesta la preocupación por la demanda cada vez mayor que el agua registra en los países en vía de desarrollo, y debido a la identificación de los problemas fundados por las actividades antrópicas; la cual deslumbra la incertidumbre en cuanto a la viabilidad y el soporte que este recurso puede brindar a una comunidad creciente. Es una propuesta en la que se identifica un primer conjunto de indicadores sociales, económicos y ambientales que permiten diagnosticar la sostenibilidad en sistemas urbanos de agua potable mediante el ISA (Índice de Sostenibilidad de Abastecimientos), los planteamientos que se construyeron a partir del estudio realizado se propusieron para ser puestos en práctica en varios abastecimientos de agua del Ecuador.

Desde hace algún tiempo se ha comprendido que el manejo de los recursos se debe hacer de forma integral teniendo en cuenta las características del entorno como un todo. Como se evidencia en FOCUS (2003) *“Un camino hacia la sostenibilidad”*, documento en el que se presenta la importancia del manejo integrado del recurso hídrico, establece que el agua es un recurso multifuncional y multidimensional el cual se ve amenazado; adicionalmente, muestra las consecuencias que tiene en las comunidades cuando este recurso, el cual es

vital escasea, los conflictos que se exteriorizan; plantea una reflexión importante, “el agua no es un recurso que escasea si no que está mal manejado” p.5, a su vez presenta una serie de direcciones las cuales brindan información y complementan el tema.

Otro claro ejemplo de esta tendencia es la investigación titulada “*Manejo del recurso hídrico y estrategias para su gestión en la microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia*” (2006) Investigación en la que involucra diversos aspectos del manejo integrado del recurso hídrico, resalta la importancia del trabajo en conjunto de la población y las instituciones tanto públicas como privadas, sobresale la determinación de las principales fuentes de contaminación y como estas características afectan las actividades antrópicas realizadas por la comunidad.

La preocupación es mundial, es por esto que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2003) en su Informe “*Agua para todos agua para la vida*”, Hace un estudio detallado de los retos que se deben adoptar para afrontar la crisis mundial en cuanto a la escasez del agua, las causas y consecuencias, los planes de acción en diversas instancias y la responsabilidad que cada una tiene. Así mismo, reconoce que la información y el conocimiento son claves para el desarrollo de los programas de recuperación de las fuentes hídricas, dándole un papel muy importante a la integración de la educación ambiental para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Finalmente, la actividad agropecuaria genera diversos residuos, la mayoría de estos son (M.O) materia orgánica, la cual está representada en las excretas o en los residuos de la cosecha o del procesamiento de los productos agrícolas. Es importante resaltar que el estudio se desarrolló en una zona en la que se realizan diversas actividades agropecuarias, el cuerpo de agua elegido se destaca por tener varias familias cafeteras que se sirven de este recurso.

La Organización Fondo Mundial para la Naturaleza WWF (2012), realiza una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica; documento que enseña el concepto de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad, los componentes principales para tener en

cuenta en este cálculo, las ventajas de manejar este instrumento, debido a que permite identificar las causas y los efectos de las relaciones socioambientales, de reconocer la huella hídrica de los recursos del país; teniendo en cuenta los diversos y principales cultivos que aquí se desarrollan, desglosa la evaluación de flujo de agua, identifica los usos indirectos del agua incluyendo una dimensión espacial y temporal, respondiendo a un estimativo de donde y cuando se consume.

Continuando las investigaciones, en CENICAFE, Zuluaga & Zambrano (1993) describen las etapas que se realizan en el proceso del beneficio del café, detallando practicas amigables con el medio ambiente las cuales se combinan con los modelos tradicionales y modernos para el manejo sostenible de los recursos naturales de acuerdo a las características del entorno, menciona algunas alternativas para el manejo adecuado de los subproductos generados en el proceso del beneficio como lo es el compostaje y el lombricompostaje.

4.5 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA

El índice de calidad de agua (ICA), en inglés Water Quality Index (WQI) fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), convocando a un panel de expertos que idearon un sistema para comparar ríos en varios lugares de un país, esta metodología puede ser utilizada para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo.

Determina condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y, en alguna medida, permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y biológicas. SIAC (2015).

Para la determinación del (ICA) se tienen en cuenta 9 parámetros, los cuales son:

- Oxígeno Disuelto (% saturación)

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en UNF)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)

Los expertos de la NSF, hallaron para cada uno de estos parámetros, la curva de probabilidad a partir de técnicas aritméticas en respuesta a una escala, Para calcular el índice de calidad del agua (ICA), se realiza la sumatoria del producto del factor de ponderación (Fi) de cada una de las variables seleccionadas (el cual fue establecido por consenso de un panel de expertos) por el valor de Calidad (Qi) obtenido utilizando el valor de la variable y su respectiva curva de función de calidad, de acuerdo con la expresión.

$$ICA = \sum_{i=1}^n Fi * Qi$$

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del cuerpo de agua en estudio.

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de se clasifica con base a la siguiente tabla:

Tabla 1. CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE ICA SEGÚN LOS PUNTAJES OBTENIDOS

Excelente 91 - 100
Buena 71 – 90
Media 51 – 70
Mala 26 – 50
Muy mala 0 - 25

Esta metodología permite examinar los parámetros obtenidos del cuerpo de agua como un sistema complejo, obteniendo un análisis más completo del mismo.

5. MARCO LEGAL

La legislación ambiental colombiana ha tenido un importante desarrollo en las últimas tres décadas, A continuación se mencionan tres sectores formales en los que se fundamentan la normativa sobre el medio ambiente:

- La Constitución Política de Colombia, (1991). Directriz suprema, que enuncia el manejo y la conservación del medio ambiente.
- Las Leyes del Congreso de la Republica, y decretos, las cuales constituyen normativas básicas y políticas a partir de las cuales se reglamentan de forma específica las normas.
- Normativas y procedimientos para los trámites ambientales ante las autoridades competentes.

No sin antes mencionar que en 1974 se aprueba el código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente, más tarde en 1979 se aprueba el código sanitario nacional, desde allí se fundamentan los lineamientos generales en materia de regulación del agua. Posteriormente, en 1993 se expide la Ley 99 en la que se crea el Ministerio Del Medio Ambiente dando lugar al sistema nacional ambiental SINA. A continuación se nombra algunas normas legales y reglamentarias más relevantes en materia de recursos naturales renovables y medio ambiente.



Figura 3. **NORMATIVA GENERAL Y RELEVANTE ACERCA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DE MEDIO AMBIENTE**

Tabla 2. NORMATIVA RELEVANTE RESPECTO AL CUIDADO DE LOS RECURSOS NATURALES, ESPECIALMENTE DEL AGUA

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Decreto Ley 2811 de 1974 - Presidencia de la República	Se dicta el código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Decreto 1594 de 1984 - Presidencia de la República	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.
Constitución Política de Colombia 1991	Titulo 2, capítulo 3 De los derechos colectivos y del ambiente
Ley 99 de 1993 - Presidencia de la República	Se crea, el Ministerio del Medio Ambiente
CONPES 2750 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente y el Departamento Nacional de Planeación	Crea la Política Nacional Ambiental
Política para la gestión integral de residuos 1997 del Ministerio de Ambiente	Se establecen las bases, objetivos, metas, estrategias y planes de acción
Ley 430 de 1998 del Congreso de Colombia	Reglamenta las normas prohibitivas en materia ambiental
Decreto 3100 de 2003 - Presidencia de la República	Modifica decreto 901 de 1997 sobre las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones. Modificando a su vez

	parcialmente el decreto 3440 del 21 de octubre de 2004
Resolución 2115 de 2007- Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 3930 de 2010 - Presidencia de la República	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 4728 de 2010 Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010
Decreto 3678 del 2010 Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial	El Congreso Nacional expidió el nuevo régimen sancionatorio ambiental, en el que señaló las sanciones a imponer por parte de las autoridades ambientales al infractor de las normas ambientales.
Decreto 2667 del 2012 Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible	Se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones
Decreto 1640 del 2012 Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible	Se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos (POMCAs), y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1375 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se reglamentan las colecciones biológicas
Decreto 953 del 2013 Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible	Se reglamenta el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011, Conservación y Recuperación de zonas de importancia estratégica para la conservación del agua.
Decreto 1376 de 2013 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se reglamenta los permisos de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial.
La Resolución 1096 de 2000 (RAS) Ministerio De Desarrollo Económico	Contiene lineamientos para definir los niveles de tratamiento del agua para “consumo humano”, en función de la calidad de la fuente, que va desde aceptable a muy deficiente, de acuerdo con su grado de contaminación.
Resolución 1207 del 2014 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
Resolución 631 del 2015	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cueros de aguas superficiales y a los ecosistemas de alcantarillado público y se dictan tras disposiciones.

La violación de estas normativas acarrea sanciones y la adopción de medidas sancionatorias, de acuerdo a lo previsto en la Ley 99 de 1993 artículo 85.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. DINÁMICA FLUVIAL

El caudal o descarga es un producto del ciclo hidrológico, por lo tanto varía con la topografía, geología, clima, estación, vegetación y área de drenaje. Los cursos de agua con mayor número de afluentes suelen tener flujos más estables. El flujo de la corriente, la velocidad, el transporte de materiales, el tipo de cauce y otros, pertenecen al campo de la hidrología, y su dinámica es un factor fundamental para el establecimiento de las comunidades biológicas en las corrientes, Roldán & Ramírez (2003).

La descarga de un curso lótico constituye el total de agua de una corriente que pasa por un punto en un determinado período de tiempo, Roldán & Ramírez (2003); se expresa generalmente como metros cúbicos por segundo (m^3/seg), o litros por segundo (Lps). Es la resultante de un conjunto de variables que incluyen entre otras, pluviosidad, esorrentía, infiltración, uso del suelo, topografía, y área de drenaje principalmente Ramírez & Viña (1998). La medida de la descarga está determinada por la forma del cauce, por el área transversal, por la profundidad media, por la naturaleza del sustrato y la pendiente del lecho Roldán & Ramírez (2003).

6.2. CALIDAD DE AGUA



Foto 1. Microcuenca Las Brujas, Municipio La Vega – Cundinamarca, temporada de lluvias.

El agua que fluye por los cauces naturales no suele cumplir con los mínimos higiénicos que garanticen el consumo sin riesgo sanitario. El agua, por definición, ha de ser incolora, inodora e insípida, no obstante por su cauce se añaden multitud de contaminantes orgánicos.

Generalmente, en los nacimientos de los ríos el agua es segura, y se podría decir que de buena calidad, pero conforme va descendiendo encuentra restos de materia fecal animal, excrementos que se entienden como restos naturales que proceden de animales que pueden estar enfermos o ser portadores de enfermedades peligrosas (tuberculosis, brucelosis, carbunco, infecciones de piel con abscesos o bolsas de pus, entre otros. Zafra (2008). Adicionalmente el arrastre natural de los materiales que se encuentran en el río añade diversos compuestos. Las características fisicoquímicas y biológicas determinan la calidad del agua, teniendo en cuenta lo anterior es claro que el agua puede variar dependiendo de las características de los tramos por donde el caudal del cuerpo de agua transite.

Ahora bien, dependiendo del uso que vaya a tener, es conveniente verificar los parámetros o criterios admisibles cuando se destina a uso agrícola, pecuario y para consumo humano, entre otros. Es por esta razón que el abastecimiento y el tratamiento del agua para consumo humano es fundamental, su distribución debe realizarse con la calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales, en América Latina la contaminación microbiana ocasionada por tratamientos inadecuados causó el 99% de enfermedades causadas por el consumo de agua. Witt y Reiff (1995).

6.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

No existe actividad humana: económica, industrial, social o política que pueda prescindir del agua, origen y base de la vida, en la actualidad el ser humano se ha preocupado por este recurso natural generando investigaciones a nivel mundial que propenden por la descontaminación y recuperación de este recurso, aunque el ciclo del agua, permite la purificación de esta, la aceleración del desarrollo industrial, muestra un desequilibrio en el proceso. A su vez se ha reconocido la importancia que tiene la educación en la implementación de programas de recuperación que involucren a las comunidades, la cual

se desarrolla en diversos contextos y propende por establecer procesos reflexivos de las actividades que realizan las poblaciones y afectan el recurso hídrico.

La contaminación hídrica es la acción y el efecto de introducir materias o energía, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial para usos (humanos) posteriores o su función en el ecosistema

Se deben diferenciar dos tipos de contaminación según su origen

Contaminación natural: es originada por restos animales y vegetales también por minerales y sustancias que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos.

Contaminación artificial: surge cuando el hombre interactúa con el medio ambiente, como consecuencia del aumento desmesurado y sin control alguno, de industrias, desarrollo y progreso. Es gravísima.

Estas pueden dañar la calidad del agua ya que pierde la capacidad intrínseca que tiene para responder a los usos que se podrían obtener de ella.

En el municipio de La Vega cursan varios afluentes los cuales surten diversas explotaciones agropecuarias las cuales pueden contaminar y/o ser contaminadas.

Ahora bien; dependiendo la naturaleza de los contaminantes se clasifica en:

Contaminación física: El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de cuerpos de agua disminuyendo su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos. Así mismo, los materiales en suspensión, puede llegar a dificultar la vida de algunos organismos, debido a que no permiten el paso de la luz, ocasionando variaciones en las comunidades que allí viven.

Contaminación química: Es el conjunto de residuos orgánicos e inorgánicos producidos por las actividades humanas, pueden ser residuos industriales, detergentes, derivados del petróleo, entre las sustancias inorgánicas se pueden mencionar residuos de abonos, nitratos y fosfatos, también ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir

acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos.

Contaminación Biológica: Incluye diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades, usualmente, estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Es por esta razón que, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.

6.4. ÍNDICES FISICOQUÍMICOS

Existe una gran variedad de protocolos para la metodología de toma de muestra de cuerpos de agua superficial, no obstante el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), desarrolló un protocolo para aguas superficiales en el que se analiza, D.Q.O., (demanda química de oxígeno), O.D.(oxígeno disuelto), sólidos totales, fósforo, nitratos, turbiedad, microbiológicos, es importante aclarar que los parámetros que se eligen dependen de las características del cuerpo de agua y la finalidad del estudio, para este proyecto; en campo, se tomaron los parámetros de pH, temperatura, oximetría, conductimetría.

6.4.1. OXÍGENO DISUELTO

Ramírez & Viña (1998) describen que el oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración define el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, y por ende establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de los ecosistemas. Los valores normales varían entre los 7,0 y 8,0 mg/L y el porcentaje de saturación varía entre pobres con <60% hasta $\geq 101\%$ que indican alto porcentaje de saturación. La fuente principal de O_2 es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia de los ríos y por el

viento en los lagos (Roldán, 2003). La solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura, la presión atmosférica, el incremento de la salinidad y el contenido de materia orgánica disuelta, estos cambios pueden ser fatales para la mayoría de los organismos acuáticos.

El oxígeno es poco variable en condiciones naturales, a causa de la profundidad, de la gran superficie expuesta y del movimiento constante, los ríos suelen contener una reserva de oxígeno abundante, inclusive cuando no hay en ellos plantas verdes. Los animales de río suelen tener una tolerancia menor y son especialmente sensibles a la escasez de oxígeno, así cualquier tipo de contaminación orgánica es susceptible de reducir la reserva de este gas. Odum (1972). El Oxígeno disuelto se mide en (mg/L) y es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua.

6.4.2. pH

El pH se define como $\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$; a valores próximos a 7 la condición del agua se define como neutra, si éste disminuye denota condición ácida, la cual se produce por la incorporación de sales ácidas o bajo condiciones de oxidación de materia orgánica con liberación de CO_2 (ej: lluvia ácida, vertimientos orgánicos). Se incrementa por encima de 7 y denota una condición básica, que se produce, por la incorporación de sales básicas o, a través de los procesos de fotosíntesis que remueven el CO_2 Ramírez & Viña (1998).

El pH se encuentra íntimamente ligado a los cambios de acidez, basicidad y alcalinidad e indica la concentración de hidrogeniones (H^+) en el agua. Los valores normales para aguas neotropicales varían entre 6,0 y 9,0 unidades, para la mayoría de los ríos y quebradas andinas el valor oscila entre 6,5 y 7,5 unidades. Roldán & Ramírez (2003). Según García (1998) las variaciones del pH provienen de los procesos naturales y por la interacción de los procesos antrópicos. Los valores normales dependen de la geoquímica de los suelos, de las aguas de lavado, y de la dinámica física y química del dióxido de carbono, el ácido carbónico, carbonatos y bicarbonatos.

6.4.3. CONDUCTIVIDAD

Roldán (2003) expone que la conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua, y por ende, se relaciona con la salinidad. Ésta indica la capacidad del agua (u otra solución) para transferir una corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones (sólidos disueltos) y la temperatura. Se expresa como microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o micro-ohmios por centímetro ($\mu\text{mhos}/\text{cm}$) (Ramírez & Viña, 1998). Los valores habituales de conductividad para sistemas de alta montaña oscilan en un rango de 20 a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Roldán (2003); así, valores menores de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son aguas de bajo contenido iónico y desde 500 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para las fuertemente mineralizadas Roldán & Ramírez (2003). En los trópicos los valores de la conductividad están relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía principalmente con las épocas de lluvias y de sequía y con su estado trófico.

Soluciones con mayor concentración iónica indican mayores conductividades y, por consiguiente, menor resistencia, por el contrario, aguas muy oligotróficas o pobres en iones presentaran bajas conductividades y alta resistencia. La conductividad varía con la naturaleza de los iones mayores que la solución contiene Roldán & Ramírez (2003).

6.4.4. TEMPERATURA

La temperatura de un cuerpo de agua se altera por la energía solar, a mayor radiación genera más calor, entonces, si no hay radiación la temperatura del cuerpo de agua desciende, este parámetro juega un papel muy importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos; en definitiva los organismos que son sometidos a cambios estacionales, toleran de mejor forma los cambios de temperatura, por el contrario para los organismos de áreas tropicales, los cambios de temperatura suelen ser fatales.

6.4.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es la medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua, bajo estas condiciones el agua posee un color grisáceo y un olor característico a huevo podrido.

Roldán (2003) reporta, que cuando un agua no está contaminada es muy posible que sus valores estén alrededor de ($<2\text{mg/L}$), muchas veces las contaminaciones provienen de desechos domésticos o industriales.

6.4.6. FÓSFORO

El fósforo es fundamental en los seres vivos, dado que hace parte de las cadenas de ácidos nucleicos y de la molécula de ATP, comparándolo con el nitrógeno las cantidades suelen ser diez veces menores, el fósforo es importante para mantener los ciclos de vida en los organismos, estos lo obtienen del arrastre que ocurre por las lluvias.

Romero (1996) enuncia que una descarga de 1 gramo de fósforo, en un lago puede permitir la formación de más de 100g de biomasa (materia orgánica) al año.

6.4.7. NITRATOS

El nitrógeno suele ser de gran interés debido a la gran importancia que tiene en este elemento en los procesos vitales de todas las plantas y animales; la química del nitrógeno es compleja debido a las diferentes valencias con las que puede trabajar.

El amoníaco es el producto inicial del nitrógeno orgánico. Posterior a esto en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitritos y éstos a nitratos, en un cuerpo de agua natural, se espera encontrar la mayoría de nitrógeno como nitratos, la presencia de nitritos y amonio es indicio de contaminaciones recientes.

Las fuentes principales provienen de los abonos, el exceso de nitrógeno puede desencadenar eutrofizaciones, la cual se manifiesta por el crecimiento masivo de algas y plantas acuáticas.

6.4.8. TURBIEDAD

Es el grado de opacidad ocasionada por la materia particulada en suspensión, ésta limita el paso de la luz a través del agua. La opacidad producida por agentes externos se denomina alóctona y la que es ocasionada por las características propias del cuerpo de agua se llama autóctona.

6.4.9. SÓLIDOS TOTALES

Son la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C. el valor de los sólidos totales, incluye el material disuelto y no disuelto . Para su determinación la muestra se evapora en una capsula pesada con anterioridad, luego se seca a 103 – 105°C. El incremento en el peso sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total. Romero (2005).

6.4.10 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO

La demanda biológica de oxígeno es esencialmente una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de materia orgánica, en condiciones aeróbicas en periodo de 5 dias a 20°C. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de materia orgánica presente en un residuo; por lo tanto es necesario que durante todo el ensayo exista O.D. para que éste sea utilizado por los organismos. Debe garantizarse las condiciones ambientales y los nutrientes que permitan el desarrollo y el trabajo de los microorganismos y eliminar cualquier sustancia tóxica en la muestra. Romero (1996)

6.5. MICROBIOLÓGICOS

Las aguas naturales poseen una gran variabilidad microbiológica, numerosos organismos entre estos, (algas, protozoarios y hongos), células procariotas (bacterias) y virus (microorganismos con capacidad de síntesis nula).

Las aguas superficiales son más expuestas a posibles contaminaciones las cuales pueden provenir del entorno, (la atmósfera, el suelo y vertimientos o desechos).

- Algas: Estos microorganismos contienen clorofila para la actividad fotosintética, son aerobias, y en ambientes con poco oxígeno, mueren, flotan y se descomponen produciendo mal olor.
- Protozoarios: Frecuentemente en el agua contaminada con heces se encuentran dos protozoarios parásitos con incidencia en salud humana, responsables de epidemias: *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*.
- Virus: Entre las enfermedades virales transmitidas por organismos presentes en el agua se encuentran las causadas por el virus de la hepatitis (adenovirus y rotavirus)

Las bacterias que se encuentran en el agua se pueden agrupar en dos grupos principales:

- *Bacterias naturales del agua*: son consideradas como no patógenas, sin embargo cuando hay presencia de éstas en aguas de consumo pueden cambiar algunas características del agua.
- Bacterias de origen intestinal: provenientes de la flora intestinal del hombre o de otros animales, son un indicio irrefutable de contaminación. Los más reconocidos son los coliformes totales y *Escherichia coli*, habitante normal del intestino humano, es utilizada como indicador de contaminación fecal de aguas. Las cepas patógenas causan infecciones del tracto intestinal; generalmente agudas, presenta complicaciones, en niños y adultos con deficiencias nutricionales. (Apella, M., Araujo, P.)

6.6. ÍNDICES BIÓTICOS

De acuerdo con Wilson (1994). Los bioindicadores son organismos o comunidades de organismos cuya presencia revela una condición medio ambiental más o menos definida, se entiende que entre más estenóica sea la especie que se selecciona como bioindicadora, mayor es su utilidad, debido a que se fundamenta en lo estrecho que sea el rango de tolerancia. Un indicador biológico acuático es considerado como aquél cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita. Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua. El indicador biológico se refiere a la población de individuos de la especie indicadora, y en el mejor de los casos al conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora (Arce, 2006).

El bioindicador permite la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello se les asigna un valor numérico a los grupos de invertebrados de una muestra en función de su tolerancia a un tipo de contaminación. Los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores indica la calidad de ese ecosistema (Baddi et al., 2005).

6.6.1. ÍNDICE EPT (Efemerópteros, Plecópteros o Tricópteros)

Este índice corresponde a un valor determinado por tres grupos taxonómicos muy sensibles a la contaminación y que por lo general son indicadores de aguas limpias. Efemerópteros, Plecópteros o Tricópteros (o el porcentaje de individuos de cada uno de estos tres órdenes) Estos órdenes se caracterizan por tener taxa que suelen ser intolerantes a la contaminación por lo que su número global disminuye con el aumento de esta, aunque no todos los taxa responden de igual manera. En general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas Alonso y Camargo,(2005)

6.6.2. ÍNDICE BMWP – Col (Biological Monitoring Working Party)

El BMWP, Biological Monitoring Working Party; se fundamentó, en investigaciones que surgieron en 1970 en Inglaterra, estas establecieron un método sencillo para evaluar la calidad de agua, usando a los macroinvertebrados como indicadores, clasificando las familias que encontraron, asignando un puntaje por cada una, este puntaje se otorga de acuerdo a la tolerancia del organismo; entre más tolerante se le daba una puntuación de 1 y si es muy susceptible se le daba una valoración máxima de 10, la sumatoria de esta valoración proporciona el índice BMWP. En Colombia estos estudios se remontan a 1973, son varios los investigadores que a la fecha aportaron para la construcción de un índice que fuese específico para Colombia, Roldan en 1988 publicó la guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia, el desarrollo de varias investigaciones han permitido utilizar el método BMWP/Col como una primera aproximación para evaluar los sistemas acuáticos de montaña. En la tabla que se encuentra a continuación, se muestran los puntajes de las familias de macroinvertebrados para Colombia.

Según Roldán (2003) las razones por las cuales se consideran los macroinvertebrados como los mejores indicadores de calidad de agua son las siguientes:

1. Son abundantes, de amplia distribución y relativamente fáciles de recolectar
2. Son sedentarios en su mayoría, por tanto, reflejan las condiciones locales
3. Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias y virus entre otros.
4. Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo
5. Proporcionan información para integrar efectos acumulativos
6. Poseen ciclos de vida largos
7. Son apreciables a simple vista
8. Responden rápidamente a los cambios ambientales
9. Varían poco genéticamente

Tabla 3. ÍNDICES BMWP/COL DE ACUERDO A LA SUSCEPTIBILIDAD DE LOS MACROINVERTEBRADOS Tomado de Roldán (2003)

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Bleharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampiridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullaridae, Dystiscidae, Epemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xipocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Plaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caneidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohypidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, 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, Cyclobdelliidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Tubificidae.	1

Tabla 4. CLASES DE CALIDAD DE AGUA, VALORES BMWP/Col, SIGNIFICADO Y COLORES PARA REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS. Tomada de Roldan & Ramírez (2003)

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	> 150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

6.7. MACROINVERTEBRADOS



Foto 2. Psephenidae, macroinvertebrado colectado en el primer muestreo estación 1

Roldán (1992) describe a los macroinvertebrados como organismos que no tienen espina dorsal y poseen un tamaño mayor a 500 μm , aunque también se pueden encontrar de menor tamaño. Estos toman su alimento de hojas y plantas, a su vez son alimento para aves mamíferos y peces. Es por esto que los macroinvertebrados se consideran un eslabón fundamental para las cadenas tróficas que se encuentran en los cuerpos de agua, debido a que

son transformadores de energía, es importante mencionar que se pueden encontrar diferentes especies que en un estado de vida en particular se desarrolla en el agua (larva, ninfa, pupa y/o adulto).

En los cuerpos de agua se pueden encontrar una gran diversidad de los grupos taxonómicos que incluyen diversos filos y clases; tales como anélidos, nematodos, gasteropos y artrópodos (crustáceos e insectos). Algunos de estos son de vida acuática y otros como muchos insectos se consideran semi-acuáticos clasificación arbitraria según Merrit & Cummins (1996) si se tiene en cuenta que varios grupos de insectos pueden no tener su desarrollo en el agua, pero pueden aprovechar otro tipo de sustrato del cuerpo de agua para obtener alimento. La fauna de macroinvertebrados se caracteriza en primer lugar por los sitios en el que viven, así, los organismos que habitan el fondo enterrados en el sustrato; otros sobre él adheridos a rocas, piedras y restos de vegetación se denominan “bentos”; los que nadan activamente dentro del agua se denominan “necton” y los que se desplazan sobre la superficie del agua se llaman “neuston”, siendo los más comunes, insectos hemípteros.

Hutchinson (1953; citado en Ludwig & Reynolds 1988) fue uno de los primeros ecólogos en considerar la importancia de los patrones de distribución espacial en las comunidades e identificó varios factores causales que intervienen en la distribución de los organismos: 1) el ambiente; 2) factores reproductivos; 3) factores sociales debido al comportamiento innato; 4) factores coactivos que se originan de las interacciones intraespecíficas; y 5) factores estocásticos resultado de una variación azarosa en uno de los anteriores factores.

Según Krebs (2000) otros factores de distribución espacio temporal son: 1) la conducta a la hora de la selección del hábitat, lo cual condiciona a los organismos a establecerse en un espacio y tiempo determinado, 2) competencia, 3) enfermedades y 4) factores físico químicos del medio. Por último en los ecosistemas acuáticos; la temperatura, luz, profundidad, oxígeno, salinidad, pH, nutrientes, materia orgánica, entre otros, se consideran factores primarios del ensamblaje de las comunidades acuáticas (Ward 1992).

Bocard et al. (1992 citado en Grillet et al. 2002) menciona dos modelos que discuten la abundancia y distribución de los organismos, el primero es el modelo de control ambiental, donde las variables ambientales son consideradas responsables de la presencia y abundancia de los organismos; y el segundo es el modelo de control biótico, donde la

relación entre los organismos, competencia y predación, son consideradas como factor preponderante en el ensamblaje de las comunidades. Pero los ecólogos por experiencia propia reconocen que tanto las variables abióticas y biológicas, reflejan sobre las comunidades acuáticas patrones de distribución espacial y temporal (Legendre et al. 2002).

Cairns y Dickson (1971 en De la Lanza Espino et al. 2000) elogian a los bioindicadores como la mejor opción en la cuantificación de los aspectos estructurales de la integridad biológica del agua, sin embargo, resaltan la importancia como complemento a los análisis físicos, químicos y microbiológicos. Lo cual permite determinar la calidad del agua. A continuación se presentan en la tabla 2 los beneficios y limitaciones de los bioindicadores.

Tabla 5. DIFICULTADES Y BENEFICIOS DEL USO DE BIOINDICADORES

BENEFICIO	LIMITACIÓN
Los datos biológicos son fácilmente accesibles, la mayoría son sedentarios lo cual permite que reflejen las condiciones locales.	Grado al cual pueden ser detectados impactos sutiles, se afectan por las variaciones ambientales, rápidamente, lo cual hace que cambien las comunidades acorde a las modificaciones del entorno.
La información puede expresarse de forma cualitativa y cuantitativa	Los indicadores biológicos no tienen una expresión numérica precisa, comparados con los análisis físicos y químicos
Existen conceptos biológicos que, proveen información descriptiva que ayuda a identificar cierto tipo de contaminación.	Los indicadores biológicos no permiten determinar las causas del impacto ambiental observado.
La colección de las muestras es sencilla, son abundantes y de amplia distribución.	La clasificación posterior a la colecta, requiere cierta experiencia.

Ventajas y desventajas del uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.

Adaptado de Bonada et al. (2006 citado en Prat et al. 2009) y Chapman (1994 en De la Lanza Espino et al. 2000)

7. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se realizó en tres fases principales

7.1. PRIMERA FASE- PROPUESTA

Consistió en el planteamiento y elaboración de la propuesta de investigación, revisión bibliográfica, el reconocimiento y definición del área y de identificación de posibles entidades que pudieran apoyar el desarrollo del proyecto, definición de parámetros que se correrían para el análisis, definición de protocolos de muestreo.

7.2. SEGUNDA FASE- DESARROLLO

Localización de las estaciones de muestreo, gestión para los permisos con las entidades para toma de las muestras y análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra de agua; determinación de la calidad de agua de la Quebrada Las Brujas.

7.3. TERCERA FASE- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se parametrizaron los resultados obtenidos en los diferentes áreas de estudio abordadas, que constituyeron el proyecto, elaboración del documento final y de acuerdo a los resultados se elaboran las recomendaciones, entrega de material biológico a entidades competentes.

A continuación se representa las actividades que se realizaron durante el desarrollo del proyecto.

Figura 4. PROCESO DE ACTIVIDADES QUE SE REALIZARON EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO

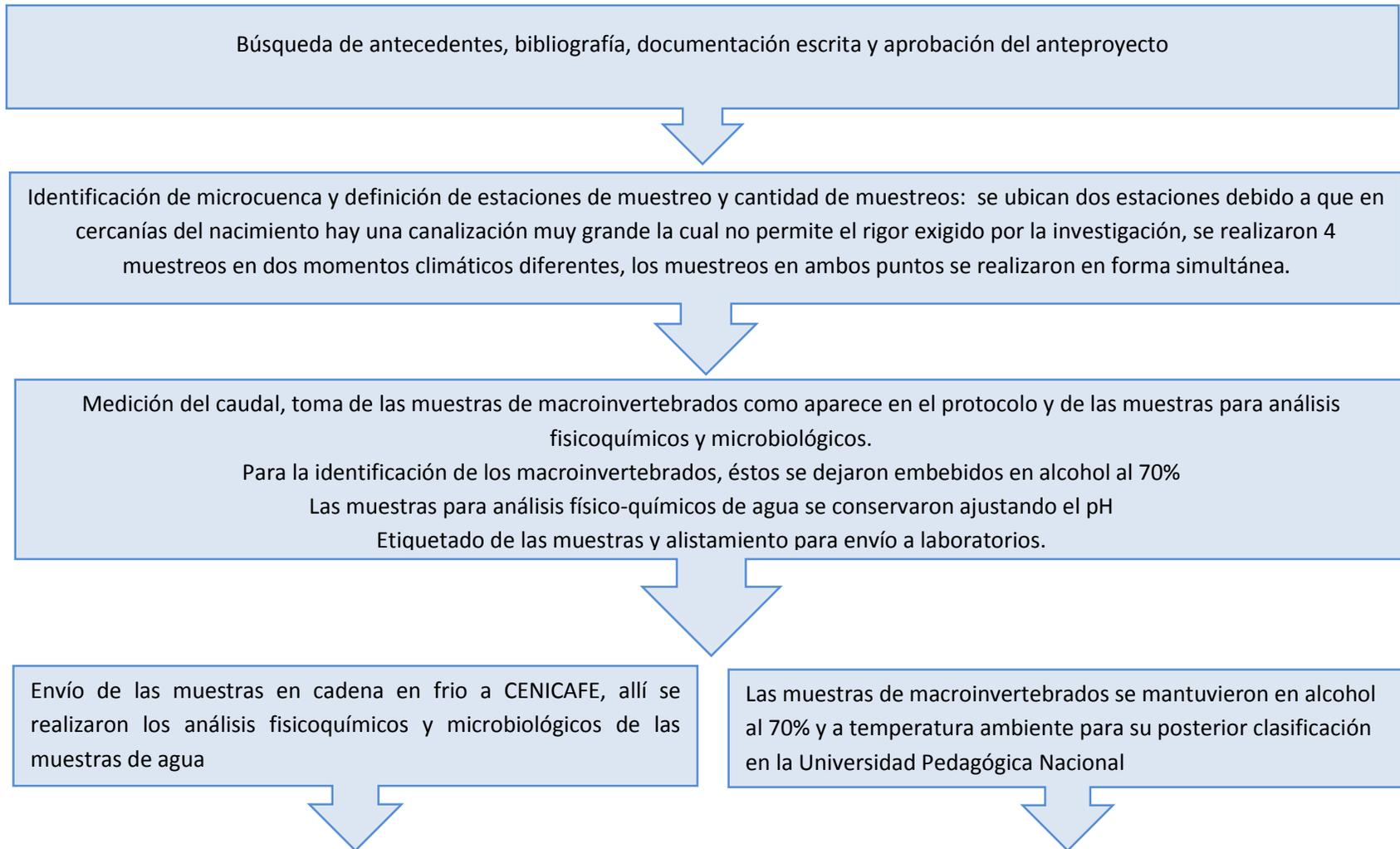
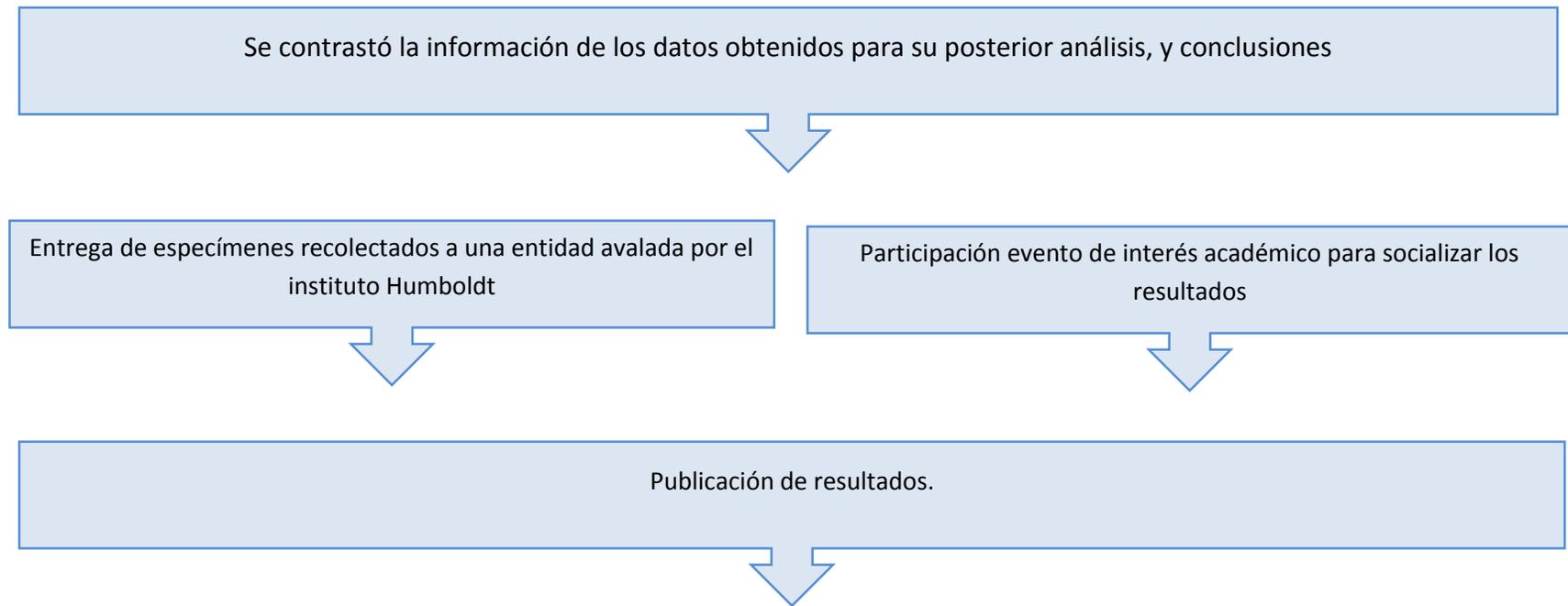


Figura 5. PROCESO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL ESTUDIO



7.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Colombia posee condiciones geográficas que favorecen que su recurso hídrico sea variado, los cuales proporcionan sustento para la población y las diversas actividades que realizan; no obstante, la mayoría de estos recursos se han visto afectados por las actividades antrópicas. Es en el municipio de La Vega, en el departamento de Cundinamarca, en el que se desarrolló la investigación, dadas sus características climáticas se establece el régimen bimodal, La Vega, tiene una extensión superficial de 153,52 Km². Su cabecera municipal se ubica a los 04° 59' 57" de latitud norte y 74° 20' 28" de longitud oeste, a 1.230 m.s.n.m, con una temperatura media de 22°C aproximadamente, con diversos accidentes orográficos es sin duda una de las regiones más aptas para la actividad agropecuaria destacándose el cultivo de café, caña panelera, frutas, y la ganadería. Alcaldía de la Vega (2013).

7.5. DESCRIPCIÓN MICROCUENCA



Foto 3. Deslizamiento en el terreno cercano al nacimiento de la microcuenca Las Brujas.

La Quebrada Las Brujas abarca tres veredas del municipio de La Vega estas son: Patio Bonito, Nagüi Alto y Nagüi Bajo, el uso principal de esta microcuenca es agrícola y pecuario, sin embargo en algunos tramos las aguas de la microcuenca son tratadas para abastecer el acueducto veredal de la zona. En el nacimiento de la microcuenca, se observó la canalización de este punto, debido a una falla geológica que provocó deslizamientos, por esta razón no fue posible la realización del muestreo en esta área. Los vegunos, han manifestado que las quebradas y nacimientos de agua del municipio están expuestos a la contaminación por el mal manejo de basuras y residuos.

7.6. USO DEL SUELO

Durante la aplicación del Censo 2005 se encontró que el 71% de las viviendas rurales ocupadas cuentan con algún tipo de actividad agropecuaria. Alcaldía de La Vega (2011). Encontrándose que algunas realizan más de una actividad, como se evidencia en la siguiente gráfica, del total de viviendas rurales; el 12% se dedica a actividades piscícolas, 74,7 % con actividades agrícolas y un 76,4% en otras actividades pecuarias; lo cual indica que en la mayoría de viviendas rurales realizan más de una actividad, estableciéndose que un gran número se inclinan por la realización de actividades agrícolas y alguna actividad pecuaria . p.49.



Figura 7. GRÁFICA DEL USO DEL SUELO MUNICIPIO DE LA VEGA- CUNDINAMARCA

El sector pecuario está representado principalmente por actividades porcícolas, avícolas y piscícolas las cuales se han convertido en actividades alternativas en la economía de los hogares. En las veredas en las que se realizó el estudio, los cultivos predominantes son el café, caña panelera, plátano, cacao, aunque también en ocasiones se pueden encontrar algunos cultivos transitorios como maíz, fríjol, ahuyama y otros. Alcaldía de La Vega (2011)

Existen algunos informes como plan de desarrollo municipal 2008 – 2011, en el que se menciona el deterioro del suelo de esta zona, el cual va en aumento, debido a la contaminación por agroquímicos. En cuanto a la problemática del sector agrícola en los últimos años, más marcada son las prácticas tradicionales realizadas en los cultivos lo cual



Foto 7. Planta de café, cultivo característico del área de estudio

ha ocasionado el deterioro de los suelos, contaminación por agroquímicos, altos índices de enfermedades como el mal rosado y la antracnosis y plagas como picudo, minadores y chupadores, mosca de la fruta, hormiga arriera, es por esta razón que la administración municipal ha planteado la necesidad de reforestar algunos sectores, especialmente, en las márgenes de los ríos y las zonas de bosque que han sido devastadas para utilizarlas como áreas de cultivo. A su vez, mencionan que la siembra de eucaliptos también ha afectado el caudal de los ríos por ser una planta que requiere de mayores proporciones de agua para crecer, por lo cual no es recomendable utilizarlo para tareas de reforestación en zonas de ronda.p.53, 66.

7.7. ACUEDUCTOS VEREDALES

El municipio cuenta con varios acueductos veredales, algunos de estos no se poseen información actualizada del estado de los cuerpos de agua de los que se sirve la población, por lo que se hace necesario el planteamiento del manejo integrado de recurso hídrico involucrando diversos aspectos en los que se involucre a la población, diagnosticando las quebradas, haciendo seguimiento de las posibles contaminaciones y seguimiento el manejo de las tasas retributivas de acuerdo a la normatividad ambiental.



Foto 8. Mangueras que distribuyen agua en las veredas aledañas al área de estudio.

En plan de desarrollo del municipio (2008- 2011) se expone que la zona rural carece de alcantarillado, Además menciona que el 88.70% de las viviendas tiene pozo séptico y el

11.30% a campo abierto, ya sea porque no tiene unidad sanitaria o porque aun teniéndola no la tiene conectada a pozo séptico causantes de muchas enfermedades que afectan la salud de la población. Por lo anterior se hace necesaria la ampliación de alcantarillado en la zona urbana para dar cobertura al 100% de las viviendas, a su vez, buscar estrategias que permitan aumentar la cobertura de las viviendas conectadas a pozo séptico en la zona rural, lo cual permitirá tener mejores condiciones de salud en la población que hoy las carece; resulta preocupante que en algunos casos, las aguas negras son vertidas a fuentes de agua superficiales como la quebrada Reyes, Catica o río Ila.; en el mismo documento se menciona la contaminación de las fuentes hidrográficas, sobre todo por el desarrollo de actividades avícolas y porcícolas en las áreas aledañas a las márgenes de los ríos p.60 – 62.

7.8 SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO



Foto 9. Nacimiento de la Quebrada Las Brujas, intervención fuerte

Debido al deslizamiento ubicado en cercanías al nacimiento de la microcuenca, la administración gubernamental del municipio, invirtió en una canalización de la quebrada, generando cambios drásticos en este punto, dado que hubo remoción de piedras y vegetación, elementos fundamentales que sirven de soporte a los macroinvertebrados. Debido a esta situación no se tomó esta estación como referente para el muestreo.

Por lo anterior se tomaron dos estaciones ubicadas aguas abajo del nacimiento, la estación uno se encontraba a Latitud $5^{\circ} 1.27$ N Longitud $74^{\circ} 18.89$ O, cercana al punto de tratamiento para la distribución del acueducto veredal, allí se observó un caudal abundante en la temporada de lluvias, sin embargo en época seca el caudal se redujo de forma significativa.

En cuanto a la segunda estación de muestreo se encontraba ubicada a Latitud $5^{\circ} 0.884$ N Longitud $74^{\circ} 19.607$ O.

7.9. METODOLOGÍA DE LOS MUESTREOS



Foto 10. Estación de Muestreo 1, obsérvese el área adecuada para medir caudal



Foto 11. Estación de muestreo 2. Allí se observaron basuras arrojadas al cuerpo de agua

Se realizaron cuatro muestreos distribuidos en dos temporadas diferentes del año, se seleccionaron dos estaciones de muestreo, se descartó realizarla en cercanías al nacimiento de la quebrada debido a la inestabilidad del terreno, en cuanto a los muestreos de agua se realizaron de manera integrada, la metodología usada para el muestreo de macroinvertebrados fue manual.

7.10. METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AGUAS SUPERFICIALES

Para el desarrollo de esta actividad se adoptó el protocolo de las metodologías recomendadas por el IDEAM. En campo, el cuerpo de agua se muestreó cada hora durante cuatro horas y el tipo de muestra que se tomó fue integrada, es decir que se formó por la mezcla de muestras puntuales tomadas en 2 puntos diferentes de forma simultánea. Para la toma de las muestras puntuales se utilizó un muestreador (frasco de vidrio estéril), el cual se ubicó a una profundidad de 20 cm.

7.10.1. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Equipos portátiles para la medición de

pH (*SCHOTT- handylab* , rango 0 a 14, Temperatura -5 a 8 0°C)

Oxígeno disuelto (*YSI-DO200A* rango de 0-200%, 0-20 ppm -6 a 46°C)

Conductividad (*COLE PARMER 110*, rango 0 μ S a 200 mS)

2. Un muestreador con capacidad de 1000 mL (botella con capacidad suficiente y lazo de longitud suficiente para el muestreo).
3. Caneca de plástico con una válvula o llave inferior (capacidad de 5 litros para la integración de las muestras.).
4. Tubo de PVC de 60 cm de largo para agitar.
5. Neveras de icopor con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura en el rango de (4°C- 5°C)
6. Frasco lavador
7. Toallas de papel adsorbente
8. Cinta pegante y de enmascarar
9. Flotadores lastrados, los cuales son elaborados de manera sencilla por metodologías que ha adaptado y divulgado CENICAFE, consisten en dos pelotas con arena, una de estas llena y otra solo un cuarto del volumen de arena selladas con un tapón, y unidas entre ellas con arandelas, el principio es que una de estas, es que al ser soltadas en la quebrada, una flota mientras la otra va a la velocidad de la fuente del estudio.
10. Cinta métrica.
11. Regla graduada.
12. Cronómetro.
13. Bolsa pequeña para la basura.
14. Esfero y marcados de tinta indeleble.
15. Guantes.

16. Agua destilada.
17. Preservantes para muestras. (ácido sulfúrico, el cual ajusta el pH de la muestra para inhibir el crecimiento de bacterias)
18. Botellas de plástico y vidrio.
19. Formatos para la toma de muestras.

7.10.2. DETERMINACIÓN DE CAUDAL



Foto 12. Medición del ancho para determinar el caudal, estación de muestreo 2.

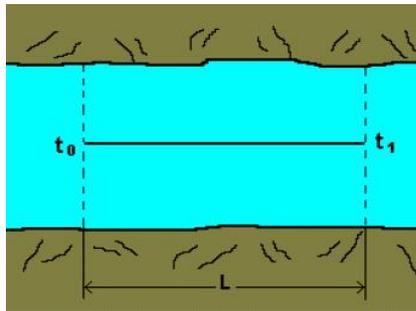
En este caso, ya que no se disponía de molinetes, equipo que determina el caudal de un cuerpo de agua, se realizó la determinación del caudal mediante aforo con flotadores lastrados.

Se eligieron tramos donde se realizó el aforo y se ubicaron áreas que fuesen lo más recto y uniforme posible, libre de obstáculos (vegetación acuática y ramas de árboles) que pudiera frenar los flotadores, esta metodología fue adaptada del protocolo para toma de muestra de aguas superficiales del IDEAM

Para la ejecución del aforo se procedió de la siguiente forma:

1. Se verificó el ancho del cauce y se seleccionó un tramo diez veces mayor al ancho del cauce para realizar el aforo.
2. Cuando el ancho del cauce era menor a 3m, se realizó la medición en un solo punto.
3. Se delimitó claramente la sección de entrada y salida, con la ayuda de la cuerda.
4. Se determinó la profundidad de cada sección con ayuda de una regla graduada.
5. Se ubicó el flotador lastrado 7m aguas arriba de la sección inicial, cuando el flotador pasó por la sección inicial se colocó en marcha el cronómetro (t_0), y se detuvo cuando llegó a la sección final, (t_1), como lo muestra la figura.

Figura 8. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL ÁREA PARA TOMAR EL CAUDAL

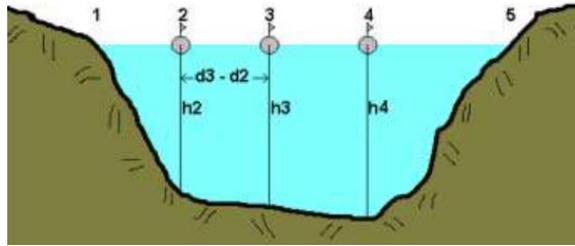


6. La velocidad superficial de la corriente, V_s , se tomó igual a la velocidad del cuerpo flotante y se calculó mediante la relación entre el espacio recorrido, L , el tiempo de viaje t .

$$V_s = \frac{L}{t}$$

7. Se tomó la velocidad tres veces y se obtuvo el promedio en cada una de las estaciones.

Figura 9. ESQUEMA REPRESENTATIVO INDICA LAS PROFUNDIDADES DEL CUERPO DE AGUA



8. Se calculó el área transversal de la quebrada, con las mediciones previamente tomadas, el caudal total se determinó como la sumatoria de los caudales parciales (q_i).

9. La descarga según Hynes (1972 en Roldán & Ramírez, 2003) se calcula mediante la siguiente expresión

$$D = A * V = \frac{\omega d a l}{t}$$

Donde:

D= es la descarga o caudal

A=El área de la sección transversal de la quebrada.

V= es la velocidad del objeto flotante

ω =la anchura del lecho

d= es la profundidad media del río

a=es un coeficiente que varía de 0,8 si el cauce es rugoso, a 0,9 si es liso

l=distancia recorrida del objeto flotante

t= es el tiempo recorrido por el objeto flotante

10. La determinación del caudal se realizó cada hora durante cuatro horas.

7.10.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA IN SITU



Foto 13. PHmetro usado en campo

La medición de parámetros en campo (pH, O.D., Conductividad, Turbidez y Temperatura) se realizó mediante equipos portátiles, tales como sondas multiparámetricas, PHmetros y conductímetros. Los parámetros In situ fueron tomados de manera puntual.

Para la medición de estos parámetros, las sondas, se sumergieron directamente en la mitad de la sección transversal a evaluar, a

una profundidad de 20 a 30 cm, en una zona de poca turbulencia y se procedió a la lectura.

7.10.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Todas las muestras de un mismo punto de muestreo se almacenaron en la misma nevera, para evitar posibles confusiones con muestras de otros puntos; los recipientes se colocaron en posición vertical, con suficientes bolsas de hielo intercaladas de tal manera que se alcanzara una temperatura cercana entre los 4 y 5°C. Finalmente se colocó un rótulo con la información de quien hizo el muestreo, la fecha y la hora, adherido de tal manera que se rompiera



Foto 14. Ajuste de pH para el envío de las muestras con H₂SO₄ concentrado.

una vez la nevera fuera abierta (sello de seguridad). En la tabla 5 se encuentran las formas como se realizó el almacenamiento y se preservaron las muestras para su posterior análisis.

Tabla 6. **CRITERIOS DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS** adoptado del protocolo de aguas superficiales del IDEAM

Análisis	Material del recipiente	Volumen (mL)	Preservación	Almacenamiento máximo
DQO	Plástico	100	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH≤2	Hasta 28 días
Sólidos Totales	Plástico	200	Refrigerar	Hasta 7 días
Fósforo	Vidrio	100	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH≤2	Hasta 28 días
Nitratos	Plástico	200	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH≤2	Hasta 28 días
Turbiedad	Vidrio ámbar	100	Refrigerar y guardar en oscuridad	Hasta 48 horas
Microbiológicos	Vidrio estéril	200	Refrigerar	Hasta 30 horas

7.10.5. PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO

Las muestras de aguas se enviaron a CENICAFE, manteniendo la cadena en frío, allí se realizaron los análisis químicos y microbiológicos por triplicado.

Para la determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas se utilizaron los métodos que se describen a continuación:

Turbiedad: Método absortométrico, de la HACH y el espectrofotómetro DR2000. Rango de medida (0 a 450 unidades Formazina de Turbidez, FTU, las cuales son equivalentes a las unidades nefelométricas de turbidez, NTU) se leyó a una longitud de onda de 450 nm (HACH, 1988).

Color: Método absortométrico. Utilizando un espectrofotómetro DR2000 Rango de medida de 0 a 500 unidades de Platino - Cobalto (Pt-Co). Se leyó a una longitud de onda de 455 nm (HACH, 1988).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Método de reflujo cerrado, método colorimétrico desarrollado por la HACH y aprobado por la U.S.EPA (HACH, 1988), utilizando un Espectrofotómetro HACH referencia DR-2000 y una longitud de onda de 420 nm

Fosfatos: Método absortométrico del ácido ascórbico de la HACH (Aprobado por la U.S.EPA y adaptado del Standard Methods) y el espectrofotómetro DR2000. Rango de medida (0,0 a 2,5 ppm PO₄³⁻) se leyó a una longitud de onda de 890 nm(HACH, 1988).

Nitratos: Método absortométrico de reducción con cadmio, de la HACH y el espectrofotómetro DR2000. Rango de medida (0,0 a 30 ppm NNO³⁻) (HACH, 1988). La medición se debe realizar a 500 nm.

Sólidos Totales (ST): Método gravimétrico (APHA, AWWA, WPCF, 1992). 105-103°C, Tiempo 24 horas (hasta peso constante)

Coliformes Totales y Fecales: Método de filtración por membrana que se basó en hacer pasar la muestra de agua problema, a través de un filtro de membrana microporosa en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos. Se utilizó una membrana de Millipore tipo HA (hidroanálisis), que tiene un tamaño de poro de 0,45 micras y como medio de cultivo Agar Cromocult. Temperatura de incubación 35°C, tiempo de incubación 24 horas

Para realizar la determinación de fósforo total (P_T) como Fosfatos y nitrógeno como N-NO₂ (nitritos) y N-NO₃ (Nitratos) fue necesario restituir el pH de la muestra, para ello antes de realizar el análisis se agregó NaOH a las muestras destinadas para estos análisis hasta obtener el pH original y luego se ajustó según la metodología. (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

7.11. PROTOCOLO TOMA DE MUESTRA DE MACROINVERTEBRADOS POR METODOLOGÍA MANUAL

Entre las diversas metodologías que la literatura reporta para la recolección de macroinvertebrados, se seleccionó realizar la de colecta manual; la cual consiste en levantar los materiales (piedras, material vegetal, grava) en los cuales se encuentran adheridos los especímenes en estudio; esta metodología es semicuantitativa se fundamenta en la valoración de puntaje asignado por Roldán(1999) dependiendo del organismo encontrado.

7.11.1. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Bandeja Esmaltada o de fondo blanco, esto ayuda a la identificación de organismos recolectados.
2. Alcohol al 70%
3. Lupa
4. Pinceles
5. Pinzas punta fina
6. Frascos
7. Bolsas Ziploc
8. Cinta de enmascarar
9. Marcador
10. Red Thienneman - Red circular para colecta manual
11. Oxímetro
12. Turbidímetro
13. pH metro
14. Conductímetro
15. Lavador con agua destilada
16. Flotadores para medir caudal
17. Toallas desechables
18. Cinta métrica

7.11.2. SELECCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO

1. Se buscó un lugar próximo al muestreo de aguas, que además tuviese ecosistemas poco perturbados, y en el cual se encuentre la mayor diversidad de coriotopos. Para así determinar el área de muestreo (entre 10 y 15 m²).
2. La metodología de muestreo escogida no se varió durante el estudio, para este caso se realizó por colecta manual y teniendo en cuenta los siguientes biotopos.

7.11.2.1 CORÍOTOPOS QUE SE BUSCA ENCONTRAR EN CADA ESTACIÓN DE MUESTREO

1. **Cascada:** Es la muestra que se recoge de las piedras ubicadas en esta área, se utilizó un pincel para evitar el maltrato de los organismos y se ayudó con la malla de colecta manual.
2. **Salpicadura:** Este biotopo casi siempre se encuentra al lado del coríotopos de cascada, son las piedras que tienen caída y golpe de agua, en pequeñas gotas. Al igual que la anterior se ayudó de pincel y malla para evitar maltratar los organismos.

3. **Hojarasca:** Se encuentra en los cúmulos de hojas que se amontonan por la caída del material vegetal proveniente de las plantas que se encuentran en los árboles que están en la ribera del cuerpo de agua, por lo general se ubica en las orillas o en áreas en las que el caudal ha subido y luego desciende, dejando materia orgánica en estos sitios; éste es un lugar muy importante por la variedad de organismos que allí se encuentran.



Foto 15. Abundante caída de hojas, sobre la quebrada, ideal para tomar muestra de hojarasca

4. **Ribera:** Es el área ubicada en las orillas, allí se pueden encontrar material vegetal que se deben manipular con extremo cuidado para el éxito del muestreo, es un microhabitat importante dado que en el mismo se conjugan nutrientes de suelo y de la quebrada lo que sugiere ser invaluable en la diversidad que allí se pueda encontrar. No obstante este biotopo en ocasiones no es posible observarlo.



Foto 16. Colecta de macroinvertebrados en campo.

5. Piedra corriente lenta: Ubicada en zonas en las que la velocidad de la corriente del cuerpo de agua es muy poca, en ocasiones se observan remansos, para la toma se debe ayudar de la malla y luego pasar a la bandeja, la diferenciación de organismos se debe realizar con pinceles y pinzas.

6. Piedra corriente rápida: Ubicada en los sitios en los que hay movimiento de agua con

velocidad, pero con las piedras sumergidas, debe utilizarse la malla y la bandeja para la toma de la muestra.

7. Musgo sobre piedra: Como su nombre lo indica es el musgo ubicado sobre la piedra, se recoge lo que está en el borde entre el agua y aire.



Foto 17. Musgo sobre piedra

8. Musgo en cascada: Como su nombre lo indica, es el musgo que se encuentra sobre piedras, su aspecto es similar a una lapa verde que por la caída del agua se forma (este microhabitat en algunas

oportunidades es muy complicado de visualizar sin embargo es uno de los más importantes)

9. Grava: Son las piedras, se caracteriza por tener un diámetro muy pequeño entre 2 a 64 mm, se puede encontrar en el remanso de las piedras más grandes.

7.11.2.2. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS

Las muestras se almacenaron en recipientes y se utilizó alcohol al 70%, es conveniente este porcentaje en la concentración de alcohol debido a que una concentración más alta podría deshidratar los especímenes recolectados. Cada colecta se marcó.



Foto 18. Clasificación inicial de macroinvertebrados en campo

Fecha: _____
Estación _____
Cortotopo: _____
Realizado por _____

Figura 10. ESQUEMA DEL ETIQUETA PARA IDENTIFICAR LOS MACROINVERTEBRADOS

Tabla 7. **RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS**

CORIOTOPO	RECIPIENTE
Cascada	Frasco plástico pequeño
Salpicadura	Frasco plástico pequeño
Hojarasca	Bolsa Ziploc
Ribera	Bolsa Ziploc
Piedra Corriente Lenta	Frasco plástico pequeño
Piedra Corriente Rápida	Frasco plástico pequeño
Musgo sobre Piedra	Bolsa Ziploc
Musgo en cascada	Bolsa Ziploc
Grava	Bolsa Ziploc

7.12. PROCEDIMIENTO EN LABORATORIO

Una vez en el laboratorio se realizó la separación en bandejas blancas, allí se colocaron las muestras y se movió suavemente el sedimento con ayuda de pincel y las pinzas, se separaron los organismos y se clasificaron e identificaron con ayuda de estereoscopios, apoyándose de claves taxonómicas, las muestras se mantuvieron en alcohol al 70%.

Este método es semicuantitativo, se fundamenta en la adaptación que Roldán (1998) realizó del método BMWP para Colombia; en el que ha asignado un puntaje (De 10 a 1) a los macroinvertebrados, basado en la resistencia que presentan los organismos a los cambios del hábitat; siendo 10 el puntaje asignado a las familias más susceptibles y uno a las familias más resistente.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados de los diferentes parámetros analizados en la investigación, la mayoría se publican con ayuda de graficas las cuales permiten la identificación de los cambios más trascendentales del estudio en cada uno de los parámetros.

8.1. PARAMETROS QUÍMICOS

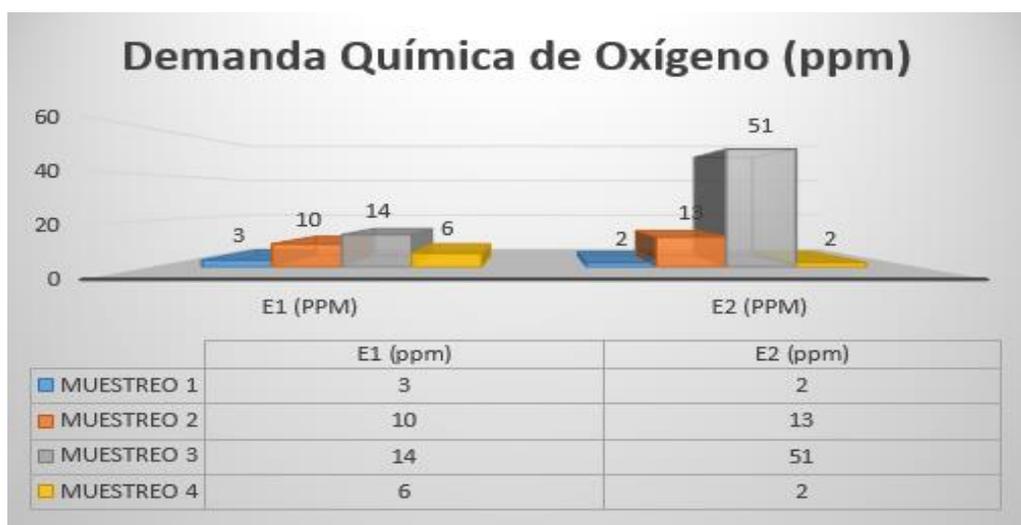


Figura 11. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (ppm)

La DQO es un indicador importante para el control de la contaminación de las corrientes donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto. Sawyer Y McCarty (2001). El aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno, provocando que algunas especies de peces y otras especies acuáticas deseables ya no puedan vivir en las aguas donde están presentes dichos microorganismos CAN (2005). Entonces la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica contaminante, el proceso de purificación es decir la oxidación es realizada por microorganismos, como se observa en la gráfica 10, el muestreo tres en la estación dos muestra una elevación (51 ppm de DQO), si está es comparada con los otros días de

muestreo; revisando los reportes de los resultados microbiológicos, se evidencia el aumento considerable del mismo para este día; lo cual infiere la posible descarga de materia orgánica en esta fecha y aguas abajo de la estación uno, lo cual aceleró la proliferación de bacterias para la misma fecha y estación de muestreo dos.

A nivel general, la estación dos siempre obtuvo resultados más altos en éste parámetro, exceptuando el último día lo cual se debió a que la estación uno para esta fecha tuvo una intervención contundente, la cual redujo de manera significativa el caudal en la estación uno y lo aumento en la estación dos.

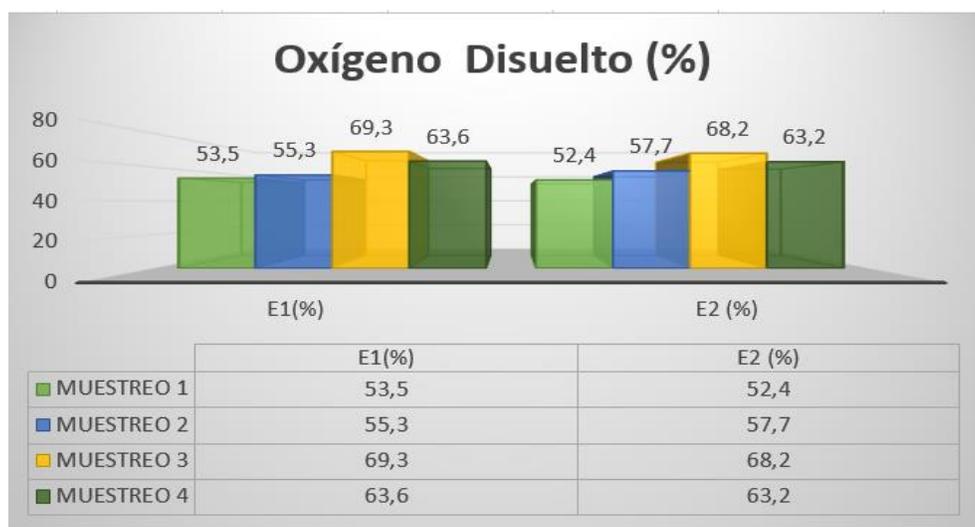


Figura 12. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE OXIGENO DISUELTO (%)

Este parámetro resulta trascendental debido a que el mismo es necesario para el mantenimiento de plantas, animales y las demandas bioquímicas, las descargas altas de materia orgánica disminuyen la cantidad de oxígeno disponible por el incremento de la demanda para su degradación, la gráfica 11, muestra que el nivel de oxígeno disponible en casi todos los muestreos los valores son muy similares, con diferencias máximas que no superan el 5%. Obsérvese, en el muestreo dos hay una reducción en los valores frente a los datos obtenidos el mismo día en la estación dos; lo cual se relaciona con la gran diferencia y cantidad de familias de microorganismos encontrados en esta estación para este día, figura 24 lo cual refiere, la gran cantidad de organismos que requerían oxígeno en este punto para este día, esto pudo hacer que descendiera este parámetro para este día en este

punto específicamente dada la demanda requerida por los macroinvertebrados, se descarta la posibilidad que fuese por el aumento de microorganismos dado que la gráfica 21 muestra que aunque el valor para coliformes totales es alto, el mismo es menor en el punto uno frente al punto dos.

A nivel general todas las lecturas están por encima del valor crítico el cual se reporta en Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS 2000-, que tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector de agua potable y saneamiento básico y sus actividades complementarias que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces. El Título C, comprende los sistemas de potabilización, donde se establecen las condiciones y requisitos mínimos que debe cumplir el agua cruda para su tratamiento.

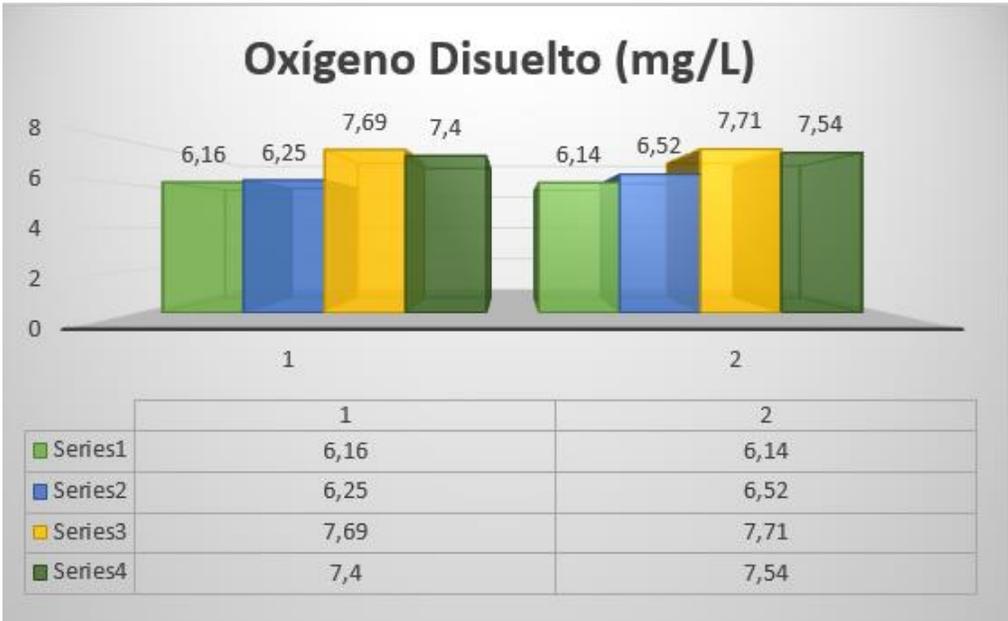


Figura 13. GRÁFICA REPRESENTATIVA DE LOS VALORES DE OXIGENO DISUELTO (mg/L)

El título C de la resolución, establece el valor para oxígeno disuelto para una fuente de agua aceptable (equivale al menor grado de polución de la corriente), que debe ser mayor o igual

a 4.0 mg/L, observando la gráfica 11 se evidencia que el cuerpo de agua que mantuvo buena saturación de oxígeno en los cuatro momentos del muestreo.

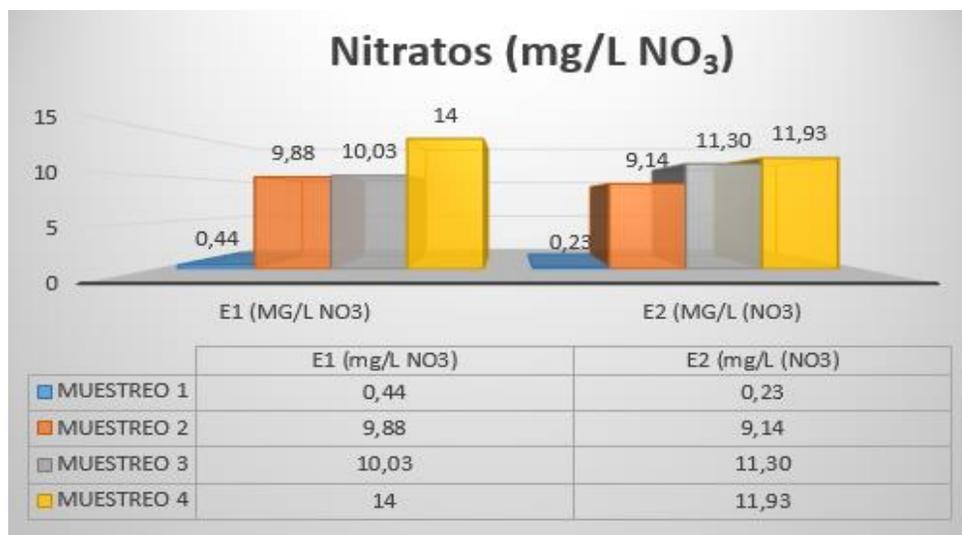


Figura 14. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE NITRATOS (mg/L NO₃)**

Los nitratos son una forma de nitrógeno que todas las plantas necesitan para crecer, es de destacar que en el área de estudio se desarrollan varios cultivos, uno de los factores de mayor incidencia puede ser el uso de fertilizantes con nitrógeno para enriquecer el suelo. Desafortunadamente, los nitratos pueden contaminar los acuíferos de las aguas subterráneas y superficiales. Universidad de Florida (2005).

La Resolución 2115 de 2007, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y del Ministerio de la Protección Social, establece que los nitritos y nitratos, tienen implicaciones sobre la salud humana, y por lo tanto, la concentración nitratos debe ser menor o igual a 10 mg/L de N-NO₃. Las altas concentraciones que se evidencian en los resultados que se visualizan en la gráfica 13, podrían causar eutrofización.

La mayoría de las lecturas están muy cercanas al valor máximo permitido, solo en el primer muestreo total observado es muy bajo; en último muestreo el valor aumenta en ambas estaciones de muestreo siendo más alto en la estación uno. La elevación de la concentración se pudo deber a la afectación por la intervención que se realizó por el arreglo de una vía

que cruza la quebrada las brujas en la estación 1, lo cual ocasionó una reducción evidente del caudal en el último muestreo, Observar la foto 19.



Foto 19. Estación 1 de muestreo, intervención construcción vía, esta foto fue tomada en abril, se evidencia el amento de caudal en este punto.

De manera similar a los nitratos, los fosfatos pueden producir la eutrofización, CAR (2012) señala que cantidades del orden de milésimas por miligramo, activan de manera significativa el crecimiento del fitoplancton lo cual puede generar cambios significativos en el sistema acuático.

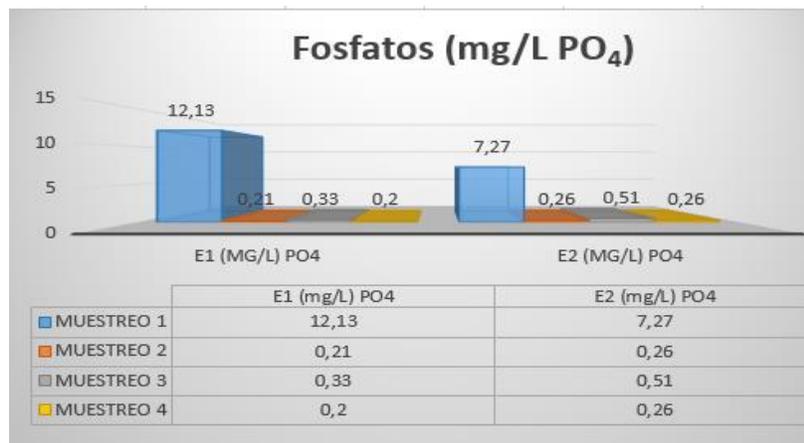


Figura 15. GRAFICA REPRESENTATIVA DE FOSFATOS (mg/L PO₄)

La resolución 2115 de 2007 señala que el parámetro de fosfatos tiene implicaciones indirectas sobre la salud humana con un valor por encima de 0,5 mg/L.

El IDEAM en el estudio nacional del agua (2010) afirma que el nitrógeno y el fósforo provenientes esencialmente del uso de fertilizantes en la agricultura, pueden provocar eutrofización; esto produce un crecimiento excesivo y molesto de plantas acuáticas, que consumen oxígeno y reducen su disponibilidad para los peces, limitando su reproducción y desarrollo e, incluso, causándoles la muerte. p232.

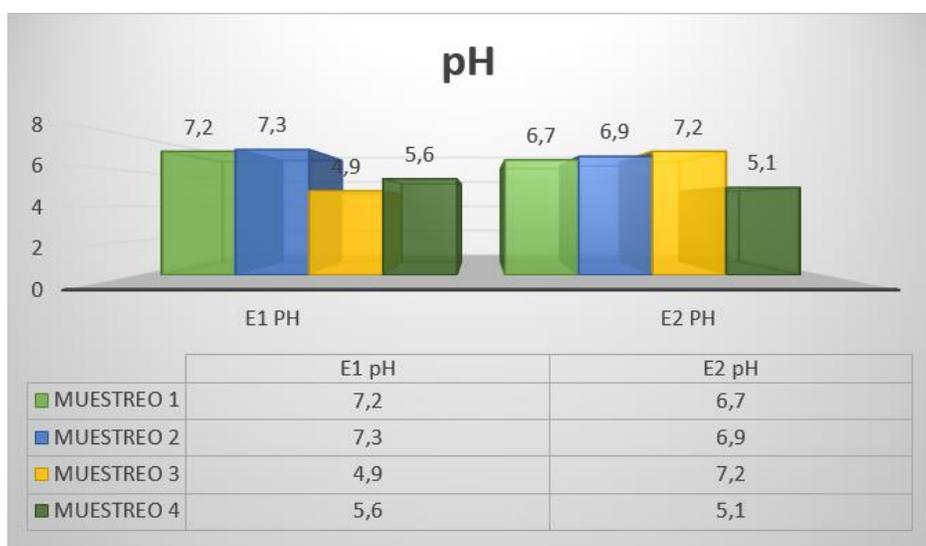


Figura 16. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE pH**

Los cambios significativos de pH, se originan por la contaminación de los ecosistemas acuáticos, los cuales rompen el equilibrio en el hábitat, esto ocasiona, que sea más dificultosos los procesos de respiración y fotosíntesis, produciendo el agotamiento de oxígeno en horas de la noche y el exceso de producción en el día, afectando seriamente en los organismos acuáticos.

Según la norma Colombiana Resolución 2115 de 2007, el pH del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 5,5 y 9,0 unidades de pH. Teniendo en cuenta los valores registrados, se logra identificar que el muestreo tres en la estación uno y el muestreo cuatro para las dos estaciones se encuentran por fuera del rango para esta normativa, además si se compara el índice BMWP- Col, también se identifica una reducción significativa en los macroinvertebrados recolectados en estos muestreos.

8.2. PARAMETROS FISICOS

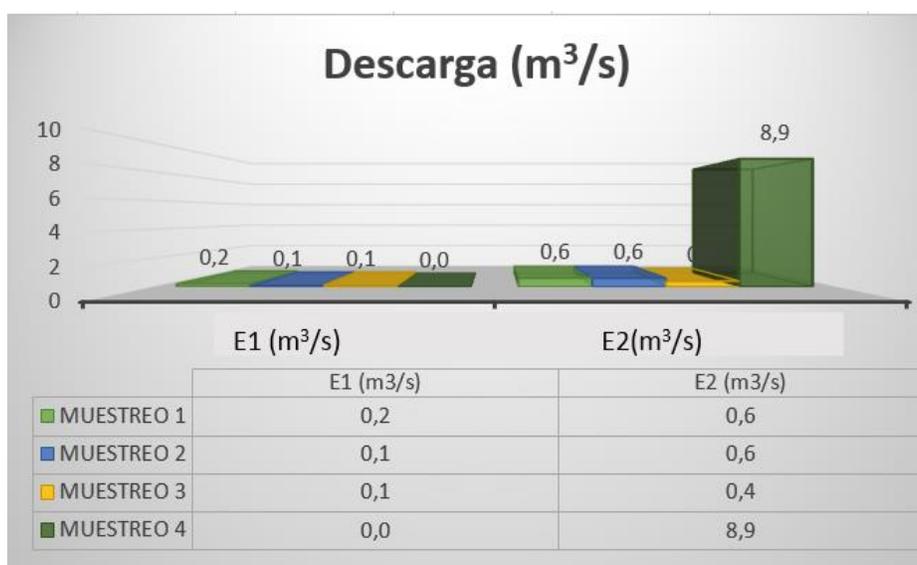


Figura 17. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE LA DESCARGA (m³/s)**

La Descarga o caudal de agua de la Quebrada Las Brujas, se aprecia muy oscilante, sin embargo, es claro que en la estación de muestreo uno, el caudal era menor frente a lo encontrado en la estación dos, es de resaltar que en el último muestreo la estación uno fue afectada por una intervención la cual consistió, en una reconstrucción de un paso sobre la



Foto 20. Huellas de vehículos del paso que hay sobre la quebrada en la estación uno

quebrada; éste paso había sido arrastrado por una creciente, debido a que la estructura anterior solo era un tablón, fue esta la razón por la cual en el último muestreo en la estación uno no fue posible la lectura del caudal, la reducción del caudal no permitió que los flotadores circularan sobre el agua,

Asi mismo se redujo el valor de BMWP- Col en ese punto, este mismo día. No obstante en el muestreo de la estación dos, para éste mismo día se observaron peces de aproximadamente 5cm, y se incrementó el caudal de forma considerable, lo cual hace pensar el desplazamiento de los organismos acuáticos debido al impacto en la construcción que se describió con anterioridad, finalmente, los registros de precipitación que se observan, no son tan significativos en las fechas de muestreo.

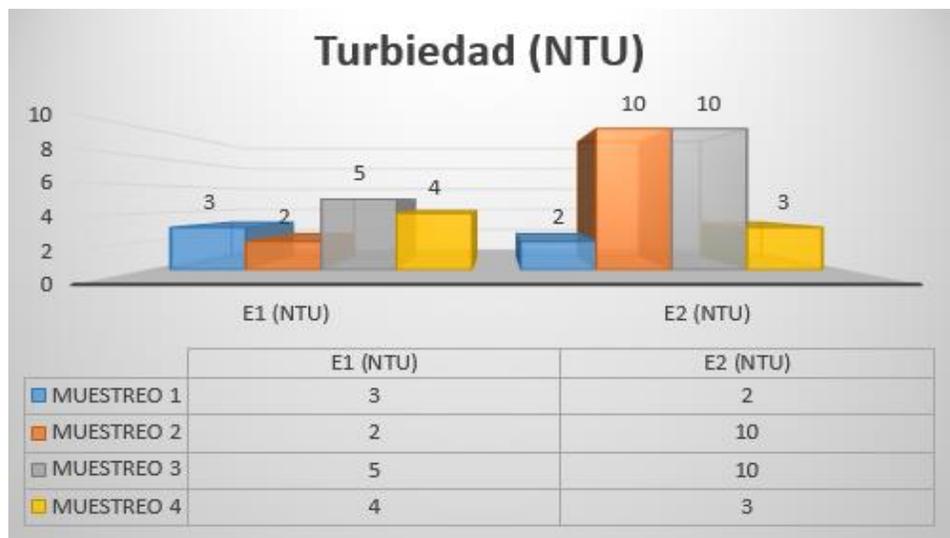


Figura 18. GRAFICA REPRESENTATIVA DE LA TURBIEDAD (NTU)

La turbiedad es el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. De acuerdo a la resolución 2115 de 2007, el valor máximo permitido es de 2 NTU, para aguas de consumo humano, como se verifica en la gráfica, los valores son altos, según los lineamientos de la normativa, este incremento puede asociarse a las precipitaciones del área de estudio, no obstante, también los vertimientos o la construcción de vías pueden hacer que se altere de forma significativa este parámetro. Es de resaltar que este parámetro interfiere con la transmisión de la luz la cual tiene gran incidencia en los procesos biológicos del cuerpo de agua, la cual desde el punto de vista fotosintético, es importante para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos.

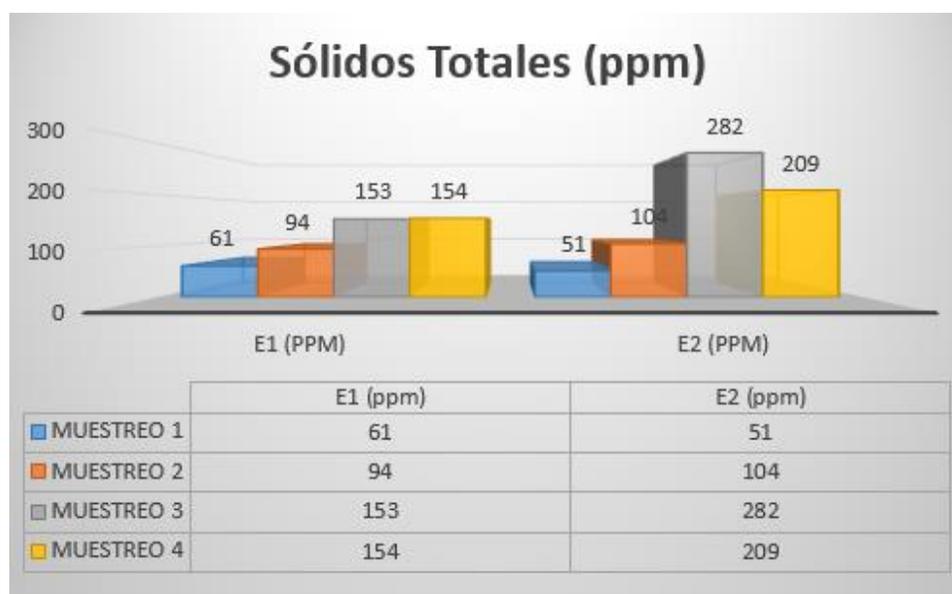


Figura 19. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS SÓLIDOS TOTALES (ppm)**

Roldán (2013) enuncia que los sólidos totales y la conductividad se relacionan para determinar las relaciones edáficas y la productividad del cuerpo del agua natural, en la norma técnica colombiana 813 enuncia el valor máximo permitido para el agua potable en el parámetro de solidos totales es 200 mg/L, de acuerdo a lo observado, en el muestreo 3 y 4 en la estación 2 excede el valor permitido en la normativa.

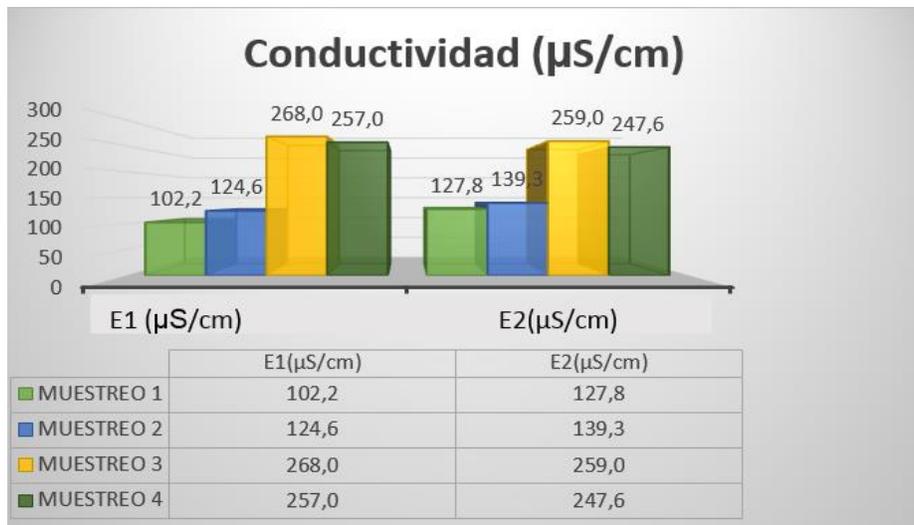


Figura 20. GRAFICA REPRESENTATIVA DE LA CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Roldán (2013), menciona que la conductividad está directamente relacionada con el metabolismo del sistema acuático. Además las altas diversidades corresponden a las bajas conductividades, lo cual se verifica en los resultados obtenidos, en el muestreo tres hay una reducción significativa en el índice BMWP-Col, lo cual contrasta con el incremento en la conductividad. La resolución 2115 de 2007 enuncia que el valor máximo aceptable para aguas potable es de $1000\mu\text{S}/\text{cm}$, revisando los datos obtenidos ningún valor registrado supera el límite que la norma exige.

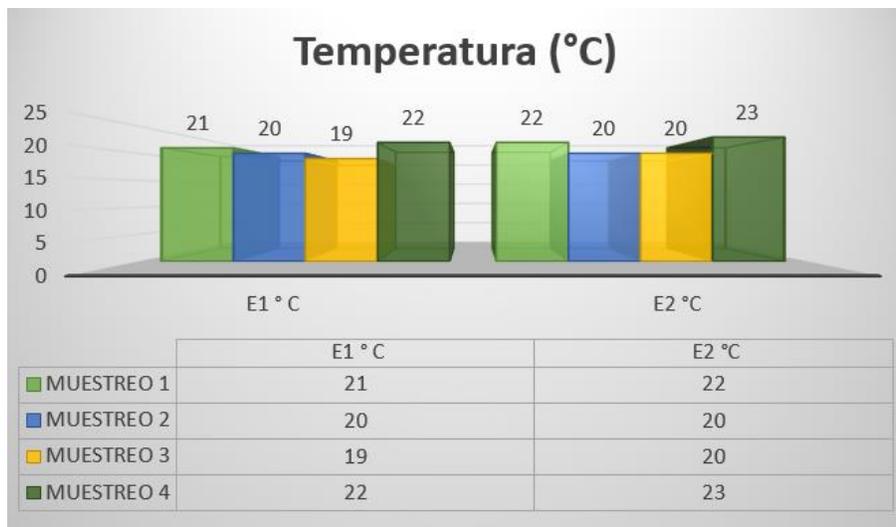


Figura 21. GRAFICA REPRESENTATIVA DE LA TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)

La temperatura en ninguna estación y en ningún día de muestreo, superó los 25 °C, fue relativamente estable, no se verifican cambios bruscos, lo cual posiblemente no interfirió con los procesos biológicos de los macroinvertebrados presentes en La Quebrada Las Brujas.

8.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

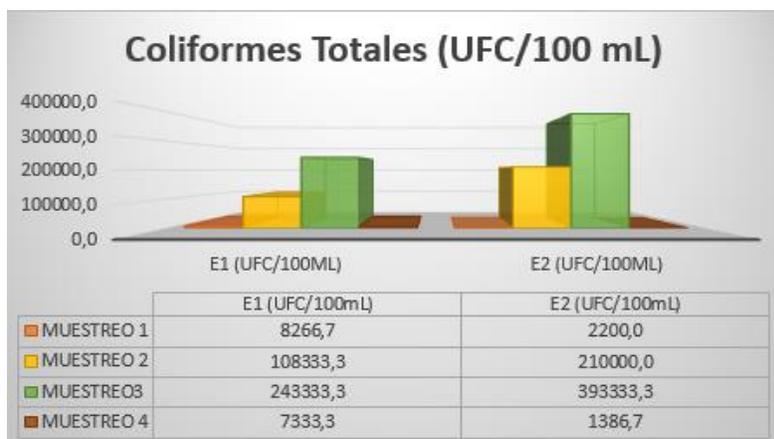


Figura 22. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS COLIFORMES TOTALES (UFC/100mL)**

Los Coliformes Totales son un grupo de bacterias gram negativas, que se encuentran comúnmente en plantas, suelo, y animales además de humanos, La presencia de este tipo de bacterias es indicio de aguas contaminadas. Los coliformes fecales tienen particular interés, ya que pueden generar infecciones oportunistas, especialmente en el tracto respiratorio. La norma técnica colombiana 813, para agua de consumo humano, enuncia que el máximo permitido es de 100 colonias por cm³, es de resaltar que los valores se verifican altos, llama la atención que en el muestreo tres en ambos puntos el conteo es alto lo cual se refleja en el valor para coliformes fecales.

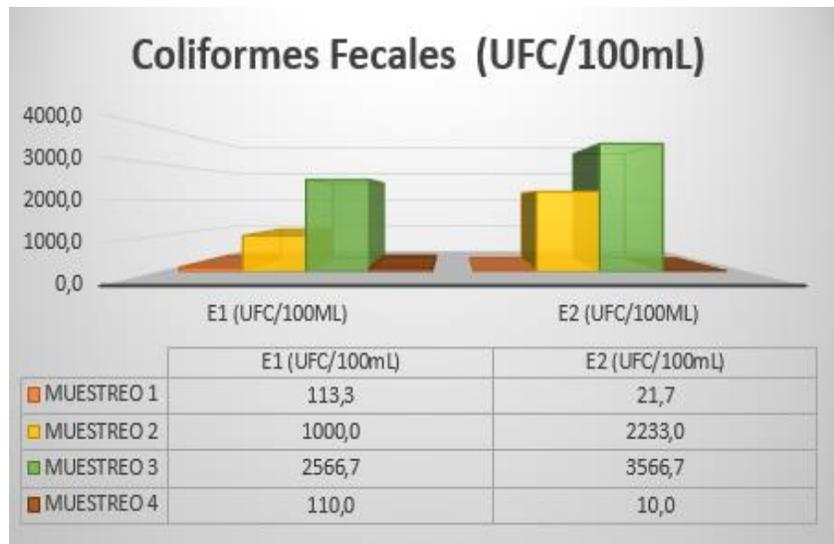


Figura 23. **GRAFICA REPRESENTATIVA DE LOS COLIFORMES FECALES (UFC/100mL)**

Es importante aclarar que en la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de la protección social, ambiente, vivienda y desarrollo territorial en la que se fijan los parámetros para agua de consumo, establece, que la cantidad de *Escherichia coli*, es decir coliformes fecales con la técnica de filtración por membrana es de 0 UFC/100 cm³, de acuerdo con lo anterior es evidente que la carga contaminante de microorganismos es muy alta lo cual se puede deber a las actividades agropecuarias del área y a las aguas residuales domésticas. De acuerdo con los resultados observados, en todos los muestreos los valores obtenidos están por encima de la norma, y hay variaciones entre los puntos para el mismo día, lo cual es posible que se deba a explotaciones pecuarias cercanas a la quebrada las Brujas.

8.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA OBTENIDA EN LOS MUESTREOS

En la tabla que se muestra a continuación se presentan las variables utilizadas en la determinación del índice de calidad, sus unidades de medida y el factor de ponderación dado por la NSF.

Tabla 8. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

Variable	Unidades	Factor (Fi)	M1 E1	Valor (Qi)	FiQi	M1 E2	Valor (Qi)	FiQi	M2 E1	Valor (Qi)	FiQi	M2 E2	Valor (Qi)	FiQi	M3 E1	Valor (Qi)	FiQi	M3 E2	Valor (Qi)	FiQi	M4 E1	Valor (Qi)	FiQi	M4 E2	Valor (Qi)	FiQi
O ₂ disuelto	% Sat.	0,17	53,5	48	8,16	52,4	46	7,82	55,3	51	8,67	57,7	55	9,35	69,3	73	12,41	68,2	72	12,24	63,6	64	10,88	63,2	62	10,54
Colif. fecales	NMP/100 mL	0,16	113,3	43	6,88	21,7	62	9,92	1000	22	3,52	2233	18	2,88	2567	17	2,72	3566,7	15	2,4	110	43	6,88	10	72	11,52
pH	Unidades	0,11	7,2	88	9,68	6,7	88	9,68	7,3	88	9,68	6,9	88	9,68	4,9	27	2,97	7,2	88	9,68	5,6	55	6,05	5,1	27	2,97
DBO ₅ <small>Se toma la mitad de la DQO</small>	ppm	0,11	1,5	90	9,9	1	95	10,45	5	56	6,16	7	46	5,06	7	46	5,06	26	7	0,77	3	67	7,37	1	95	10,45
Cambio Temp. Entre estaciones	°C	0,1	1	89	8,9	1	89	8,9	0	93	9,3	0	93	9,3	1	89	8,9	1	89	8,9	0	93	9,3	0	93	9,3
Fosfatos	ppm	0,1	12,13	2	0,2	7,27	0,727	0,073	0,21	100	10	0,26	0,26	0,026	0,33	100	10	0,51	100	10	0,2	100	10	0,26	100	10
Nitratos	ppm	0,1	0,44	97	9,7	0,23	97	9,7	9,88	51	5,1	9,14	53	5,3	10,03	51	5,1	11,3	49	4,9	14	45	4,5	11,93	48	4,8
Turbidez	NTU	0,08	3	90	7,2	2	93	7,44	2	93	7,44	10	76	6,08	5	86	6,88	10	76	6,08	4	88	7,04	3	90	7,2
Sólidos Totales	ppm	0,07	61	87	6,09	5	81	5,67	94	84	5,88	104	83	5,81	153	79	5,53	282	62	4,34	154	78	5,46	209	71	4,97
ICA Total					67,2			70			65,8			53,5			59,6			59,3			67,5			71,8

Para la interpretación de los resultados obtenidos se asociaron a seis rangos así:

Tabla 9. CATEGORIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN ICA ÍNDICE

RANGO	ABREVIATURA
EXCELENTE	E
ACEPTABLE	A
LEVEMENTE CONTAMINADA	LC
CONTAMINADA	C
FUERTEMENTE CONTAMINADA	FC
EXCESIVAMENTE CONTAMINADA	EC

Según la escala de clasificación de la NSF la calidad del agua en la Quebrada Las Brujas, en la mayoría de los muestreos fue media, la cual se considera levemente contaminada y se podría utilizar en riego agrícola para la mayoría de cultivos, requiere de un tratamiento potabilizador para su uso destinado al consumo humano y tiene restricciones para ser utilizada con fines recreativos; solo en el muestreo cuatro en la estación dos está por encima del rango encontrándose en calidad buena, lo cual coincide con las observaciones que se realizaron este día, en el que vieron peces en esta estación. Esto basado en la clasificación propuesta por Idinus (1987), los cuales se observan en el siguiente cuadro..

Criterios generales de uso del agua según el índice de calidad, clasificación propuesta por Idinus (1987) referenciado por La Universidad de Pamplona

Figura 24. ESQUEMA DE CRITERIOS GENERALES DE USO DE AGUA SEGÚN ICA

Uso Como Agua Potable	
90-100 E	- No requiere purificación para consumo.
80-90 A	- Purificación menor requerida.
70-80 LC	- Dudoso su consumo sin purificación.
50-70 C	- Tratamiento potabilizador necesario.
40-50 FC	- Dudosa para consumo.
0-40 EC	- Inaceptable para consumo.
Uso En Agricultura	
90-100 E	- No requiere purificación para riego.
70-90 A	- Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
50-70 LC	- Utilizable en mayoría de cultivos.
30-50 C	- Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
20-30 FC	- Uso sólo en cultivos muy resistentes.
0-20 EC	- Inaceptable para riego.
Uso En Pesca Y Vida Acuática	
70-100 E	- Pesca y vida acuática abundante.
60-70 A	- Límite para peces muy sensitivos.
50-60 LC	- Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
40-50 C	- Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
30-40 FC	- Inaceptable para actividad pesquera.
0-30 EC	- Inaceptable para vida acuática.
Uso Industrial	
90-100 E	- No se requiere purificación.
70-90 A	- Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
50-70 LC	- No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal.
30-50 C	- Tratamiento para mayoría de usos.
20-30 FC	- Uso restringido.
0-20 EC	- Inaceptable para cualquier industria.
Uso Recreativo	
70-100 E	- Cualquier tipo de deporte acuático.
50-70 A	- Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
40-50 LC	- Dudosa para contacto con el agua.
30-40 C	- Evitar contacto, sólo con lanchas.
20-30 FC	- Contaminación visible, evitar cercanía
0-20 EC	- Inaceptable para recreación.

Criterios generales de uso del agua según el índice de calidad, clasificación propuesta por Idinus (1987) referenciado por La Universidad de Pamplona

Comparando los resultados que se obtuvieron en el índice de calidad de agua y el índice BMWP- Col se observa,

Tabla 10. **RESULTADOS OBTENIDOS DEL ÍNDICE BMWP- Col y categorización correspondiente**

ÍNDICE	M1 E1	M1 E2	M2 E1	M2 E2	M3 E1	M3 E2	M4 E1	M4 E2
BMWP-Col	80	47	84	57	42	66	26	73
ICA	67,2	70	65,8	53,5	59,6	59,3	67,5	71,8

BMWP-Col	ICA
Buena > 150 101 - 120	Excelente 91 - 100
Aceptable 61 - 100	Buena 71 - 90
Dudosa 36 – 60	Media 51 - 70
Crítica 16 – 35	Mala 26 -50
Muy Crítica < 15	Muy mala 0-25

En el muestreo uno, estación uno se obtiene un puntaje 80 ubicándolo en aceptable para BMWP – Col , y para el índice ICA se alcanza un valor cercano al máximo del rango de calidad media. En cuanto a la estación dos, se ubicó como dudosa BMWP-Col con 47 puntos y media en el ICA con 70.

En cuanto al muestreo dos, estación uno se obtuvo 84 para BMWP-Col y 65,8 para ICA, verifica un comportamiento similar al descrito con anterioridad en el que el índice ICA está cercano al rango de calidad buena, en la estación dos ambos

datos se encuentran en un rango medio y dudoso.

En el muestreo tres, estación uno se encuentran en agua dudosa con un valor de 42 en BMWP Col y media de 59,6 para ICA, en cuanto a la estación 2, para el índice BMWP-Col se encuentra en un valor aceptable aunque en los valores más bajos de este rango y el índice ICA, se encuentra en el valor medio con 59,3.

Finalmente en el muestreo cuatro estación uno es donde se observa mayor varianza en los resultados obtenidos, lo cual se puede relacionar con la reconstrucción de la vía que se describió en capítulos preliminares, en cuanto a la estación dos para el muestreo 4, se

identifica que para BMWP- Col, está en el rango de aceptable y para el ICA como agua buena.

Ahora bien, aún con las particularidades de cada índice evaluado, se encontraron relaciones cercanas entre los resultados BMWP- Col e ICA, aunque la categorización y los rangos difieren en cuanto a los valores y la denominación; sin embargo, existen similitudes entre las características que estas presentan, algunos de los resultados obtenidos se encontraron en el mismo color asignado para cada índice en las diferentes clases o tipos de agua, finalmente, en algunos casos se observó que si se comparaba la categorización de un índice con el otro, variaban a la categoría más cercana; sin embargo, el puntaje que lo ubicaba en esta nueva categoría se encontraba próximo al nivel de clasificación homólogo del índice comparado.

8.5. MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS

Tabla 11. LISTADO DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 1 Y 2

Fecha	Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	E 1	puntaje	E 2	puntaje	
Muestreo 1	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	thraulodes	X	9	X	9	
				Baetidae	baetodes			X	7	
			Trichoptera	Helicopsychidae	helicopsyche	X	8			
				Hydropsychidae	smicridea				X	7
			Hemiptera	Veliidae	microvelia	X	8			
					rhagovelia	X	8	X	8	
				Naucoridae	pelocoris	X	7			
			Gerridae	eurygerris	X	8				
			Coleoptera	Gyrinidae	gyretes	X	9	X	9	
				Elmidae	syloopus	X	6			
				Psephenidae	psephenops	X	10			
SUMATORIA DE ACUERDO AL INDICE BMWP- Col							80		47	
Fecha	Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	E 1	puntaje	E 2	puntaje	
Muestreo 2	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	X	9			
					Alopophelia	X	9	X	9	
				Baetidae	Baetodes			X	7	
			Leptohyphidae	Haplohyptis	X	7				
			Trichoptera	Leptoceridae	Triplectides	X	8			
				Hydropsychidae	Leptomena	X	7	X	7	
			Coleoptera	Psephenidae	Psephenops	X	10	X	10	
				Elmidae	Heterelmis	X	6			
				Gyrinidae	Gyretes	X	9			
			Diptera	Culicidae	Anopheles	X	2			
					Aedes	X	2			
			Simuliidae	Simulium				X	8	
			Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	X	8			
			Odonata	Libellulidae	Micrathyrta				X	6
Arachnoidea	Acari	Lymnessiidae	Lymnessia				X	10		
SUMATORIA DE ACUERDO AL INDICE BMWP- Col							84		57	

ABUNDANCIA DE FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 1

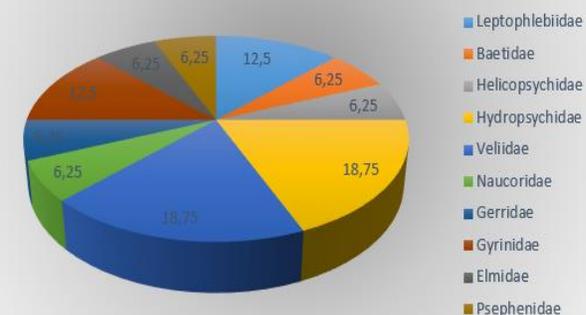


Figura 25. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 1

ABUNDANCIA DE FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 2

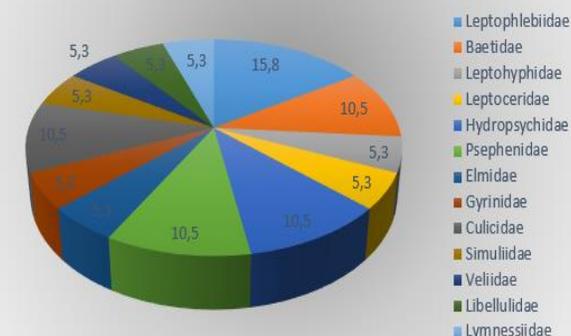


Figura 26. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 2



Foto 21. *Leptophlebiidae thraulodes* macroinvertebrado colectado en el muestreo 1

En cuanto al muestreo una estación uno, se encuentra mayor variedad de familias de macroinvertebrados, el valor de BMWP Col, está cercano al doble de lo que se obtiene en el puntaje acumulado para la estación dos, siendo 80 para la estación uno clasificándose como clase II, de calidad aceptable lo cual significa que son aguas ligeramente contaminadas. En cuanto al puntaje obtenido en el punto dos que fue de 47 clasificándola como clase III calidad dudosa lo que significa que son aguas moderadamente contaminadas. Se encontraron 10 familias, la mayoría de las encontradas tienen un puntaje alto teniendo en cuenta que el máximo en cada una es de 10 y el mínimo es uno. De acuerdo con las anotaciones de campo había mucha turbidez, lo cual se pudo ocasionar debido a que la noche anterior hubo una fuerte lluvia, es de resaltar que en los resultados de fosfatos el valor fue el más alto registrado de todos los muestreos, lo cual pudo generarse por las precipitaciones y el arrastre de material particulado a la Quebrada Las Brujas. . En cuanto a la distribución de las familias encontradas en el primer muestreo se encontraron en orden de abundancia así: Hydropsychidae 18,75; Veliidae 18,75; Leptophlebiidae 12,5; Baetidae 6,25; Gyrinidae 12,5; Helicopsychidae 6,25; Naucoridae 6,25; Gerridae 6,25; Elmidae 6,25; Psephenidae 6,25, la mayoría de estas familias tenían puntajes altos de acuerdo al índice BMWP-Col.

En cuanto al muestreo dos el valor de BMWP Col aumento en ambas estaciones, la clasificación obtenida para el punto uno fue aceptable, el valor del puntaje fue 84, en cuanto al punto dos el valor fue 57 lo cual se clasifica como agua dudosa. Aumentó la abundancia de las familias que se recolectaron a 13, sin embargo hubo más variabilidad de los puntajes que tenían los macroinvertebrados en este punto, es decir que algunos eran organismos muy susceptibles y tenían puntaje de 10, es de resaltar que se recolectaron familias con puntaje medio, es decir con mayor resistencia a cambios del entorno, en este muestreo se encontró *Culicidae anopheles* el cual es trasmisor de la malaria. En este muestreo la relación entre las familias encontradas fue la siguiente, Leptophlebiidae 15,8; Baetidae 10,5; Hydropsychidae 10,5; Culicidae 10,5; Psephenidae 10,5; Leptohiphidae 5,3; Leptoceridae 5,3; Elmidae 5,3; Gyrinidae 5,3; Simuliidae 5,3; Veliidae 5,3; Libellulidae 5,3; Lymnessiidae 5,3; no se evidenció mucha variabilidad en los puntajes asignados de acuerdo con el índice BMWP-Col para las familias de los macroinvertebrados colectados.



Foto 22. *Libellulidae micrathyria*
macroinvertebrado colectado en el muestreo
2

Tabla 12. LISTADO DE MACROINVERTEBRADOS MUESTREO 3 Y 4

Fecha	Phyllum	Clase	Orden	Familia	Genero	E 1	puntaje	E 2	puntaje		
Muestreo 3	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes			x	9		
				Baetidae	Baetodes			x	7		
			Trichoptera	Leptoceridae	Triplectides				x	8	
				Coleoptera	Hydraenidae	hydraena				x	4
			Elmidae		Heterelmis	x	6				
			Diptera	Tipulidae	Tipula	x	3				
				stratiomyidae	odontomyia	x	4				
			Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	x	8	x	8		
				Hebridae	hebrus				x	8	
					merragata					x	8
				Gerrydae	aquarius	x	8				
			Naucoridae	limnocoris					x	7	
				Pelocoris		x	7				
			Odonata	Megapodagrionidae	megapodagrion	x	6				
crustace	amphipoda	hyalellidae	-				x	7			
SUMATORIA DE ACUERDO AL INDICE BMWP- Col							42		66		
Muestreo 4	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	x	9				
				Baetidae	Baetodes				x	7	
				Gyrinidae	Gyretes	x	9	x	9		
			Hemiptera	Veliidae	Microvelia					x	9
					striduligelia						x
				Rhagovelia		x	8	x	9		
				Hebridae	Hebrus					x	8
			Gerridae	brochymetra						x	8
			Naucoridae	limnocoris						x	7
			Odonata	Calopterygidae	hetaerina						x
SUMATORIA DE ACUERDO AL INDICE BMWP- Col							26		73		

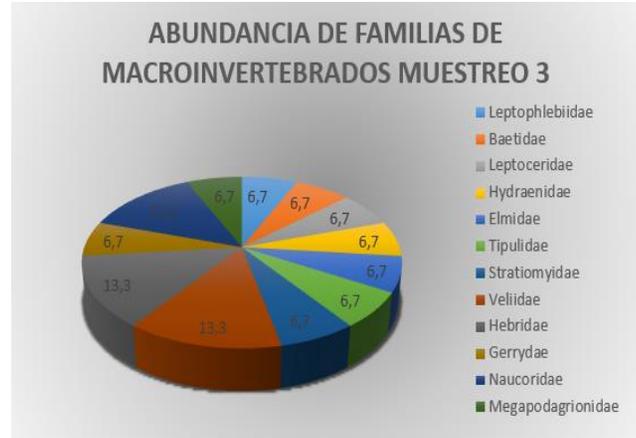


Figura 27. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 3

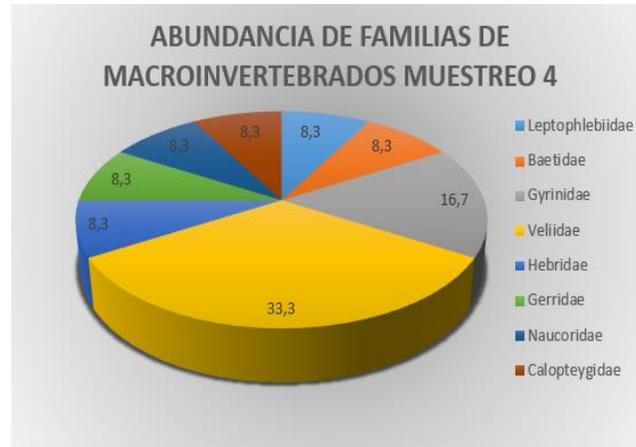


Figura 28. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS COLECTADOS MUESTREO 4



Foto 23. *Gyrinidae gyretes* macroinvertebrado colectado en el muestreo 3

En el muestreo tres, cambió el comportamiento de acuerdo al seguimiento que se había realizado con anterioridad, el punto uno el cual había presentado una calidad aceptable en ese día cambio y de acuerdo al puntaje BMWP- Col registro un agua dudosa, lo cual conlleva a pensar en contaminaciones arrojadas aguas arriba de la estación uno, es de destacar el incremento del valor de coliformes totales y de coliformes fecales, para este mismo muestreo, los puntajes de las familias no fueron tan altos, es decir que no hubo ninguna en los puntajes superiores que le adjudica el índice BMWP- Col, lo cual se pudo presentar debido a la alta contaminación que se verificó este día, el número de familias de macroinvertebrados que se colectaron para este día fueron 12, distribuidas de la siguiente manera. Hebridae 13,3; Veliidae 13,3; Naucoridae 13,3; Leptophlebiidae 6,7; Baetidae 6,7; Leptoceridae 6,7; Hydraenidae 6,7; Elmidae 6,7; Tipulidae 6,7; Stratiomyidae 6,7; Gerryidae 6,7 Megapodagrionidae 6,7, En este muestreo se evidenció un contraste marcado entre las familias encontradas algunas con asignaciones de puntaje bajos y otros altos.

En cuanto al muestreo cuatro, se destaca que la estación de muestreo uno fue intervenida; reduciendo significativamente el caudal en este punto; por lo anterior el puntaje que se obtuvo para esta estación fue muy escaso, apenas de 26 puntos, arrojando que el agua que allí se encontraba estaba en un nivel de contaminación muy crítico, contrario a lo que siempre se observó. En la estación dos se observó un incremento de macroinvertebrados clasificándola como un agua aceptable con un valor de 73, también el cauce en este punto aumentó. Es probable que las poblaciones de peces y otros organismos de la estación uno se desplazaran a nuevos espacios, ocasionando el incremento de macroinvertebrados en la estación de muestreo dos, adicionalmente se observaron peces en este punto, aunque en las fechas anteriores no se verificó un puntaje tan alto en el índice BMWP-Col en esa estación, a continuación se relacionan las familias encontradas Gyrinidae 16,7; Leptophlebiidae 8,3; Baetidae 8,3; Veliidae 33,3; Hebridae 8,3; Gerridae 8,3; Naucoridae 8,3; Calopterygidae 8,3,. En este muestreo la mayoría de los macroinvertebrados colectados tenían puntajes altos



Foto 24. *Megapodagrioidae megapodagrion*
macroinvertebrado colectado en el muestreo 4

7.12 DATOS DE PRECIPITACIÓN

Figura 29. GRAFICA REPRESENTATIVA DE LA PRECIPITACIÓN REGISTRADA EN LA ESTACIÓN LA ESTANCIA – MUNICIPIO LA VEGA CUNDINAMARCA



En

la gráfica se visualiza el nivel de precipitación registrado por el IDEAM, de acuerdo con la gráfica en el mes julio no se registraron datos. Ahora bien, teniendo en cuenta las fechas de muestreo (mayo 17, mayo 30, septiembre 20 y octubre 18 del 2014); comparando con el registro se observa que en los dos primeros muestreos hubo un incremento evidente y puntual en la precipitación, lo cual coincide con el momento de cosecha de café en el área



Foto 25. Pez visto en el muestreo 4, estación 2, el organismo fue devuelto a su hábitat

de estudio, sin embargo los niveles de descarga de la microcuenca de estos dos momentos, no se evidencia un aumento significativo. En cuanto a los muestreos tres y cuatro se visualiza un incremento, es importante mencionar que en este período no había cosecha, se destaca el incremento del caudal en el último muestreo; en la estación dos, pero como se anotó con anterioridad, este no se debió a las lluvias del área, se debió a la intervención

realizada en el primer punto de muestreo lo cual hizo que varias especies migraran a la estación dos; como los peces, Foto 22. Ahora el régimen de lluvias no resulta ser tan diferente en los diferentes momentos de muestreo, sin embargo los sólidos registrados en los dos últimos muestreos aumentaron mucho, lo cual es posible que se debiera a la intervención registrada en capítulos anteriores.

Tabla 13. RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO.

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTREO 1		MUESTREO 2		MUESTREO 3		MUESTREO 4	
		E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	ppm	3	2	10	13	14	51	6	2
OXIGENO DISUELTO	mg/L	6,16	6,14	6,25	6,52	7,69	7,71	7,4	7,54
NITRATOS	mg/L (NO ₂)	0,44	0,23	9,88	9,14	10,03	11,3	14	11,93
FOSFATOS	mg/L (PO ₄)	12,13	7,27	0,21	0,26	0,33	0,51	0,2	0,26
pH		7,2	6,7	7,3	6,9	4,9	7,2	5,6	5,1
DESCARGA	m ³ /s	0,2	0,6	0,1	0,6	0,1	0,4	0	8,9
TURBIDEZ	NTU	3	2	2	10	5	10	4	3
SOLIDOS TOTALES	ppm	61	5	94	104	153	282	154	209
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	102,2	127,8	124,6	139,6	268	259	257	247,6
TEMPERATURA	°C	21	22	20	20	19	20	22	23
COLIFORMES TOTALES	UFC/100mL	8266,7	2200	108333,3	210000	243333,3	393333,3	7333,3	1386,7
COLIFORMES FECALES	UFC/100mL	113,3	21,7	1000	2233	2566,7	3566,7	110	10
PRECIPITACIÓN	mm	206,4		206,4		66,7		214,7	
INDICE ICA		67,2	70	65,8	53,5	59,6	59,3	67,5	71,8
BMWP-COL		80	47	84	57	42	66	26	73

Es importante recordar que el cuerpo de agua del estudio se caracteriza por ser un recurso que se usa para actividades pecuarias y agrícolas, teniendo en cuenta los criterios generales de uso del agua, clasificación propuesta por Idinus (1987) se identifica los tratamientos requeridos de acuerdo a la actividad que con esta se realice, se puede verificar que de acuerdo a los resultados obtenidos en los índices ICA y BMWP-Col se encuentra en el rango que lo hace viable para ser usado para la mayoría de cultivos. Lo cual coincide con la actividad agrícola característica principal de la zona de estudio. Permitiendo aceptar la hipótesis de trabajo *“La calidad del agua de la Quebrada las brujas, calculada a partir de índices físico-químicos y biológicos es apta para los usos que del recurso realizan los pobladores de la zona”*.

Vale la pena recordar que aguas arriba de la primera estación se toma agua y se trata para abastecer el acueducto veredal; en el que se realizan varios pasos; entre estos.

- Bocatoma con rejilla
- Desarenador uno
- Desarenador dos
- Filtro primario
- Filtro secundario
- Adición de cloro
- Inyector tubo de salida
- Tanque de almacenamiento

También, resulta importante indicar que las familias que se sirven de estas aguas tratadas suelen hervir el agua antes de su consumo, razón por la cual no hay informes de enfermedades ocasionadas por el consumo de agua proveniente de la Quebrada Las Brujas, en el plan de desarrollo de La Vega (2008- 2011) enuncian el interés de construir una planta de tratamiento que pueda brindar a los habitantes agua potable; aunque en el mismo documento resalta que el 88,7% carece de alcantarillado poseen pozo séptico; y el 11,3% a campo abierto; lo cual promueve las enfermedades en la población.

9. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los índices analizados BMWP- Col e ICA, se encontraron relaciones cercanas entre los resultados, aunque la categorización y los rangos difieren en cuanto a los valores y la denominación, existe similitudes entre las características que estas presentan, algunos de los resultados obtenidos se encontraron en el mismo color asignado para cada índice en las diferentes clases o tipos de agua, finalmente, en algunos casos se observó que si se comparaba la categorización de un índice con el otro, variaban a la categoría más cercana; sin embargo, es importante resaltar que el puntaje que lo ubicaba en esta nueva categoría se encontraba próximo al nivel de clasificación homólogo del índice comparado.

Los resultados obtenidos en los índices en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos arrojaron que es un agua que puede ser usada para las actividades agrícolas propias del área de estudio. De acuerdo con la caracterización de la quebrada las Brujas, el agua está siendo usada para abastecer el acueducto veredal, aguas arriba de la estación de muestreo uno, analizando los resultados microbiológicos, se resalta la importancia que tiene el tratamiento realizado, para abastecer a la población de esta área.

Los parámetros más alejados de las escalas atribuidas en las normativas son la demanda química de oxígeno, además de los coliformes totales y fecales, los cuales están relacionados con la materia orgánica presente y puede estar asociada a la actividad pecuaria que hay en la zona, no obstante, resulta importante mencionar que en algunos momentos del muestreo, se observaron vertimientos directos a la microcuenca del estudio. A su vez, comparando estos resultados frente a los índices obtenidos BMWP- Col, se verifica que también existe una gran variedad en los puntajes obtenidos, los cuales van desde aguas ligeramente contaminadas hasta fuertemente contaminadas, lo cual se aproxima a los conceptos manejados en los parámetros fisicoquímicos anteriormente mencionados, es de resaltar que el tramo de la microcuenca Las Brujas que se estudió, el agua es usada para actividades agrícolas y pecuarias.

En la microcuenca, no se encontraron todos los hábitats de los macroinvertebrados que se mencionaban en el estudio, se hallaron especialmente, cascada, salpicadura, hojarasca, piedra corriente lenta, piedra corriente rápida; musgo y grava fue la menos frecuente en las

estaciones, se presentaron dificultades en el último muestreo en la estación uno, debido a la fuerte intervención realizada en este punto, al existir remoción de materiales, se recolectaron pocos macroinvertebrados, reflejando de esta manera la relación que estos organismos poseen con el entorno en el que se encuentran.

El desarrollo de proyectos como estos son importantes debido a que permiten realizar un aporte al diagnóstico a la calidad de agua de la microcuenca de estudio, comprobando que los seres vivos sufren afectaciones si su entorno es intervenido o modificado, evidencia las estrechas relaciones que existen en los parámetros fisicoquímicos que se analizaron, siendo fosfatos uno de los parámetros que arrojó resultados muy elevados, por fuera de la normativa establecida, lo cual puede estar muy relacionado con las características económicas que tiene la población del área de estudio, entre las que se encuentra la agricultura y entre las actividades que se desarrollan, está la fertilización del suelo, en la que se usa macronutrientes como nitrógeno, fosforo y potasio, teniendo en cuenta esto, se puede deducir que la elevación en los parámetros de fosforo y nitrógeno deriven de filtraciones del suelo originadas de la actividad agrícola.

Debido a las observaciones realizadas en las que se evidenció que algunas descargas son arrojadas directamente al cuerpo de agua, se requiere involucrar y sensibilizar a la población en el cuidado de la microcuenca.

10. RECOMENDACIONES

Es importante involucrar a la comunidad en la generación de planes estratégicos de modernización y mejora de la calidad del cuerpo de agua como los POMCA's. Invitando a la población a participar de forma activa en el cuidado y conservación de la microcuenca; realizando socialización de los resultados con esta población, identificando alternativas viables que generen conciencia en cuanto a la reducción del consumo de agua; resaltando así, la importancia que tiene este recurso en las actividades económicas, preparación de alimento y limpieza de la población. Finalmente es importante sensibilizar a la comunidad para que apoyen el monitoreo del recurso, observando y reportando cambios que puedan ayudar a identificar problemas o irregularidades en la microcuenca y su entorno; el manejo del paisaje puede aportar a la preservación de la cantidad de agua, además de generar conciencia en reducir consumo.

Es necesario el apoyo económico y las fuentes de financiamiento permanente y estable para cubrir los rubros de proyectos como estos, los cuales generan información que permite planear acciones que propenden por el cuidado de estos recursos, es por esta razón que se deben convocar a entidades estatales en la socialización de los resultados con la comunidad.

Es importante resaltar que La Quebrada Las Brujas hace parte de un sistema que se afecta por otros recursos como lo es el suelo, y dada la importancia y las relaciones que en estos se mantienen, se debe procurar el manejo del mismo, más aún si se piensa en la actividad principal de la zona.

11. ANEXOS

Anexo A. Certificación de presencia o no de comunidades étnicas en zonas de proyecto

REPUBLICA DE COLOMBIA

DCP-2500


MINISTERIO DEL INTERIOR

CERTIFICACIÓN NÚMERO 797 DE 08 MAY 2014

** Sobre la presencia o no de comunidades étnicas en las zonas de proyectos, obras o actividades a realizarse.*

EL DIRECTOR DE CONSULTA PREVIA

En ejercicio de las facultades legales y reglamentarias en especial, las conferidas en el artículo 16 del numeral 5 del Decreto 2893 de 2011 y la Resolución 1928 del 2 de diciembre de 2013 y,

CONSIDERANDO:

Que se recibió en el Ministerio del Interior el día 21 de abril de 2014, el oficio con radicado externo **EXTMI14-0016927**, por medio del cual la señora LUZ MARITZA SIERRA FANDIÑO, identificada con Cédula de Ciudadanía No. 52.423.826 de Bogotá, solicita se expida certificación de presencia o no de comunidades étnicas para el proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca, identificado con las siguientes coordenadas:

ID	LONGITUD	LATITUD
1	-74.310586	5.027463
2	-74.320120	5.013142
3	-74.309134	5.031524

Fuente: Suministrada por el solicitante; Radicado externo EXTMI14-0016927 de 21 de abril de 2014.

Que en la solicitud se anexaron los siguientes documentos técnicos: i) solicitud formal ante la Dirección de Consulta Previa con descripción general, ubicación y coordenadas del proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca. ii) CD- medio digital- con información del proyecto en mención.

Que la Dirección de Consulta Previa, procedió a revisar las bases de datos conforme a las coordenadas presentadas por el solicitante para el proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca. Este análisis tuvo como objeto constatar la presencia o registro de comunidades étnicas que pudieran resultar afectadas. Las bases de datos consultadas fueron: i) Base cartográfica de resguardos indígenas constituidos (Incoeder - Igac 2014), ii) Base cartográfica de Consejos Comunitarios constituidos (Incoeder 2014), iii) Base de datos de la Dirección de Asuntos Indígenas, Minorías Étnicas y Rom (Mininterior 2014), iv) Base de datos de la Dirección de Comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras (Mininterior 2014), v) Solicitudes de titulación colectiva para Comunidades Indígenas (Incoeder 2014).

vi) Solicitudes de titulación colectiva para Comunidades Negras (Incoder 2014), vii) Base de datos (espacial y no espacial) de Resguardos Indígenas de origen Colonial (Incoder-Igac 2014), viii) Base de Datos (espacial y no espacial) de Predios priorizados por la Comisión Nacional de Territorios Indígenas (Incoder 2014), ix) Base de datos (espacial y no espacial) de Predios del Fondo Nacional Agrario en proceso de adjudicación o adjudicados a grupos étnicos (Incoder 2014), x) Base de Datos (espacial y no espacial) de Reservas Indígenas (Incoder 2014), y xi) Base de datos de Consulta Previa (MinInterior 2014).

Que en el informe técnico de 6 de mayo de 2014 se estableció lo siguiente:

"Se digitalizó en la base de datos de la Dirección de Consulta Previa las coordenadas del polígono aportado por el solicitante en coordenadas geográficas referidas al datum Magna, para el proyecto "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA-CUNDINAMARCA".

Para el ejercicio de análisis cartográfico se utilizó la cartografía básica y temática IGAC 2014, lo que permitió constatar que el proyecto se localiza en jurisdicción del municipio de La Vega, en el departamento de Cundinamarca, siendo esto correspondiente con la información aportada por el solicitante, por lo tanto es posible continuar con el trámite de la solicitud".

Coordenadas del Proyecto:

ID	LONGITUD	LATITUD
1	-74,310586	5,027463
2	-74,320120	5,013142
3	-74,309134	5,031524

Que con base en la información aportada, se elaboró informe técnico el día 6 de mayo de 2014 en el cual se determinó que:

"Como resultado de la consulta de las bases de datos (espacial y no espacial) de comunidades étnicas con que cuenta la Dirección de Consulta Previa (relacionadas en el cuadro anterior) y del análisis cartográfico realizado a partir del cruce de dicha información con los puntos del proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA-CUNDINAMARCA", se evidenció que el proyecto de la referencia no se traslapa con comunidades étnicas.

De acuerdo con lo anterior, se establece que no se registra presencia de comunidades étnicas en los puntos del proyecto "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA-CUNDINAMARCA".

En mérito de lo anteriormente expuesto, esta Dirección,

CERTIFICA:

PRIMERO. Que no se registra la presencia de Comunidades Indígenas, Rom y Minorías, en el área del proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca, identificado con las siguientes coordenadas:

ID	LONGITUD	LATITUD
1	-74,310586	5,027463
2	-74,320120	5,013142
3	-74,309134	5,031524

Fuente: Suministrada por el solicitante; Radicado externo EXT/MT4-0016827 de 21 de abril de 2014.

SEGUNDO. Que **no se registra** la presencia de Comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras, en el área del proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca, identificado con las siguientes coordenadas:

ID	LONGITUD	LATITUD
1	-74,310586	5,027463
2	-74,320120	5,013142
3	-74,309134	5,031524

Fuente: Suministrada por el solicitante, Radicado externo EXTM14-0016927 de 21 de abril de 2014.

TERCERO. Que la información sobre la cual se expide la presente Certificación, aplica específicamente para las coordenadas y las características técnicas relacionadas y entregadas por el solicitante, a través del oficio con radicado externo **EXTM14-0016927** de 21 de abril de 2014, para el proyecto: "APROXIMACIÓN AL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LAS BRUJAS EN EL MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA", localizado en las Veredas Nagüi y Patio Bonito, jurisdicción del municipio de La Vega, departamento de Cundinamarca, identificado con las siguientes coordenadas:

ID	LONGITUD	LATITUD
1	-74,310586	5,027463
2	-74,320120	5,013142
3	-74,309134	5,031524

Fuente: Suministrada por el solicitante, Radicado externo EXTM14-0016927 de 21 de abril de 2014.

CUARTO. Contra el presente acto administrativo procede el recurso de reposición, el cual deberá interponerse por escrito en la diligencia de notificación personal, o dentro de los diez (10) días siguientes a ella, o a la notificación por aviso, ante esta Dirección, de conformidad con lo establecido en el artículo 76 de la Ley 1437 de 2011 (Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo).

COMUNIQUESE Y NOTIFIQUESE

ÁLVARO ECHEVERRY LONDOÑO
Director de Consulta Previa

Elaboró: Zaira Leonor Maldonado, Abogada D.C.P.
Revisó: Luis Fernando Mora, Líder Área de Certificaciones D.C.P.
Aprobó: Dr. Álvaro Echeverry Londoño, Director D.C.P.

T.R.D. 2502 05-05

Anexo B. Permiso otorgado por la CAR- Cundinamarca para realizar la colecta de especímenes



Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
Dirección Regional Guatavita
República de Colombia

Villeta,

Señora
LUZ MARITZA SIERRA FANDIÑO
Carrera 70 B No. 22-71 Barrio Carvajal
lmsf98@gmail.com
Bogotá

CAR 24/12/2014 11:23
Al Contestar cite este No.: 06142107768
Origen: Dirección Regional Guatavita
Destino: LUZ MARITZA SIERRA FANDIÑO
Anexos: Fol: 1

ASUNTO: Respuesta al radicado 06141102530

Respetada señora

Me permito remitir adjunto la resolución N° 3258 del 26 de noviembre de 2014 *"Por la Cual se otorga un permiso individual de recolección de especímenes de especies silvestre de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial y se toman otras determinaciones"*.

Es de anotar que contra dicho acto administrativo procede el recurso de reposición que puede interponerse ante el Director Jurídico de la Corporación dentro de los diez (10) días siguientes al recibo de este acto administrativo de acuerdo a lo señalado en los artículos 76 y 77 de la Ley 1437 del 2011

Cordialmente,

DIEGO FERNANDO MORA HERRERA
Director Regional Guatavita

Respuesta a: 06141102530 del 18/12/2014

Anexos: 1 archivo adjunto

Elaboró: Alfonso Salazar Correa / DRGU



Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos

Villeta Calle 8 No.5A-41 El Recreo Código Postal 2534-10 - Conmutador: 844 6577 - 844 62 49 Ext: 11 www.car.gov.co
Fax: 844 6249 - Correo electrónico: sau@car.gov.co

Anexo C. Registro de precipitaciones en el municipio de La Vega- Cundinamarca



ESTACION: LA ESTANCIA

MUNICIPIO: LA VEGA CUNDINAMARCA

CODIGO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
23060370	2009	158.1	194.9	535.5	238.8	300.0	95.2	71.0	128.5	32.5	394.1	224.3	250.6
23060370	2010	90.0	135.3	110.0	360.0	409.5	167.0	230.0	78.0	300.0	331.9	568.2	179.0
23060370	2011	203.9	380.9	463.2	699.9	263.8	120.5	152.2	29.2	94.7	344.2	644.5	481.0
23060370	2012	402.4	259.3	211.0	282.0	70.5	39.0	17.0	28.0		154.0	240.3	70.0
23060370	2013	210.9	204.1	111.8	346.0	320.0	16.0	10.0	96.6	172.4	289.7	522.9	142.2
23060370	2014	418.8	386.2	272.6	41.3	206.4	23.5	.0	10.6	66.7	214.7	208.6	168.5
23060370	2015	192.2	84.2										

MEDIOS		239,5	235,0	284,0	328,0	261,7	76,9	80,0	61,8	133,3	288,1	401,5	215,2
MAXIMOS		418,8	386,2	535,5	699,9	409,5	167,0	230,0	128,5	300,0	394,1	644,5	481,0
MINIMOS		90,0	84,2	110,0	41,3	70,5	16,0	0,0	10,6	32,5	154,0	208,6	70,0



12. BIBLIOGRAFÍA.

1. Aguilera, Z.,(2014) Diagnóstico De La Calidad Ecológica Del Agua De Un Sector Del Río Curubital Cundinamarca (Cuenca Media Y Baja) Mediante La Caracterización De Macroinvertebrados Acuáticos
2. Alcaldía de La Vega (2011) Plan de desarrollo municipal 2008 - 2011 http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/38326631613939343862366632383862/PLAN_DE_DESARROLLO_MUNICIPAL_LA_VEGA.pdf recuperado en febrero de 2015
3. Alcaldía de la Vega (2013) Mapa Hídrico http://www.lavega-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml recuperado en noviembre de 2014
4. Alonso A. y Camarago J. (2005) Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. Journal of Freshwater Ecology no. 20: 311-320
5. Alonso., A. Camargo., J. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los Ecosistemas fluviales españoles. Ecosistemas.14 (3) 1-12.
6. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APAH), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION,(WPCF); traducción (1989). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, 17th: Sección. 6 -113, 6 -122, 6 - 30, 6010c, 5310, 5310B, 5 - 12, 5 – 16
7. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION,(AWAC) .(2002) Calidad y Tratamiento de Agua. 5ª edición en InglesMc Graw Hill Pág.106-109.
8. Apella,M.,Araujo,P., Microbiología del agua conceptos básicos https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf recuperado en marzo de 2015.

9. Arce, O.(2006) Indicadores biológicos de calidad del agua. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Cochabamba, Bolivia. 21 pp
10. ARCOS, M., Y OTROS (2005) Indicadores microbiológicos de las fuentes de agua. Nova publicación Científica Volumen 3 Pág.69 – 79.
11. Arévalo Uribe, D. (2012) Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica, WWF, Cali, Colombia.
12. Asociación mundial para el agua. (2000) Manejo integrado del recurso hídrico, Suecia.
<http://www.gwp.org/Global/ToolBox/Publications/Background%20papers/04%20Integated%20Water%20Resources%20Management%20%282000%29%20Spanish.pdf> recuperado en diciembre de 2014
13. Baddii, Z.M.; Garza, C.R.; Garza, A.V. y Landero, F.J. 2005. Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en ecosistemas acuáticos asociados. Cultura Científica y Tecnológica 2(6): 4-20.
14. Benavides, H., (2010) Diagnóstico de la sostenibilidad de un abastecimiento de agua e identificación de las propuestas que la mejoren.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/8910> recuperado en Junio de 2012.
15. CENICAFE (2012) CONSTRUYENDO EL MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CAFICULTURA COLOMBIANA
http://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf
16. CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 99 de 1993
17. CONSTITUCION POLÍTICA COLOMBIANA 1991

18. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
19. De La Lanza, G., Hernández, S., & Carbajal, J. (2000). Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). México D.F.:Plaza y Valdés, 633 p.
20. Dinius, S. H., Design of an Index of Water Quality., Water Resources Bulletin, Vol. 23, No. 11, 1987, pp. 833-843.
21. Encalada, A. (s,f). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos. Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. Laboratorio de ecología acuática, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad San Francisco de Quito. 40-47p.
22. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Assessment for Livestock and Agro-Industrial Wastes (2009) Colombia
23. ESCOBAR J., (2002) La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Serie recursos naturales e infraestructura. Santiago de Chile CEPAL ONU
24. Federación Nacional de Cafeteros – [Cenicafe] (2011) Construyendo El Modelo Para La Gestión Integrada Del Recurso Hídrico En La Caficultura Colombiana http://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA_P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf recuperado en Junio de 2012
25. Federación Nacional de Cafeteros.[FEDECAFE] Sostenibilidad en acción 1927- 2010 http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/sostenibilidad_en_accion/137_informe_de_sostenibilidad/recuperado en mayo 2012
26. Fondo Mundial para la Naturaleza WWF (2012) Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf> recuperado en abril de 2013

27. FUNDACIÓN EROSKI La bioindicación se consolida como método de detección y control de la toxicidad en los ecosistemas 17 ENERO 2002 http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2002/01/06/36494.php recuperado en enero 2015
28. García, M. (1998). El Agua Capítulo 4. El Medio Ambiente en Colombia. Editor Pablo Leyva. Bogotá-Colombia.
29. Grillet, M. (2000). Factors Associated with Distribution of *Anopheles aquasalis* and *Anopheles oswaldoi* (Diptera: Culicidae) in a Malarious Area, Northeastern Venezuela. *J. Med. Entomol.* 37:231–238
30. ICONTEC Norma Técnica Colombiana 813
31. IDEAM (2010) Estudio Nacional del Agua. Calidad de agua superficial en Colombia. Capítulo 6. 232 p
32. Índice de Calidad de Agua General. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. <http://www.snet.gov.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf> recuperado en abril de 2015
33. INFORESOURCES FOCUS (2003) *Manejo Integrado de los recursos hídricos (IWRM): Un camino hacia la sostenibilidad* N° 1/30 http://www.inforesources.ch/pdf/focus1_s.pdf recuperado en junio 12 de 2012
34. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] Protocolo de muestra de aguas superficiales <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?!Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=452>. recuperado en abril 2014
35. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2007) Subdirección de Hidrología: Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. Procedimiento Estándar de Operación Nitrógeno total en agua por el método semi-micro Kjeldahl - electrodo de amoniaco (Versión 02)

36. Krebs, Ch. 2000. Ecología: estudio de la distribución y la abundancia. – 2da Edición en español. Oxford University Press. Mexico
37. Legendre, P., Dale, M., Fortin, Mj., Gurevitch, J., Hohn, M & Myers, D. 2002. The consequences of spatial structure for the design and analysis of ecological field surveys. – *Ecography* 25: 601-615.
38. Ludwig, J. & Reynolds, J. 1988. Statistical ecology: a primer on methods and computing – A Wiley Interscience publication, United States of America.
39. Madroñero; S. (2006) *Manejo Del Recurso Hídrico Y Estrategias Para Su Gestión Integral En La Microcuenca Mijitayo, Pasto Colombia*
<http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0690E/A0690E.PDF> recuperado en julio 2014
40. Medellín, Ramirez & Rincon (2004) Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Revista Colombiana de Entomología*, 30(2),197-203. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012004882004000200012&script=sci_arttext. recuperado en abril de 2014
41. Merrit,R & Cummins,K. (1996) An introduction to the aquatic insects of North America. Tercera Edición. Kendall/Hunt Publishing Company. Iowa,E.U.
42. Mesa, F. & Garcia, P. (2013) Gobernanza y multidimensionalidad del agua en la sabana de Bogotá. <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP138.pdf> recuperado en noviembre de 2014.
43. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – MAVDT; INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM Protocolo de Calidad del Agua: Oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de azida, Versión 01. Subdirección de Hidrología - Grupo Programa de Físicoquímica Ambiental. 2004. 7p.
44. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – MAVDT; INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM (2007) Protocolo de Calidad del Agua: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días por incubación y electrometría, Versión 02. Subdirección de Hidrología -

45. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico- 2000
46. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Sección II, Título C: Sistemas de Potabilización. Bogotá: MinDesarrollo. 2000. (Resolución 1096 de 2000). p. C19 - C20
47. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MPS y MAVDT (2007). Resolución 2115
48. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Resolución número 2115 de 2007.
49. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. 2006 Control del Estado de las Masas de Agua Superficiales: Informe mensual de seguimiento de 2006. España.
50. Nebel, B. & Wright, R. (1999). Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible. Pearson educación. Sexta edición. 698 p.
51. Odum, E. (1972). Ecología. México, D.F.: Nueva Editorial Interamericana. Tercera edición. 639 p.
52. Odum, E., Barret, G.,(2006) Fundamentos de ecología. México, Editorial Thompson. 5ª ed. P.426 – 427
53. Organización de las Naciones Unidas [ONU].(2003) *Agua para todos agua para la vida* <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf> recuperado en Junio de 2012
54. Pinilla, G., (2010) An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogota´ city, Colombia. *Ecological Indicators*, 10, 848-856 <http://www.researchgate.net/publication/260186467> Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica recuperado en enero de 2015
55. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA Decreto 1594 de 1984.

56. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA Decreto 3100 de 2003
57. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Título I de la Ley 09 de 1979, 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.
58. Ramírez, A. & Viña, G. (1998). Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Bogotá, Colombia: Panamericana, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
59. Roa, M.; Oliveros, C.; Álvarez, J.; Ramírez, C.; Sanz, J.; Dávila. M.; Álvarez. J.; Zambrano. D.; Puerta. G.; Rodríguez. N. (1999) Beneficio Ecológico del café. Chinchiná (Colombia). CENICAFÉ.
60. Rodríguez, N.; Manejo De Residuos En La Agroindustria Cafetera. www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf 2012/03/07 recuperado en marzo 2012
61. Roldán, G. & Ramírez, J. (2003). Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 2 ed.
62. Roldán, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia: Universidad de Antioquia.
63. Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb.Cienc, 23 (88), 375-387.
64. Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
65. Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia: uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colección ciencia y tecnología. Medellín, Colombia.
66. Romero, J. (1996) Acuiquímica. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

67. Romero, J. (2005) Calidad de agua, Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
68. Sabater, S. & Elozegi, A. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial: Fundación BBVA.
69. Sánchez, Z., (2008) Efectos De Los Trihalometanos Sobre La Salud Higiene Y. Sanidad Ambiental. 8: 280-290.
70. Sawyer, C & McCarty, P. (2001) Química para ingeniería ambiental. 4a edición. Mc Graw Hill: Colombia.
71. Schafer, A. (1984) Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Ed. Da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 532p.
72. SIAC. Calidad de agua superficial. www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=1373&catID=860 recuperado en abril de 2015
73. SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. (2002) Conceptos, Definiciones e Instrumentos de la Información Ambiental de Colombia. SIAC: Colombia.
74. UNIÓN EUROPEA, CONSEJO DIRECTIVO 75/440/CEE, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&rid=2> recuperado en enero de 2015.
75. Universidad De Florida, (2005) EEUU. Plant Management in Florida Waters, citado por COMUNIDAD ANDINA. Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, p 31-45.
76. Universidad de Manizales (2010) *Línea de investigación en desarrollo sostenible y ambiente* <http://cedum.umanizales.edu.co/mds/lineas/descripcion/desarrollosostenible.html> recuperado en diciembre 2014
77. Universidad de Manizales; (2010) Misión <http://www.umanizales.edu.co/index.php/typography/acerca-de-la-um/mision-vision-y-principios> recuperado en noviembre de 2014.

78. Universidad de Pamplona. índices de Calidad ICA's y de contaminación ICO's del Agua e importancia mundial
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf recuperado en marzo 2015
79. VEGA M., (2002) Políticas Públicas Hacia El Desarrollo Sostenible Y Política Ambiental Hacia La Sostenibilidad Ambiental Del Desarrollo
80. Vergara, D. (2009). Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. (Tesis de maestría en medio ambiente y desarrollo). Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
81. Water research center <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters> recuperado en abril de 2015.
82. Wetzel, R., (1981) Limnology Ed. Omega, Barcelona, España. 679 p
83. Wilson J.G.(1994). The role of bioindicators in estuarine management. Estuaries, 17(1A):94–101.
84. Witt.,R. (1995) La Desinfección del Agua a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales.
85. WWF_Una Mirada A La Agricultura De Colombia Desde Su Huella Hídrica <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf> recuperado en Junio de 2012
86. Zuluaga, V.; Zambrano F. (1993) Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para control de contaminación. Cenicafe. Avances Técnicos No 187.