

PROYECTO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
MACRO INVERTEBRADOS BENTÓNICOS, COMO BIOINDICADORES:
ESTUDIO DE CASO EN EL RÍO SUÁREZ (CHIQUINQUIRÁ – BOYACÁ)**

MERCY SOLANYI PASTRAN PASTRAN Cod.064111035

Universidad Libre
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C

2017

PROYECTO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
MACRO INVERTEBRADOS BENTÓNICOS, COMO BIOINDICADORES:
ESTUDIO DE CASO EN EL RÍO SUÁREZ (CHIQUINQUIRÁ – BOYACÁ)**

MERCY SOLANYI PASTRAN PASTRAN Cod.064111035

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental

Directora:

María Teresita Ortiz Villota. Ph.D

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C

2017

2

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres que con gran esfuerzo y sacrificio han logrado que hoy me encuentre a un paso de ser profesional, además de ser siempre mi compañía incondicional y colaboración en campo a pesar de la complejidad que representó para ellos este trabajo, a mi hermano quien realmente es la persona que nunca me permite desfallecer ya que él es mi mayor motivación, que han tan corta edad me ha permitido vivir las mejores experiencias a su lado.

A cada uno de mis familiares que me colaboraron en el trabajo a campo y su apoyo incondicional, cada día me motivó a dar siempre lo mejor para el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por permitirme desarrollar este proyecto con éxito, dándome la sabiduría correspondiente y la pasión y amor por el trabajo, segundo a mis padres y familiares que fueron la fortaleza y compañía en cada uno de los momentos difíciles durante el desarrollo del proyecto, la doctora María Teresita Ortiz por dirigir este trabajo y su tiempo de dedicación y entrega en cada una de las etapas, al ingeniero Rafael Agudelo por su valiosa ayuda en cuanto a la realización de análisis de la calidad del agua, además de la proporción de excelente bibliografía referente al tema.

A cada una de las personas que participaron de este proceso, entre ellos ingenieros, personal de laboratorios, y compañeros que por medio de sus comentarios a este proyecto, se logró que la meta fuera culminar con éxito.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN.....	22
3. OBJETIVOS.....	23
3.1. OBJETIVO GENERAL	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. MARCO REFERENCIAL	24
4.1. ESTADO DEL ARTE	24
4.2.1 Bioindicador.....	26
4.2.2. Macro Invertebrados Bentónicos.....	27
4.2.3. Sistemas de Aguas	28
4.2.4. Índices de Diversidad.....	29
4.2.5. Parámetros de calidad de las aguas.....	33
4.2 MARCO CIENTÍFICO.....	38
4.1.1. Orden Trichoptera.....	39
4.1.2. Orden Diptera.....	40
4.1.3. Orden Ephemeroptera.....	40
4.3.4. Orden Coleoptera.....	41
4.3.5. Orden Odonata.....	41
4.3.6. Orden plecóptera.....	42
4.3.7. Orden hemíptera.....	42
4.3.8. Orden megalóptera.....	42
4.3.9. Orden neuróptera.....	43
5. METODOLOGÍA	44
5.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	44
5.2. PRIMERA ETAPA	47

5.2.1. Implementación de la red de muestreo.....	47
5.3. SEGUNDA ETAPA.....	52
5.3.1. Análisis ecológico.	52
5.4. TERCERA ETAPA	70
5.4.1. Recolección de macro invertebrados y análisis de agua	70
5.5. CUARTA ETAPA.....	72
5.5.1. Almacenamiento y análisis taxonómico de las especies	72
5.6. QUINTA ETAPA.....	72
5.6.1. Aplicación de índices de diversidad y análisis de resultados.....	72
6. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS	73
7. MACRO INVERTEBRADOS RECOLECTADOS	88
7.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MACRO INVERTEBRADOS PRESENTES DURANTE LA TEMPORADA DE SEQUÍA.	88
7.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MACRO INVERTEBRADOS PRESENTES DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIA.	89
8. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO	92
8.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO, EN LA ESTACIÓN E1.	92
8.2. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO, EN LA ESTACIÓN E2.	96
9. DIVERSIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES DE SHANNON-WEAVER, SIMPSON, MARGALEF Y BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP).....	101
10. CONCLUSIONES.....	109
11. BIBLIOGRAFÍA.....	113
12. ANEXOS	118
13. GLOSARIO.....	146

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y descripción de la red de muestreo.	47
Tabla 2. Fuentes de contaminación identificadas entre las dos estaciones de muestreo	50
Tabla 3. Caudales registrados en el río Suárez.	53
Tabla 4. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de sequía, primer muestreo.	54
Tabla 5. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de sequía, primer muestreo.	56
Tabla 6. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de sequía, segundo muestreo.	58
Tabla 7. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de sequía, segundo muestreo.	60
Tabla 8. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de lluvia, primer muestreo.....	62
Tabla 9. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de lluvia, primer muestreo.....	64

Tabla 10. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de lluvia, segundo muestreo.	66
Tabla 11. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de lluvia, segundo muestreo.	68
Tabla 12. Resultados obtenidos de los análisis " <i>in situ</i> " en temporada de sequía y lluvia en la estación E1 (20 m después de la desembocadura del río Chiquinquirá) y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1.984 (modificados por el Decreto 3930 de 2010).	73
Tabla 13. Resultados de los análisis "in situ" en temporada de sequía y lluvia, en la estación E2; y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1.984 (modificados por el Decreto 3930 de 2010).....	76
Tabla 14. Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio del muestreo en temporada de sequía y lluvia, en la estación E1; y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010).	79
Tabla 15. Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio del muestreo en temporada de sequía y lluvia, en la estación E2; y los valores máximos permisibles	

establecidos por el Decreto 1594 de 1984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010).....	83
Tabla 16. Clasificación de macro invertebrados por phylum, clase, orden, familia y género; recolectados durante los dos muestreos en temporada de sequía en la estación E1 y E2.	87
Tabla 17. Clasificación de macro invertebrados por phylum, clase, orden, familia y género; recolectados durante los dos muestreos en temporada de lluvia en la estación E1 y E2.	89
Tabla 18. Número de individuos recolectados por cada uno de los géneros identificados, en la estación E1, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).....	91
Tabla 19. Número de individuos recolectados por cada uno de los géneros identificados, en la estación E2, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).....	95
Tabla 20. Clasificación de los géneros presentes en el río Suárez según la calidad del agua de la cual son bioindicadores.	97
Tabla 21. Diversidad (H) hallada a partir del índice de Shannon-Weaver en la estación E1 para la temporada de sequía y de lluvia.	99

Tabla 22. Diversidad (H) hallada a partir del índice de Shannon-Weaver en la estación E2 para la temporada de sequía y de lluvia. 100

Tabla 23. Diversidad hallada a partir del índice de Simpson, para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E1..... 101

Tabla 24. Diversidad hallada a partir del índice de Simpson para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E2..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 25. Diversidad hallada a partir los índices de Shannon-Weaver, Simpson, Margalef Y Biological Monitoring Working Party (BMWP), para la temporada de sequía y de lluvia para calcular la diversidad por cada una de las estaciones..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 26. Preparación de estándares para la curva de calibración para nitratos.. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 27. Preparación de los estándares para la curva de calibración de nitritos..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 28. Clasificación de los macro invertebrados hallados en el río Suárez..... **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICES DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Género vs número de individuos recolectados en la E1, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).....	93
Gráfica 2. Género vs número de individuos recolectados en la E2, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).....	96

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Puntajes de las familias de macro-invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col de acuerdo a los valores originales del BMWP y ajustados por Roldán (2003) para Colombia.....	32
Figura 2. Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP/Col.....	33
Figura 3. Municipio de Chiquinquirá – Boyacá..	45
Figura 4. Ubicación de las estaciones de muestreo sobre el río Suarez en el municipio de Chiquinquirá-Boyacá.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Estación E1 ubicada 20 m aguas debajo de la desembocadura del río Chiquinquirá.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Estación E2, 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR.....	48
Figura 7. Tubo 1 de la PTAR con vertimientos en el río Suárez.....	49
Figura 8. tubo 2 de la PTAR vertiendo sus aguas en el río Suárez.....	50
Figura 9. Desembocadura del río Chiquinquirá en el río Suárez.....	51
Figura 10. Tubería proveniente de una vivienda para verter sus aguas domesticas en el río Suárez.....	52
Figura 11. Vacunos pastoreando en la ladera del río y deslizamiento de tierra. ...	52

Figura 12. Rotulado de los viales en los cuales se recolectaron cada una de las especies.	70
Figura 13. Distribución de los órdenes e un cuerpo de agua.	90
Figura 14. Determinación de sólidos suspendidos. ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15. Determinación de dureza.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16. Preparación de estándares para determinación de nitritos.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. Determinación de DQO.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18. Determinación de acidez.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19. Determinación de alcalinidad.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Determinación de nitrógeno total en el equipo VELPDK6.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21. Proceso de digestión en el equipo VELPUDK 132..	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22. Titulación para la determinación de nitrógeno total.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23. Filtración al vacío para análisis de coliformes.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24. Análisis de coliformes totales.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25. Análisis de coliformes en el contador de colonias. ...	¡Error! Marcador no definido.

Figura 26. Oecetis.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27. Coryphaeshna.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28. Aeshna.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29. Haliphus.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30. Heliosoma.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31. Simullium.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 32. Tubifex.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33. Chironomus.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 34. Dacnobia.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 35. Aedes.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 36. Elodes.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 37. Macrelmis.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 38. Hexatoma.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 39. Argia.	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

En el río Suárez dentro del municipio de Chiquinquirá Boyacá, se realizó la evaluación de la calidad del agua a partir de la utilización de macro invertebrados bentónicos, para obtener unos resultados más precisos, los muestreos se llevaron a cabo en la temporada de sequía de mayor intensidad (diciembre del año 2015 y febrero) y la temporada de lluvia con menor intensidad (mayo y junio del presente año), teniendo en cuenta que el municipio de Boyacá tiene un ciclo bimodal, que hace que durante todo el año se registran dos temporadas de sequía, la primera desde el mes de diciembre hasta marzo, la cual es caracterizada por ser la de mayor intensidad, el segundo periodo está desde el mes de junio hasta agosto y la intensidad de este es menor con relación al de la primera temporada, la temporada de lluvia de igual modo se presenta por periodos de tres meses, la primera se presenta desde el mes de marzo hasta mayo, se caracteriza por ser de menor intensidad que el segundo periodo, el cual pertenece al mes de septiembre hasta noviembre, donde las gráficas de precipitación presentan picos, es decir hay una notoria variación; por tal razón se aclara que por los meses en los cuales se realizaron los muestreos los niveles del río corresponden a aguas bajas con una variación muy pequeña con referencia a la variación que se da en la temporada de sequía y de lluvia de mayor intensidad.

Los muestreos se llevaron a cabo en dos estaciones E1 y E2, las cuales están ubicadas estratégicamente según las características significativas e incidentes en

la calidad del agua; entre ellas se destaca la desembocadura del río Chiquinquirá, fuentes de contaminación y vertimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR), los puntos de contaminación se identificaron y clasificaron, las cuales indican una falta de conciencia de la población acerca de la cultura ambiental ya que se registra animales vacunos pastoreando sobre las orillas del río, además de una alta concentración de residuos sólidos la mayoría provenientes del área urbana del municipio.

La diversidad se evaluó a partir del índice de Shannon-Weaver, los resultados obtenidos se compararon con análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua, en cuanto a los macro invertebrados bentónicos recolectados se almacenaron en recipientes de vidrio (viales) con una solución de alcohol y glicerina para preservar su estructura para el momento del análisis en el laboratorio, se procedió a clasificarlos hasta el nivel de género, se observó que la diversidad en cada una de las estaciones es buena teniendo en cuenta que el valor del índice en la mayoría de los casos estuvo muy cerca de tres siendo cinco el valor máximo, y en otros de los casos fue baja debido a que el índice se encuentra muy cerca de dos. Los géneros que se recolectaron se encuentran relacionados a varios niveles de contaminación del agua según la clasificación que establece Gabriel Roldán Pérez en el libro de la CAR 2012 (Corporación Autónoma de Cundinamarca), titulado; “Los macro invertebrados como bioindicadores de la calidad del agua”, información que se encuentra fuertemente relacionados con los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos realizados al agua en cada una de las estaciones de muestreo.

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua para la vida en el planeta tierra es incalculable, pero el deterioro de su calidad es un tema realmente preocupante teniendo en cuenta que solo un 3.5% de la totalidad del agua presente en el planeta es agua dulce, y las problemáticas ambientales que la sociedad ha generado ha llegado a ocasionar restricciones en la disponibilidad de agua apta para consumo. Por eso la importancia de hablar de “calidad del agua”, un término que tiene alto grado de complejidad en su interpretación, debido a que la calidad varía según la actividad a la cual se destina, porque puede que los niveles de algunos de sus componentes sean perjudiciales para algunas actividades y óptimas para otras, pero aún así se busca evaluar cuáles son sus cualidades o niveles de sus parámetros para dar un uso adecuado o crear una alerta de su estado.

Los cuerpos de agua tienen la capacidad de ser el hábitat de una gran cantidad de organismos, los cuales dependen de su grado de sensibilidad frente a la concentración de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua y de factores externos como acciones antrópicas, estos organismos son de diferentes tamaños, los cuales varían desde los visibles a simple vista, hasta los que requieren de un microscopio para su análisis e identificación. Dentro de los organismos visibles a simple vista se encuentran los macro invertebrados, organismos que tienen un tamaño que permite ser atrapados por una malla de 250 micras (Álvarez, 2009).

Kolwitz & Marsson a comienzos del siglo XX, mostraron con claridad la relación existente entre los organismos acuáticos con la calidad del agua, desde entonces se han realizado numerosos estudios referentes a este tema, empleando a los macro invertebrados como bioindicadores de la calidad del agua; estos estudios se han ejecutado cada vez con mayor profundidad al punto de obtener una identificación y clasificación muy detallada, llegando hasta el taxón género, en algunos estudios han llegado hasta especie, una clasificación aún más detallada que la anterior, caso del estudio realizado por Ortiz Villota (1994).

A partir de estos métodos se plantea una serie de índices para determinar la relación entre la cantidad hallada de cada una de las especies recolectadas según la clasificación realizada, para así asignar un valor numérico y establecer una evaluación, comparación y análisis; a través de uno de los índices más conocidos, como es el Shannon-Weaver (1949), este es un índice de diversidad que mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad de la cual se conoce el número total de especies.

En esta investigación se ubicó una red de muestreo en el río, seleccionando puntos que presentaban características diferentes; teniendo en cuenta que las dos estaciones tienen vertimientos diferentes y que las dos muestran un significativo grado de contaminación, evaluada por medio de la concentración de algunos parámetros físicos-químicos con notorias variaciones. En el caso de los nitratos, dureza y alcalinidad; se identificaron las posibles fuentes de contaminación, realizando su posterior clasificación. Así fue como se determinaron las estaciones de muestreo E1 y E2, para hacer una comparación y tener argumentos para comprobar la eficiencia de los macro invertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua, al tiempo que se realizaron los análisis de algunos parámetros físicos químicos y se logró el cumplimiento del objetivo general de esta investigación.

El desarrollo de esta investigación da respuesta a la pregunta inicialmente formulada durante el planteamiento del problema, los resultados obtenidos demuestran que la implementación de un sistema de bioindicadores consistente en macro invertebrados bentónicos es un método apropiado a fin de dar una respuesta práctica a la problemática descrita, teniendo en cuenta que los géneros más representativos del área de estudio son los que mayor grado de adaptación tienen a altas cargas de materia orgánica y que su vida depende de la presencia de vegetación acuática, mostrando que el comportamiento de los macro invertebrados identificados coinciden con los resultados reportados por los análisis físicos-químicos y bacteriológicos realizados al agua en las mismas estaciones.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema que a continuación se describe tiene su fundamento en dos elementos: una problemática de carácter socio-ambiental y la validación de una alternativa que puede ofrecer una mejor respuesta a dicha situación. La necesidad en cuestión es la de contar con indicadores más confiables, permanentes y rentables para el caso de fuentes de agua que reúnen dos características a saber: soportan una significativa presión ambiental por actividades humanas establecidas en su entorno y, al mismo tiempo, de ellas depende el abastecimiento del recurso para diferentes fines. La alternativa de respuesta es un método de medición y control de la contaminación, preciso, confiable, económico, factible de ser practicado con mayor frecuencia y así mismo actuar frente a información en permanente estado de actualización.

Después de que el agua del río Suárez es captada por el acueducto municipal para su posterior tratamiento y distribución, el caudal de este disminuye notoriamente y se enfrenta a una situación compleja a causa de la actividad económica del municipio, si se tiene en cuenta que el área rural en su mayoría es pecuaria y al río llegan residuos de materia orgánica proveniente de esta actividad, vertimientos de aguas residuales domésticas y a los vertimientos de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) la cual trata las aguas residuales domésticas de la zona urbana del municipio, además de la considerable carga de residuos sólidos que son desechados en él. De igual forma, se determinan bajos niveles de oxígeno disuelto, que en ocasiones son inferiores a los 2 mg/L y la alta concentración de sólidos suspendidos totales (Plan de Desarrollo Alcaldía de Chiquinquirá, 2012).

Sumando a la problemática anterior las actividades industriales generan desechos y aguas residuales, que tienen como destino las aguas de la cuenca del Suárez. (Plan de Desarrollo Alcaldía de Chiquinquirá, 2012).

Teniendo en cuenta estos factores causantes de la alteración de la calidad del agua del río Suárez, es posible formular el problema que constituye el objeto de este trabajo. La cuestión central consiste en saber y determinar con precisión la calidad del agua del río Suárez en Chiquinquirá-Boyacá por medio del uso de macro invertebrados bentónicos, evaluando a su vez la confiabilidad y sostenibilidad del método ofrecido.

Las entidades encargadas del mantenimiento, seguimiento ambiental y sanitario del río Suárez y su cuenca requerirán, a efectos de poder establecer un control con mayor prontitud y eficacia sobre el recurso, además de ser un sistema permanente de indicadores de la calidad del agua, económico y rápido, que proporcione una información confiable y segura, que les permita tomar decisiones oportunas a la luz de la variada presión que resiste el río, y en consecuencia diseñar planes, medidas

y estrategias de gestión teniendo como soporte mediciones y diagnósticos de mayor precisión. Como parte del problema, cabe preguntarse en este punto, ¿cuáles macro invertebrados son bioindicadores de la calidad del agua del río Suárez en el municipio de Chiquinquirá – Boyacá?

El sistema de macro invertebrados bentónicos es de gran importancia por su ventaja en el campo de estudio, consistente en su característica más relevante, a saber: su sensibilidad a los cambios físicos, químicos y bacteriológicos del agua. Esto los convierte en uno de los métodos más viables, confiables y seguros como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 1988). El método consiste en la recolección de muestras de las especies de macro fauna bentónica presente en un cuerpo hídrico determinado y la posterior realización de un análisis de la variación taxonómica de las especies de macro invertebrados presentes, así como del estudio de la estructura de las comunidades bentónicas, de su índice de diversidad y la relación que éstas guardan con las características físico-químicas y bacteriológicas del agua. (Ortiz Villota, 1995).

2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación tiene como fin dar a conocer el estado de la calidad del río Suárez en el municipio de Chiquinquirá-Boyacá, en un tramo tan importante debido a que se evidencian un afluente y un vertimiento con caudales y características relevantes; el afluente corresponde a la desembocadura del río que lleva como nombre el del municipio (Chiquinquirá), los efectos que este trae al río Suárez son significativos, teniendo en cuenta que la trayectoria del río Chiquinquirá por el área urbana del municipio y la cantidad de desechos que son arrojados a este es representativa, teniendo como destino el río Suárez y siendo acumulados en un punto medio entre las dos estaciones seleccionadas para la presente investigación. El vertimiento corresponde a la PTAR del municipio, el cual es significativo debido al gran caudal que este maneja.

Adicionalmente el área de estudio corresponde a la parte rural del municipio, donde las familias usan directamente las aguas del río para uso pecuario y el riego de cultivos, actividades que hacen que la calidad del agua del río sea un recurso de vital importancia, y se requiera evaluar su estado para determinar si es apta para los usos para los cuales actualmente se está destinando, de igual forma es de gran importancia la aplicación de este método para la evaluación de los impactos ambientales causados por actividades de carácter antrópico, que se expresan en un desequilibrio sobre los ecosistemas acuáticos. (Plan de Desarrollo Alcaldía de Chiquinquirá, 2012)

Es relevante para los estudios de ingeniería ambiental, así como para los funcionarios encargados de tomar decisiones en las entidades de control ambiental, contar con métodos económicamente viables y confiables desde el punto de vista científico para el seguimiento de la calidad del agua, como es el uso de los macro invertebrados bénticos como bioindicadores de la calidad de los cuerpos de agua, lo cual requiere de la observación, la clasificación taxonómica y el conteo de especies.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua del río Suárez (Chiquinquirá- Boyacá) mediante el uso de macro invertebrados bentónicos como bioindicadores.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar los géneros más representativas de macro invertebrados bentónicos presentes en el río Suárez, en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá.
- Relacionar la presencia de géneros y número de macro invertebrados bentónicos con las características físicas, y químicas del río Suárez.
- Determinar el grado de contaminación del cuerpo de agua a partir del cálculo de la biodiversidad según los índices de Margalef, Shannon-Weaver, Simpson y Biological Monitoring Working Party (BMWP).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ESTADO DEL ARTE

La degradación de los recursos acuáticos dio inicio al estudio y análisis del daño biológico ocasionado por la contaminación. De este análisis se observó que muchas de las especies presentaban cambios asociados a las condiciones de su hábitat, por lo que se inició el estudio de estas especies como indicadores de la calidad del agua, empleando inicialmente especies de peces, a continuación se emprendió la búsqueda de otras poblaciones y comunidades, de los cuales se obtuvo como resultado un alto grado de utilidad para estudios de contaminación. A mediados de los años 50, se comienzan a emplear varias especies, para evaluar la calidad del agua, haciendo uso de los bioindicadores; al principio de los 60 se inicia la discusión de algunos índices matemáticos tales como: Brillouin, 1951; Margalef, 1.951, 1.956, 1.958; Beck, 1.955; Shannon y Weaver, 1.949; Simpson, 1.949; Wilhm, 1.967, 1.968, 1.970; Wilhm y Dorris, 1.966, 1.968; Sheldon, 1.969.

Washington (1.984) realiza una revisión de los índices de diversidad teniendo en cuenta la referencia de los ecosistemas acuáticos, en donde, presenta 18 índices de diversidad, 19 índices bióticos y 5 índices de similitud analizando su aplicabilidad, pero muchos de ellos aún no son totalmente satisfactorios. Barbour (1.995) presenta 63 tipos de mediciones para una evaluación rápida de los ecosistemas dentro de los cuales se encuentran el de Shannon y Weaver, el cual es un índice de diversidad y similitud con la comunidad. Más adelante hacia las décadas de los ochenta y noventa Rehc et al (1.995) desarrolla en Maryland (USA) métodos más rápidos que permiten la evaluación de la calidad del agua empleando los macro invertebrados acuáticos (bentónicos) como bioindicadores, años más adelante otros investigadores adoptaron a los macro invertebrados como herramienta de evaluación de la calidad del agua de ríos, llevado a cabo hasta la fecha infinitos estudios en diferentes países, que demuestran la eficiencia de estas especies como bioindicadoras de la calidad del agua (Roldán Pérez, 1992).

En el desarrollo de este trabajo se abordan importantes investigaciones que hasta el momento se han llevado a cabo en Colombia y en otros países, que de alguna u otra forma aporta al desarrollo de éste.

Gabriel Roldán Pérez (1993) desarrolla una investigación sobre los macro invertebrados y su valor como bioindicadores de la calidad del agua, el cual implica la definición de los macro invertebrados como bioindicadores, sus clasificaciones y estudio taxonómico de cada uno de ellos. Además de resaltar los procesos que se deben realizar para la recolección y preservación del material de estudio, en este caso la macro fauna bentónica, información importante a la hora de la elaboración de la metodología.

Ortiz Villota (1994) en su “Estudio limnológico del río Pasto, hace un profundo énfasis tanto en la historia de los macro invertebrados como en la identificación de cada una de las especies encontradas, siendo clasificadas en familias y géneros, construyendo un importante trabajo que orienta nuevas investigaciones como esta.

La Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) junto a la universidad del Tolima en el año 2008 realizan una investigación denominada “macro invertebrados acuáticos 2” de la cuenca del Río Lagunillas, el cual brinda información básica y necesaria para comprender la dinámica de la comunidad de macro invertebrados acuáticos, estableciendo unas bases para la aplicación de estos organismos como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos, estos antecedentes se tienen en cuenta para el inicio de este trabajo para adquirir conocimiento de la caracterización y conformación de la comunidad de la macrofauna acuática.

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino del gobierno de España, ha diseñado una importante guía, la cual recoge un grupo de macro invertebrados en la cuenca del río Ebro y realiza una clasificación con su información, la cual se encuentra contenida en una ficha que posee una imagen de cada uno de ellos, esta información es de gran importancia durante la práctica de esta investigación debido a que durante el desarrollo de la etapa de estudio de la macrofauna bentónica se puede identificar con mayor facilidad teniendo en cuenta que se tienen imágenes de cada una de las especies clasificadas en órdenes, subórdenes y familias y una breve descripción de cada una de ellas.

En el territorio Colombiano se han desarrollado numerosas investigaciones acerca de este tema debido a la importancia que los macro invertebrados han mostrado como bioindicadores de la calidad de los cuerpos de agua, entre esos estudios se encuentra la investigación realizada por Martínez, N. (2010) titulado “macro invertebrados acuáticos como sistema de evaluación de contaminación del Balneario Hurtado, río Guatapurí, Valledupar- Cesar” la cual proporciona una información importante y métodos empleados como índices de análisis, y a su vez una lista de familias de macro invertebrados encontradas durante esta investigación.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1 Bioindicador.

Se consideran indicadores biológicos la composición y la abundancia tanto de la flora acuática, la fauna bentónica y la estructura por edades de la fauna ictiológica, en el caso de la flora hídrica se pueden clasificar en fitoplancton, micrófitos y Fito bentos, en la fauna bentónica de invertebrados se clasifican por tipos clases y por familias (Carrera, 2001).

Es un indicador que consiste en una especie ya sea vegetal, hongo o animal cuya sensibilidad a los cambios o alteraciones en la zona de hábitat y desarrollo (variaciones en la calidad ambiental) es muy alta debido a la capacidad que poseen los seres vivos para obtener determinado comportamiento frente a las alteraciones producidas en su entorno, por ende su capacidad de adaptación conlleva a su presencia, ausencia o abundancia variable que se puede representar por medio de índices de diversidad de los cuales se obtiene información sobre algunas características ecológicas, es decir, características físico-químicas, microclimáticas, bacteriológicas, biológicas y funcionales, del medio ambiente, o de algunas alteraciones que sufre el medio debido las actividades humanas (Echeverry & Londoño, 2011).

Los bioindicadores son empleados para la evaluación ambiental, como un método de seguimiento a las alteraciones del ambiente, dicho bioindicador debe contar con características tales como abundantes, sensibles al medio de vida, poca movilidad, fáciles de identificar y con índices de estudios en su ecología y ciclo biológico, para la facilidad de su estudio y análisis (Politécnica, 2013).

Cada una de las especies o poblaciones poseen determinados límites para su adaptación, las cuales están determinadas por los factores ambientales, es decir que los organismos puedan sobrevivir en límites máximos, intermedios y estrechos, por lo que entre más estrecho sean los límites de tolerancia más alto es su nivel de utilidad como indicador ecológico (Politécnica, 2013).

Para hacer uso de un bioindicador se hace necesario conocer el grado de tolerancia ecológica y las exigencias de dichas especies bentónicas, así como las condiciones que estos adquieren para poder sobrevivir ante la presencia de diferentes sustancias contaminantes. La evaluación de la contaminación acuática se realiza mediante especies indicadoras como: las algas, bacterias, protozoos, macro invertebrados y peces (Bioindicadores).

4.2.2. Macro Invertebrados Bentónicos.

Son aquellos organismos que se pueden ver a simple vista. Se le denominan “macro” a aquellos organismos porque son lo suficientemente grandes como para ser retenidos, (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), e “invertebrados” porque no tienen huesos, y acuáticos o bentónicos porque son habitantes, durante su ciclo de vida de sistemas acuáticos. La gran mayoría de estos organismos corresponden a grupos de artrópodos, insectos y en especial sus formas larvianas son las más comunes (Carrera, 2001).

Los macro invertebrados son utilizados en la mayoría de los casos como indicadores en estudios realizados para determinar la calidad del agua de los ríos, debido a que “su elevado número de especies ofrece un gran número de respuestas a distintos tipos de perturbaciones, tanto físicas como químicas (contaminación orgánica, eutrofización, acidificación, alteración del hábitat, regulación de caudales, canalizaciones, etc.)”, además de poseer características altamente favorables en el momento de realizar su estudio y respectivo análisis (Ziguio, Siligardi, & Flaim, 2006). Características que a continuación se citan:

- Son sedentarios, debido a que poseen escasa capacidad de movimiento y se encuentran directamente en contacto con las sustancias vertidas en las aguas. (Reece y Richarson, 1999)
- poseen un ciclo de vida largo respecto a otros organismos, lo que facilita el estudio y respectivo análisis de los acontecimientos durante un prolongado tiempo.
- Su tamaño es aceptable frente a otros organismos para su respectivo análisis (Martínez García, 2010).

Clasificación de los macro invertebrados acuáticos:

4.2.2.1. Crustacea.

Se caracterizan por tener un exoesqueleto (conchas), un cuerpo con segmentaciones, extremidades articuladas. En el caso de los cretáceos poseen un cuerpo sin segmentación, algunos de ellos presentan alta movilidad con relación a otros grupos y por lo general prefieren aguas duras por su disponibilidad de CaCO₃, según los estudios hasta el momento realizados se han encontrado diferentes órdenes que a su vez se divide en familias (Biopedia, 2010).

4.2.2.2. Mollusca.

En este grupo se encuentran los caracolas, almejas, calamares, pulpos y babosas marinas, razón por la cual se encuentra más de 5000 especies de este grupo, se habla de especies de vida libre a unas especies llamadas parásitas o comensales las cuales poseen un tamaño variante entre unos 10 milímetros y los casi 20 cm que por lo general sólo alcanzan los calamares gigantes. La gran mayoría de estos grupos son acuáticos pero debido a sus capacidades de adaptación pueden habitar en ambientes terrestres y dulceacuícolas y al igual que los otros grupos se divide en órdenes y a su vez en familias que en el marco científico se describen (Astunatura, 2009).

4.2.2.3. Insecta.

Es un grupo de animales invertebrados artrópodos, que se caracterizan por su estructura la cual está compuesta por dos antenas, seis patas y algunos de ellos poseen dos pares de alas, este grupo es el que mayor variedad de especies comprende, es decir su diversidad de especie se encuentra próxima a un millón de especies de las cuales pueden encontrarse en todos los ambientes del planeta y solo una pequeña parte de la variedad de estas especies se han adaptado a la vida en los océanos, y además muchos de ellos son muy buenos como bioindicadores (Naturalista, 2011).

4.2.3. Sistemas de Aguas

4.2.3.1. Sistema léntico.

Es el sistema en el cual se encuentran los lagos y lagunas cuya característica es que son cuerpos de agua con una profundidad relativa a comparación de las aguas corrientes, en cuanto a movimiento son casi que estacionarios es decir tienen un movimiento muy lento, solo presentan pérdida de agua por medio de la evaporación. En las partes menos profundas de estos sistemas se encuentra totalmente poblada por flora y a su vez habitan muchos organismos que tienen como fuente de alimento ciertas especies de flora, en las partes más profundas se encuentra el planto que también es fuente de alimento para otras especies la mayoría de aquellas son peces, pero esta zona posee una gran desventaja para algunas especies que tienen un nivel bajo de adaptación en zonas en las cuales se carece de oxígeno disuelto y la temperatura tiende a ser altas (Universidad Nacional de Colombia, 2010).

4.2.3.2. Sistemas lóticos.

También conocidos como sistemas de aguas corrientes, dentro de esta clasificación se encuentran los arroyos, quebradas y ríos los cuales son caracterizados por un

continuo y rápido flujo de sus aguas, factor que establece una serie de condiciones especiales para la vida de la fauna y flora acuática y para los procesos ecológicos básicos los cuales están asociados a los flujos de energía, materia, generación de biodiversidad. Uno de los rasgos más importantes que presentan estos sistemas es la dimensión, es decir su longitud, los cuales obligan a algunas especies a adaptarse a dichas condiciones es decir para que las corrientes no los arrastren y así puedan permanecer, la cual determina diferencias entre las diferentes partes del mismo cuerpo de agua. Otro rasgo importante son los intercambios que se dan entre el cuerpo acuático y sus alrededores es decir ciertas materias que pasa del suelo o de alguna flora terrestre al agua quedando como sólidos suspendidos (Universidad Nacional de Colombia, 2010).

4.2.4. Índices de Diversidad

4.2.4.1. Índice de Shannon- Weaver.

Es un índice que se basa en la información y en la posibilidad de que se encuentre un determinado individuo dentro de un ecosistema y es uno de los más utilizados para cuantificar la biodiversidad.

La fórmula que se emplea para su cálculo es:

$$H = - \sum_{i=1}^k p_i \log p_i$$

Donde

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

H= diversidad

n_i = número de individuos en el sistema de la especie determinada i

N = número total de individuos

El índice refleja que tan heterogénea es una comunidad teniendo en cuenta dos factores, los cuales son la cantidad de especies ($S =$ número total de especies) presentes y la abundancia referente, en pocas palabras es la medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad. Esto es, si la comunidad de S especies es muy homogénea, en el caso de que ya se conozca que existe una especie dominante y las restantes $S-1$ especies apenas presentes, el grado de incertidumbre será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes. Es decir que al tomar al azar un individuo, en el primer caso tendremos un grado menor de incertidumbre que en el segundo; porque mientras en el primer caso la probabilidad de que pertenezca a la especie dominante será cercana a uno, mayor que para cualquier otra especie, en el segundo la probabilidad será la misma para cualquier especie. Se habla de diversidad máxima ($H_{\max} = \ln S$) cuando las presencias de todas las especies están igualmente (Laura, 2006).

4.2.4.2. Índice de Simpson.

Se emplea para cuantificar la diversidad de un hábitat, manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

S = es el número de especies

N = es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n = es el número de ejemplares por especie

\ln = logaritmo natural.

4.2.4.3. Índice de Margalef.

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos $S=k N$ donde

k es constante (Magurran, 1998). Si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida. Usando $S-1$, en lugar de S , da $DMg = 0$ cuando hay una sola especie (Moreno, 2001).

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Dónde:

S = número de especies

N = número total de individuos

Ln= logaritmo natural

4.2.4.4 BMWP / Col.

Biological Monitoring Working Party (BMWP), fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

Roldán adaptó el sistema del BMWP para evaluar la calidad del agua en Colombia mediante el uso de macro invertebrados acuáticos.

Figura 1. Puntajes de las familias de macro-invertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col de acuerdo a los valores originales del BMWP y ajustados por Roldán (2003) para Colombia.

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Chordodidae, Ghomphidae, Hydridae, Lamoyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Olineuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeraeidae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptoplebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lesidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belastomidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomidae, Haliplidae, Empididae, Dolochoptodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometidae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossophoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Phidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Turbificidae	1

Fuente: Sánchez Herrera, Marjorie Josefina, El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas (2005), recuperado el 6 de diciembre de 2016 de: <<http://revela.com.veywww.redalyc.org/articulo.oa?id=90330207>>

Figura 2. Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP/Col.

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

Fuente: Sánchez Herrera, Marjorie Josefina, El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas (2005), recuperado el 6 de diciembre de 2016 de:<<http://revela.com.veywww.redalyc.org/articulo.oa?id=90330207>>

4.2.5. Parámetros de calidad de las aguas.

4.2.5.1. Parámetros físicos.

4.2.5.1. Parámetros físicos.

Son los que definen las características organolépticas del agua y que responden a los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura (Arellano, 2002).

4.2.5.1.1. Turbiedad.

Se determina como la dificultad que tiene el agua para dejar traspasar la luz debido a materiales insolubles que se encuentran suspendidos, en la mayoría de los casos son muy finos y se presenta dificultad al momento de decantar y filtrar, en algunas de las actividades a las cuales se puede destinar el agua se presenta una interrupción debido a la aparición de estos materiales que se encuentran suspendidos. Para realizar la medición de este parámetro se hace una comparación

con la turbidez que presentan diferentes sustancias, estos valores se representan en ppm de sílice (Marín, 2012).

Los valores que suelen presentar las aguas subterráneas son inferiores a 1 ppm de sílice, estas aguas son muy cristalinas y permiten traspasar la luz hasta unas fondos de 4 o 5 m, mientras que las superficiales pueden llegar a alcanzar varias decenas, pero lo máximo admisible es 10 ppm para que no se presente una interferencia por parte de ellas en algún proceso (Castrillón, 2012).

4.2.5.1.2. Temperatura.

Es un componente abiótico encargado de regularizar algunos procesos significativos para los organismos vivos, además de tener la capacidad para cambiar algunas propiedades físicas y químicas de los ecosistemas acuáticos, propiedades tales como la solubilidad de nutrientes, gases y el grado de toxicidad, pH, densidad y la viscosidad factor que desempeña un importante rol en el agua ya que de ella depende la estructura física de peces, larvas e insectos en los ambientes lóticos, factor que afecta notoriamente tanto la composición como la distribución de los integrantes de un ecosistema la temperatura nos indica que hay un discrepancia de energía que provoca la transferencia de calor. La temperatura en el agua tiene gran importancia debido a que estudios han comprobado que afecta notoriamente el desarrollo de un protozario una vez la temperatura sobrepase los 10 °C y así mismo sucede con otros organismos acuáticos (UNAD, 2007).

4.2.5.1.3. Sólidos suspendidos totales.

Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables. Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos (IDEAM, 2007).

El proceso para su determinación se inicia pesando la cantidad de sólidos que han quedado retenidos en el filtro justamente después de someterse a un proceso de secado. Para las aguas cuyo destino son de proceso los sólidos suspendidos hacen que se presenten problemas en los equipos de proceso, los sólidos en los cuerpos

hídricos tienen efectos sobre la fauna debido a que en la mayoría de sus casos produce alteraciones en el desarrollo de los peces, al igual que produce efectos en otras especies como la macro fauna ya que en ocasiones impide su migración modificando su movimiento y en otros casos reduce la cantidad de alimento razón por la cual también disminuye la diversidad de dichas especies. Como tratamiento para extracción de los sólidos suspendidos, el agua se somete a un proceso de filtración y decantación (UNAD, 2010).

4.2.5.1.4. Sólidos disueltos.

Es la medida de la cantidad de materia que se encuentra disuelta en el agua, se determina a partir de un proceso de evaporación de cierto volumen de agua que ha sido previamente filtrada. Estos sólidos pueden tener como origen orgánico o inorgánico. Al igual que el resto de sólidos generan una serie de complicaciones para el desarrollo de la vida de aquellos organismos que habitan en un sistema acuático (OMS, 2006).

En cuanto al valor máximo para las aguas potables se establece una cantidad deseable de 500 ppm. En cuanto a sus procesos de tratamiento se encuentran; precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa (Castrillón, 2012).

4.2.5.1.5. Conductividad.

Es una expresión numérica de la capacidad que posee el agua para transportar una corriente eléctrica, por tal razón este parámetro depende de la concentración de sustancias ionizadas que se encuentran disueltas en el agua, además de otros parámetros como la temperatura y a su vez se encuentra relacionada a la concentración de sólidos disueltos (Rojas, 1996).

4.2.5.2 Parámetros químicos.

4.2.5.2.1 Alcalinidad.

Es la capacidad que presenta el agua para neutralizar ácidos, además de la capacidad de reaccionar con iones hidrógeno, parámetro de gran importancia para procesos como coagulación, ablandamiento, control de corrosión.

Las aguas naturales pueden registrar altas concentraciones de alcalinidad debido a la presencia de compuestos de bicarbonato, carbonatos e hidróxidos (Rojas, 1996).

4.2.5.2.2. Dureza.

Es la concentración de los cationes metálicos no alcalinos es decir iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos, bajo la presencia de estos compuestos se puede producir las incrustaciones calcáreas es decir que se puede producir partículas sólidas que quedan suspendidas en el sistema acuática, casi siempre se deben a que hay vertimientos de aguas industriales, sin embargo no hay que dejar de lado que la presencia de calcio en las aguas naturales tiene como origen en la lixiviación de algunos terrenos que poseen cierto porcentaje de material calizo (García, 2010).

Las aguas blandas por lo general no son productivas, las aguas intermedias pueden tener fauna y flora variada con la desventaja de tener una productividad baja en producción de biomasa (Roldan, 1.992).

El análisis de dureza en el agua es de gran importancia ya que gracias a ella se puede determinar su conveniencia para uso doméstico e industrial ya que las aguas duras no permitan la formación de la espuma del jabón motivo por el cual son totalmente deficientes en algunos procesos industriales y deben ser sometidas a un proceso de ablandamiento.

4.2.5.2.3. pH.

Es la forma de expresar la concentración de ión hidrógeno ó más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por la relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez es importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH (IDEAM, 2007).

4.2.5.2.4. Nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal.

El nitrógeno amoniacal se encuentra presente en aguas residuales sin tratar, debido a que las bacterias hacen el proceso de descomposición, transformando el nitrógeno orgánico en amoniacal, en la naturaleza debido a la presencia de O₂, se

da paso a la transformación de amoniacal a nitrito y éste pasa rápidamente a nitratos, que es la forma más oxidada que se encuentra el nitrógeno en el agua.

El exceso de nutrientes y nitrógeno en el agua ocasiona que las plantas y otros organismos crezcan rápidamente y cuando termine su ciclo de vida e inicie su proceso de descomposición la calidad del agua cambian totalmente debido a la alta carga de materia orgánica presente (Ambientum, 2002).

4.2.5.2.5. Oxígeno disuelto.

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, parte de este oxígeno es el mismo que se encuentra en el aire solo que se ha mezclado con el agua, suceso que ocurre cuando en un sistema acuático hay turbulencia, motivo por el cual en los ríos con bajas velocidades o quizás con velocidad nula, presentan un nivel muy bajo de oxígeno disuelto, la otra parte es resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Este parámetro del agua indica cómo está contaminada el agua, en cuanto mayor sea el nivel de oxígeno disuelto en el agua mayor es su calidad, mientras menor sea el nivel indica que su calidad es muy baja y que además presenta desventaja para algunos organismos acuáticos que no poseen la habilidad para adaptarse a tan estrechas condiciones. Los factores que pueden alterar al oxígeno disuelto son la salinidad, la temperatura y la altitud (Navarra, 2006).

4.2.5.2.6. Demanda química de oxígeno.

Este parámetro mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico además se emplea para estimar el contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales.

Este parámetro se puede ver afectado por factores como la presencia de compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato no son bioquímicamente oxidables (Barba, 2002).

4.2.5.2.7. El potencial óxido – reducción.

Se define como la fuerza electromotriz desarrollada por un electrodo de referencia de un metal que es sumergido en el agua, este parámetro permite medir la relación existente entre las actividades de las sustancias oxidadas y las reducidas en un cuerpo de agua, es decir las zonas en las cuales se dan reacciones de óxido

reducción, su comportamiento tiende a variar con respecto al aumento de ion hidrógeno y disminución de iones hidróxido (Rojas, 1996).

4.2.5.3. Parámetros bacteriológicos.

4.2.5.3.1. Coliformes.

Es el grupo de bacterias gram-negativas aerobias y anaerobias y tienen una forma de bacilos corto, y son los encargados de fermentar la lactosa, y se encuentran en la naturaleza ya que se encuentra en cada uno de los residuos, es decir que no siempre se encuentra como contaminante ya que también se encuentra en el organismo de los humanos y en la sangre de algunos animales. Estas bacterias se desarrollan a una temperatura de 35 a -5 C debido a la presencia de algunos agentes produciendo acidez y gas en un periodo de 24 a 48 horas. Los coliformes fecales poseen las mismas características de los coliformes totales, su única diferencia radica en que las fecales el grado de tolerancia a temperaturas mayores es más alto, soportando una temperatura máxima de 44.5 °C (Ramos, 2011).

Hoy en día los ríos presentan una alta contaminación fecal es decir que este es el principal riesgo sanitario en cuerpos hídricos, ya que se asume que hay presencia de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por eso conocer el riesgo sanitario (presencia de coliformes) es tan importante para mantenerlo en equilibrio y así no exponer la salud de la población (Ramos, Vidal, & Vilaridy, 2014).

4.2 MARCO CIENTÍFICO

Los estudios que hasta el momento se han realizado han conllevado a clasificar en tres grupos los macro invertebrados según el tipo de agua en el que habitan:

Clase I: Indicadores de aguas claras, muy sensibles a los cambios. Se encuentran: *Ephemeroptera*, familias *Baetidae* (*Baetodes sp*, *Moribaetis sp*); *Oligoneuridae* (*Lachlania sp*); *Trichoptera*, familias: *Helicopsychidae* (*Helicopsyche sp*), *Leptoceridae* (*Neptosyche sp*), *Hydrobiosidae* (*Atopsyche sp*); *Plecoptera*, de la familia *Perlidae* (*Anacroneuria sp*); *Coleoptera*, familia *Ptylodactylidae* (*Tetraglosa sp*); *Elmidae*. (*Macrelmis_sp*) (TamarisTurizo et al. & Cardozo, 2005).

Clase II: Indicadores de aguas medianamente contaminadas. En general son tolerantes a la contaminación de tipo orgánico. Se encuentran en hábitats de poca contaminación. Dentro de éste algunos géneros *Hetaerina* (Odonata), *Gerris* (Hemiptera), *Smicridea* (Trichoptera), *Tropisternus* (Coleoptera), *Dixella*, *Probezzia*, *Limnophora*, *Limnicola* (Diptera), *Helisoma* y *Succinea* (Gastropoda). Se destacan las familias *Chironomidae* 6 (Diptera), el *Phylum Mollusca* y la clase *Hirudinea*, como algunos caracoles (principalmente de los géneros *Physa* y *Limnaea*) y sanguijuelas (López & et al, 2006)

Clase III: Organismos indicadores estenoicos, son aquellos que necesitan del cumplimiento riguroso de condiciones ambientales muy precisas para sobrevivir; con capacidad de adaptación limitada y eurioicos que son organismos que resisten amplias variaciones ambientales y por ello tienen alta capacidad de adaptación. Se encuentran en medios contaminados por materia orgánica aguas. Por ejemplo los grupos taxonómicos de la clase *Annelida*, con los géneros *Limnodrilus* y *Tubifex* (Mathooko & et al, 2005).

El estudio de los bioindicadores de la calidad del agua se ha convertido en un tema científico de gran importancia debido a su aplicación y el impacto ambiental que estos tienen, los más estudiados hasta el momento son los macro invertebrados acuáticos los cuales requieren de un análisis tanto biológico como taxonómico para clasificarlos según su orden, suborden y familias siendo esta última la clasificación más específica la cual hasta el momento no se ha determinado en su totalidad, a continuación se citan los órdenes más representativos y sus descripción:

4.1.1. Orden Trichoptera.

la mayoría de ellos habitan en aguas corrientes y muy pocas especies habitan en aguas quietas, con una buena calidad es decir aguas limpias y oxigenadas, estos macro invertebrados se encuentran habitando debajo de piedras, troncos y material vegetal según su estado de madurez, en el caso de las larvas cuyo nombre científico es (caddisflylarvae), se encuentran habitando “en el fondo de los cuerpos de aguas en las cuales hay presencia de plantas acuáticas que no están sumergidas del total, la gran mayoría de estos habitan en rocas y troncos sumergidos. (McCafferty, Roldán, & Tercedor, 1996)

En este orden se han identificado cinco grupos, en los cuales la diferencia radica en su comportamiento durante su etapa de larvas, gran parte de ellas elaboran sus lugares de refugio para su primera etapa. Otro grupo se refugian entre las piedras con una malla protectora, este grupo se denomina net-spinning caddis. Otro grupo construye unas caparazones, estos son conocidos como saddle-case caddis o tortoise-case makers. Se encuentran otras especies de un tamaño inferior los cuales

se les llama purse-case caddis o purse-case makers. Existe otro grupo el cual ha sido denominado tube- case caddis, los cuales construyen unos tubos portátiles que varían en forma y material. El último grupo, se encuentran las especies que viven sin refugio (Roldán Pérez, 1992).

Los estudios hasta el momento realizados han mostrado que de los tricópteros presentan mayor diversidad en los climas fríos y que el periodo que requieren para su desarrollo es de uno a dos años.

Por último lo que se ha concluido de los estudios ya realizados es que, son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Cortolima, 2006).

4.1.2. Orden Diptera.

Es uno de los órdenes que mayor variedad de especies tanto terrestres como acuáticas, la razón por la cual son de gran importancia es por su abundancia, además de ser los principales macro invertebrados bentónicos, en una familia se pueden hallar parásitos, predadores y degradadores (Lopretto y Tell, 1995). Habitan en sistemas lenticos como loticos y en la superficie de ellos donde se encuentra la mayor cantidad de oxígeno disuelto, su morfología es muy variable así como la biología y la reproducción de las larvas. Los Díptera Chironomidae es una de las familias que mejor está representada por su abundancia y diversidad en los ambientes acuáticos, durante sus estados inmaduros cumplen un papel muy importante en la ecología de los cuerpos de agua tanto naturales como artificiales ya sean corrientes o estancadas, lo que ha motivado el desarrollo de extensos estudios sobre su taxonomía y biología, estudios que poseen un alto grado de importancia para bioindicación, para realizar una clasificación del cuerpo de agua (Paggi, 2001).

4.1.3. Orden Ephemeroptera.

Ephemero = Efímero, ptera= Alas. Esta especie se encuentra habitando las corrientes, en las piedras, troncos, y hojas, una mínima parte de esta especie habitan enterradas en el fondo de los lodos y otra mínima parte habitan en la vegetación (Zúñiga & Rojas, 1995).

Los ephemeroptera poseen la capacidad de procesar materia orgánica, ya sea triturando las partículas grandes, o filtrando las pequeñas, además también poseen la capacidad de tolerancia a diferentes grados de contaminación o impacto ambiental, motivo por el cual han sido empleados como bioindicadores de la calidad de agua desde hace varios años. Las ninfas de los efemerópteros viven en aguas

casi que transparentes con un alto contenido de oxígeno y con bajo contenido de carga orgánica, por tal razón, se consideran indicadores de aguas de buena calidad, además de poseer capacidad para la adaptación hasta los 3000 metros de altura sobre el nivel del mar, alcanzando su mayor nivel de diversidad en un rango de 1000 y 2000 m sobre el nivel del mar (Cortolima, 2006).

Estos organismos poseen una serie de características que los convierte en importantes indicadores ecológicos de la calidad del agua, la primera es la dispersión limitada situación que se da porque los adultos son de vida corta, con poca capacidad para volar, y las ninfas son de hábitat acuáticos a los cuales están fuertemente relacionadas, debido a que permanecen adheridas a rocas, hojarasca o sumergidas en el lodo de los cuerpos de agua (Cortolima, 2006).

4.3.4. Orden Coleoptera.

Es el grupo que mayor orden de insectos posee con una proximidad de 300.000 especies, y 5000 especies acuáticas, es categorizado como uno de los principales grupos de artrópodos de agua dulce. Además, los coleópteros ocupan un amplio espectro de hábitats acuáticos, incluyendo sistemas de aguas frías, de corrientes rápidas (Cortolima, 2006).

Los coleópteros acuáticos adultos se caracterizan por poseer un cuerpo compacto, las antenas son visibles y, por lo general, varían en forma y número de segmentos. El primer par de alas está por lo general modificado en élitros, los cuales cubren dorsalmente el tórax y el abdomen de la mayoría de los coleópteros (Cortolima, 2006).

El abdomen presenta agallas laterales o ventrales de forma variada. Por lo general, el último externito abdominal presenta un opérculo.

La mayoría de las familias de los coleópteros acuáticos son cosmopolitas. Algunos se encuentran tanto en zonas templadas como en el trópico. Sin embargo, algunas familias y especies son propias de las zonas templadas, mientras que otros géneros y especies se encuentran principalmente en regiones tropicales como por ejemplo los géneros de la familia Noteridae (Cortolima, 2006).

4.3.5. Orden Odonata.

Todo este grupo es acuático en sus etapas inmaduras el promedio de familias que hay en este orden es de 14 familias. Las ninfas son depredadores y se reconocen

por tener un labio altamente modificado para atrapar presas este labio permanece doblado en reposo pero se extiende rápidamente hacia delante cuando la ninfa tiene una presa en frente. La mayoría de estas se encuentran viviendo en el fondo de los sistemas acuáticos en medio de la vegetación que se encuentra sumergida (Cortolima, 2006).

4.3.6. Orden plecópfera.

Todos los pertenecientes a este orden son acuáticos durante sus etapas inmaduras, hasta el momento solo se tiene una familia de este orden en gran parte de América conocida como Perlidae, y a nivel mundial hay 16 familias. Son reconocidos por tener dos cercos terminales y branquias torácicas, su lugar de hábitat es casi siempre en aguas con corriente, durante sus últimas etapas se encuentran como depredadores (Cortolima, 2006).

4.3.7. Orden hemíptera.

En este orden se incluyen los chinches (suborden Heteroptera) y los homópteros (subórdenes Auchenorrhyncha y Sternorrhynchan la hay subórdenes en los cuales se encuentran divididos en dos grupos acuáticos o semiacuáticos, en los cuales se encuentran más de 60 familias. Los hemípteros se reconocen por las piezas bucales en forma de proboscis (“pico”), siendo la gran mayoría depredadores (Cortolima, 2006).

4.3.8. Orden megalóptera.

Todos son acuáticos en sus etapas de larvas, y tienen ciertas similitudes con las larvas de orden coleóptera. Este orden es muy pequeño solo posee dos familias las cuales se conocen como Corydalidae y los sialidae, los primeros son grandes y viven principalmente en aguas con corriente mientras que los Sialidae son menos comunes su tamaño es menor, y tienen la capacidad de habitar en varios tipos de aguas; son más pequeños y habitan en varios tipos de agua con sedimentos blandos, en estas dos familias hay larvas las cuales son depredadoras (Cortolima, 2006).

4.3.9. Orden neuróptera.

La mayoría de las familias de este orden son terrestres. Las pocas familias acuáticas de estas especies son las larvas que se alimentan exclusivamente de esponjas, razón por la cual habitan en aguas dulces. La pupa y el adulto son terrestres (Cortolima, 2006).

5. METODOLOGÍA

Esta investigación posee un enfoque mixto por cuanto maneja la investigación cualitativa que analiza las características morfológicas y fenotípicas de cada una de las especies de macro invertebrados según la variación física, química y bacteriológica de su entorno; y cuantitativa debido a que es necesario evaluar la cantidad de cada una de estas especies, para así determinar a partir índices de Margalef, Shannon-Weaver, Simpson y Biological Monitoring Working Party (BMWP), la distribución de especies de acuerdo con la calidad del agua del río Suárez.

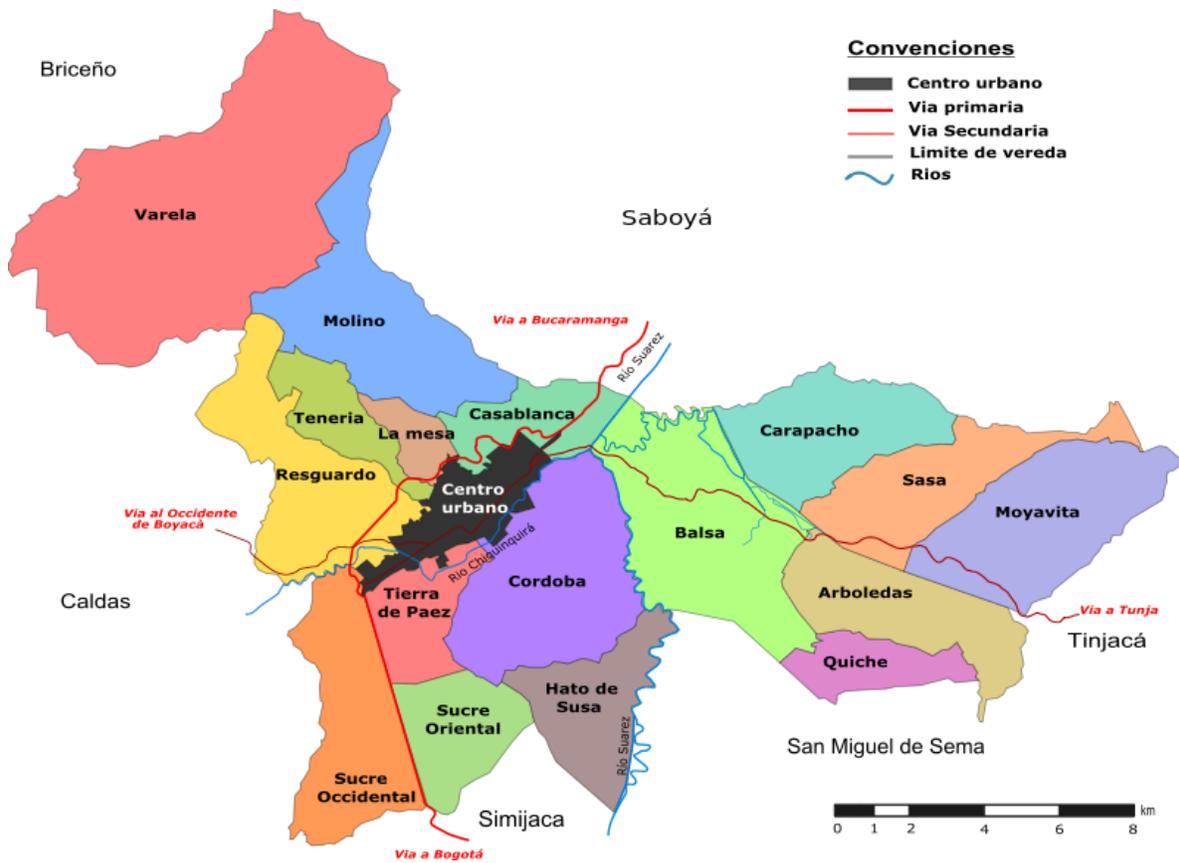
5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Chiquinquirá está localizado a 134 km al norte de Bogotá y a 70 km de Tunja la capital del departamento de Boyacá, pertenece a la provincia de Occidente, su clima promedio es de 15 grados y su altura de 2580 msnm. Está situada a 5°, 36', 48" de latitud norte y a 0 grados, 15 minutos y 21 segundos de longitud meridiano de Bogotá. Limita por el norte con Saboya, por el sur con San Miguel de Sema, Simijaca y Caldas, por el oriente con Tinjacá y Simijaca y por el occidente con Caldas y Briceño (Buitrago, 2010).

Chiquinquirá cuenta con 125 Kilómetros cuadrados de extensión y con una población de 62.453 habitantes, de los cuales 53.525 se encuentra en el área urbana y 8.929 en el área rural, es muy rico en recursos hídricos ya que cuenta los ríos, Suárez, Chiquinquirá y el Mandrón y con las quebradas Quindión, Yerbabuena, María Ramos, San Antonio, La Chillona, el Chinche, La Raya, Buitrón y el Ciprés. Chiquinquirá cuenta con cuatro vías principales las cuales comunican al municipio con ciudades como Bogotá y Tunja y regiones como Territorio Vásquez y Santander (Chiquinquirá, 2012).

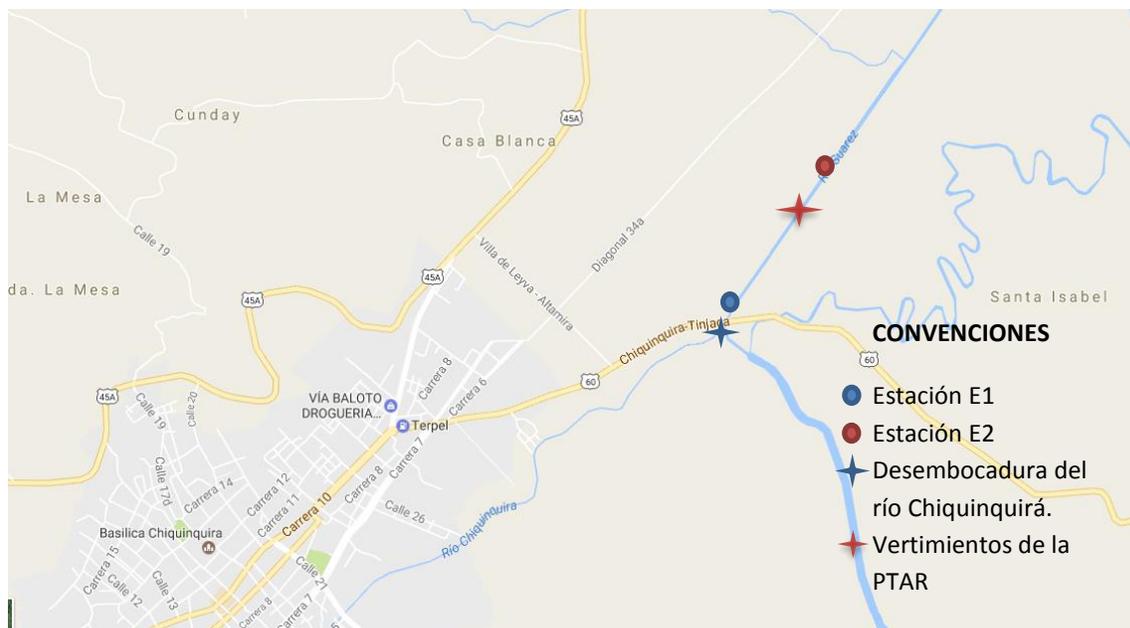
El río nace en la laguna de Fúquene en límites de Boyacá y Cundinamarca; recorre la región occidental, atraviesa el municipio de San Miguel de Sema, el valle de Chiquinquirá en donde recibe el río del mismo nombre, el municipio de Saboyá, una vasta zona de la Provincia de Ricaurte como Moniquirá, San José de Pare, Santa Ana y entra al departamento de Santander. Entre sus afluentes se pueden nombrar el Chiquinquirá, el Moniquirá, el Pómeca y el Lenguaruco (Gobernación de Boyacá, 2012).

Figura 3. Municipio de Chiquinquirá – Boyacá.



Fuente: Alcaldía de Chiquinquirá - Boyacá. (2010). [Figura]. Recuperado el 01 de diciembre de 2016, de http://www.chiquinquira-boyaca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1365826.

Figura 4. Ubicación de las estaciones de muestreo sobre el río Suarez en el municipio de Chiquinquirá-Boyacá.



Fuente: Google. (s.f.). [Mapa de Chiquinquirá, Colombia en Google maps]. Recuperado el 6 de diciembre, 2015, de:

https://www.google.com.co/search?q=macroinvertebrados&espv=2&biw=1280&bih=923&source=Imms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi76Pu_2eDQAhUKQyYKHSEGA1EQ_AUIBigB#imgrc=VP52qfzELQjymM%3A.

Para el desarrollo de la metodología se plantean 5 etapas los cuales permitirán lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos.

5.2. PRIMERA ETAPA

5.2.1. Implementación de la red de muestreo.

La segmentación del Río Suárez se realizó a partir de un análisis de la longitud dentro del municipio de Chiquinquirá, Boyacá y un recorrido que se llevó a cabo para determinar puntos importantes e influyentes en la calidad del agua, los puntos que se tuvieron en cuenta fueron las fuentes de contaminación, vertimientos, variación de caudales y tipos de sustrato.

Una vez se identificaron los puntos se procedió a georreferenciar con un GPS LANIX 12 teniendo en cuenta que durante el recorrido se encontró dos puntos muy importantes, como lo son la desembocadura del río Chiquinquirá y vertimientos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), a partir de esta información se procedió a ubicar las dos estaciones de muestreo e identificar cada uno de los puntos de contaminación entre las dos estaciones de muestreo.

Los dos puntos que se seleccionaron como estaciones de muestreo fueron los siguientes:

Tabla 1. Ubicación y descripción de la red de muestreo.

ESTACIONES DE MUESTREO			
Estación	fotografía	Descripción	Coordenadas
E1		Esta estación se ubicó 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Chiquinquirá en el río Suárez, se observa la presencia de rocas de mediano tamaño, los alrededores del	N 05° 4' 25" W 073° 52' 147"



Figura 5. Estación E1 ubicada 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Chiquinquirá.

río se encuentra con pasto, no se evidencia la presencia de arbustos, el caudal es muy bajo y su color es algo oscuro, además que se evidencia la presencia de residuos sólidos.

E2	 <p data-bbox="402 913 769 997">Figura 6. Estación E2, 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR.</p>	<p data-bbox="792 191 1053 877">El caudal del agua es mayor a la estación E1 debido a que se encuentra ubicada 100 m aguas abajo de la desembocadura de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la cual es la encargada de tratar las aguas residuales de la población urbana del municipio, con una recepción de 175 L/s.</p>	<p data-bbox="1076 191 1308 258">N 05° 37' 790" W 073° 47' 632"</p>
----	--	---	---

Fuente: Elaboración propia.

La estación E1 se ubicó 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Chiquinquirá, debido a que se considera un punto importante en cuanto al comportamiento que tiene el cuerpo de agua, resaltando que el vertimiento que recibe la corriente fluye y proporciona un aumento de caudal lo que hace que sea más viable su análisis, además de la variación de otras características.

La estación E2 se ubicó 100 m aguas abajo de la desembocadura o vertimientos de la PTAR debido a que la mayoría del caudal del río Suárez es proveniente de ella, teniendo en cuenta que durante los análisis realizados en la temporada de aguas bajas se registró un caudal de 20 L/s, situación que varió a los 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR a un caudal de 196,2 L/s, es decir que es notorio el aumento drástico que tiene al caudal del río a partir de estos vertimientos.



Fuente: Propia.

Figura 7. Tubo 1 de la PTAR con vertimientos en el río Suárez.



Fuente: propia.

Figura 8. tubo 2 de la PTAR vertiendo sus aguas en el río Suárez.

Tabla 2. Fuentes de contaminación identificadas entre las dos estaciones de muestreo

FUENTES DE CONTAMINACIÓN			
fuentes	fotografía	Descripción	Coordenadas
difusa	 <p>Figura 9. Desembocadura del río Chiquinquirá en el río Suárez.</p>	<p>Desembocadura del río Chiquinquirá en el río Suárez, donde se evidencia la misma proporción de plantas acuáticas en los dos ríos, además de la presencia de algunos desechos plásticos que provienen de la población urbana del municipio que son transportados hasta este punto por el río Chiquinquirá.</p>	<p>N 05° 38' 077" W 073° 48' 043"</p>
fija	 <p>Figura 10. Tubería proveniente de una vivienda para verter sus aguas domésticas en el río Suárez.</p>	<p>Tubería proveniente de una vivienda para verter aguas domésticas en el río Suárez. En el momento no se muestra o registra descarga reciente al río.</p>	<p>N 05° 37' 723" W 073° 47' 705"</p>

Difusa	 <p data-bbox="370 934 784 1018">Figura 11. Vacunos pastoreando en la ladera del río y deslizamiento de tierra.</p>	<p data-bbox="784 180 1122 735">Presencia de materia orgánica provenientes de las heces de animales vacunos que pastorean en la ladera del río. Además de evidenciar el aumento de sólidos suspendidos debido a que se encontró pequeños deslizamientos de suelo erosionado.</p>	<p data-bbox="1122 180 1380 262">N 05° 37' 756" W 073° 47' 684"</p>
--------	---	--	---

Fuente: Elaboración propia.

5.3. SEGUNDA ETAPA

5.3.1. Análisis ecológico.

Se realizó el análisis ecológico al río teniendo en cuenta variables como el tipo de fondo, sustrato, margen del río, vegetación aledaña, profundidad, velocidad y tipo de corriente, según la clasificación de Roldán (Cortolima, 2006). Estos análisis se realizaron empleando para cada una de las estaciones el protocolo de campo propuesto en el libro de la Corporación Autónoma Regional (CAR) "Los macro invertebrados como bioindicadores de la calidad del agua" 2012, protocolo que se empleó para esta investigación, haciendo algunas modificaciones para proporcionar una información más detallada acerca de cada una de las variables evaluadas y analizadas.

En el caso de la clasificación de la presencia de vegetación acuática, se empleó la clasificación estipulada en el protocolo, las cuales: son ausentes, escasas, moderadas y abundantes; para tener datos de mayor precisión se han asignado los siguientes valores para cada una de las anteriores especificaciones.

Vegetación acuática: (porcentaje del área total cubierta por vegetación acuática, de la totalidad del área estudiada)

Ausentes: 0%

Escasas: 0 - 30%

Moderadas: 31 - 60%

Abundantes: 61 - 100%

Tabla 3. Caudales registrados en el río Suárez.

	Estación	Fecha	Caudal
Temporada de sequía	E1	11/12/2015	65,9 L/s
		21/02/2016	20 L/s
	E2	11/12/2015	215,6 L/s
		21/02/2016	196,2 L/s
Temporada de lluvia	E1	09/05/2016	376,8 L/s
		20/06/2016	168,4 L/s
	E2	09/05/2016	566,9 L/s
		20/06/2016	266,5 L/s

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3 ilustra los caudales que se registraron en cada una de las estaciones de muestreo, durante las fechas y horas en las cuales se realizaron los análisis, teniendo en cuenta que los caudales registrados son variables, resaltando de nuevo que los muestreos se realizaron en dos temporadas diferentes, la primera de ella fue en la temporada de sequía (de mayor intensidad del año) y la segunda temporada corresponde a lluvias (de menor intensidad del año), por tal razón el análisis realizado se basa en la comparación de diferentes caudales, no propiamente los más representativos de cada una de las temporadas, aclarando que si se registran variaciones en el caudal, pero no son tan significativas con relación a las variaciones que se producen por los elevados caudales que puede alcanzar el río Suárez durante el último trimestre del año.

Para la temporada de sequía en la estación E1 se registraron caudales de 65,9 y 20 L/s, debido a que los muestreos fueron realizados en un punto medio de la temporada y un punto máximo donde el caudal fue el mínimo, mientras que en la estación E2 no es significativo su disminución resaltando que la mayoría de este caudal es proveniente de la PTAR y por ende no sufre mayores variaciones.

Tabla 4. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de sequía, primer muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E1	DESCRIPCIÓN	Ubicada 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Suárez.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	11/12/2015	Hora:	1: 30 pm.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	5,5	Profundidad (m)	0,14
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,8 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	Materia orgánica, restos de vegetación, piedras de diferentes tamaños.
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	abierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	2.2 mg/L
conductividad	1,5 mS/cm	pH	6,16
Vegetación acuática	moderada	Alrededores	Pastos
Macrofitas	ausentes	Área muestreada	10 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos

Descripción	Se encuentra 2 animales vacunos pastoreando en el borde del río.
--------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

Durante el primer muestreo se evidencio que las probabilidades de encontrar concentraciones considerables de materia orgánica son altas debido a la presencia de animales vacunos, además hay hallazgos de residuos domésticos en descomposición, situación que solo se presenta en la estación E1 debido a que se encuentra justo debajo de los dos puentes, tanto vehicular como peatonal de la vía Chiquinquirá – Tinjacá.

La vegetación acuática está en una proporción moderada solo se encuentra en los bordes del río, y se asume que la probabilidad de que la cantidad de macro invertebrados recolectados sea alta debido a que se encuentran rocas de pequeños y medianos tamaños, y troncos en los cuales pueden habitar varias especies; no obstante los resultados no fueron los esperados debido a que las concentraciones oxígeno disuelto se encuentran fuera de los niveles óptimos, y la conductividad se encuentra dentro de los parámetros de un agua de mar es decir es un nivel muy alto.

En cuanto al muestreo se realizó teniendo en cuenta las características del río tanto su caudal, nivel del agua y sustrato, por ende durante la recolección se empleó la red de Surber, debido a que se adapta a su baja profundidad, teniendo en cuenta que esta red se caracteriza por estar constituida por dos bastidores cuadrados (30 cm lado), articulados uno sobre otro, llevando uno de ellos la red y definiendo el otro el área de recogida, con una malla de 250 µm de luz evitan la pérdida de los pequeños (Torralba Burrial & Ocharan, 2007).

También se implementó la recolección manual debido a que se encuentran algunas especies adheridas a las piedras o sustrato, para lo cual se emplearon pinzas de disección.

Tabla 5. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de sequía, primer muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E2	DESCRIPCIÓN	Se encuentra ubicada 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	11/12/2015	Hora:	3:00 pm.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	7,82	Profundidad (m)	0,5
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	Materia orgánica, vegetación y otros.
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	abierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	2.9 mg/L
conductividad	0,875 mS/cm	PH	6,41
Vegetación acuática	abundante	Alrededores	Pastos

Macrófitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macroinvertebrados	Escasos
Descripción		Se encuentra 2 animales pastoreando metros antes a la estación de muestreo.	

Fuente: Elaboración propia.

La estación E2 cuenta con unas características diferentes a la estación E1, teniendo en cuenta que están alteradas por la desembocadura de uno de los tubos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio, que se encuentra ubicado 100 m antes a la estación, con base a lo anterior se procede a identificar los siguientes aspectos:

- Mayor profundidad del río: a causa de la baja pendiente del río, el agua no fluye a grandes velocidades, sino que tiende a convertirse en un sistema lenticó, también se observa que dentro río hay una tubería que succiona parte del agua.
- La presencia de vegetación acuática: el río se encuentra parcialmente cubierto por vegetación lo que se asocia a las altas concentraciones de nitratos que tienen las aguas residuales domésticas tratadas y vertidas al río.
- Sustrato: el sustrato que se evidencia es lodo, razón por la cual su grado de turbidez es mayor a la estación E1, no se observa piedras ni restos de troncos.

Los niveles de oxígeno disuelto son mayores a la estación E1 lo cual se atribuye a la caída del agua de la tubería de desembocadura de la PTAR, la conductividad es menor a la estación E1, pero aun así corresponden a niveles muy altos.

Teniendo en cuenta las características de esta estación, la recolección de macro invertebrados se llevó a cabo de una draga Eckman, que es útil para tomar muestras de cieno, lodo, fango arenosos con poca corriente del fondo del río (Sanabria Suárez, 2006).

Tabla 6. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de sequía, segundo muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E1	DESCRIPCIÓN	Ubicada 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Suárez.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	21/02/2015	Hora:	9:30 am.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	4,35	Profundidad (m)	0,095
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	Materia orgánica, vegetación y otros.
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	Parcialmente cubierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	1.8 mg/L
conductividad	1,18 mS/cm	pH	6,27
Vegetación acuática	moderada	Alrededores	Pastos
Macrofitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²

Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos
Descripción		Se encuentra una gran cantidad de residuos plásticos y domésticos.	

Fuente: Elaboración propia.

Para el día del muestreo se hace más notorio el impacto de la temporada de sequía, debido a que el nivel del agua es muy bajo, al igual que la velocidad de la corriente con relación al primer muestreo, y se evidencian un aumento de residuos domésticos, y de vegetación acuática, se encuentra gran cantidad de lodo en las orillas.

El agua se observa igual de turbia, con relación al primer muestreo, la recolección solo se pudo hacer manual debido al bajo caudal y alta cantidad de rocas presentes, la es menor la cantidad de especies recolectadas con relación al muestreo anterior y se clasifica como escasos.

Tabla 7. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de sequía, segundo muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E2	DESCRIPCIÓN			Se encuentra ubicada 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR.
Municipio	Chiquinquirá			
Fecha:	21/02/2016	Hora:	11:15 pm.	
Condiciones de tiempo durante el muestreo:		Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente	
Ancho (m)	7,1	Profundidad (m)	0,5	
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s	
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	Materia orgánica, restos de vegetación y otros.	
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	abierto	
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	2.5 mg/L	
conductividad	0,5 mS/cm	pH	5,9	

Vegetación acuática	abundante	Alrededores	Pastos
Macrofitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Moderados
Descripción		Se presenta un incremento en cuanto a la vegetación.	

Fuente: Elaboración propia.

La presencia de vegetación acuática es mayor con relación al muestreo ya realizado, el agua es más turbia, con mayor concentración de sólidos disueltos, al igual que la estación E1 la presencia de macro invertebrados es escasa.

En este caso la conductividad es demasiado baja, y el nivel del agua es aproximadamente igual al muestreo anterior debido a que la PTAR tiene la misma cantidad de agua a tratar diariamente, para el momento del muestreo no se observa animales pastoreando cerca de las orillas del río, además se observa que los lodos en las orillas del río se encuentran totalmente secos.

Tabla 8. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de lluvia, primer muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E1	DESCRIPCIÓN	Ubicada 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Suárez.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	09/05/2016	Hora:	9:30 am.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	10	Profundidad (m)	0.65
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	No se evidencia debido a la profundidad que se registra.
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	Parcialmente cubierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	4.7 mg/L
conductividad	0,302 mS/cm	pH	6.68
Vegetación acuática	ausente	Alrededores	Pastos

Macrófitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos
Descripción		Se registra una barrera plásticos provenientes de la parte urbana del municipio.	

Fuente: Elaboración propia.

Para el primer muestreo en período de lluvia el caudal es mucho mayor debido a que la presencia de lluvia durante los últimos días anteriores al muestreo es constante, se ha observado que dónde se encuentra una mayor concentración acuática se ha generado una barrera de residuos sólidos que han sido arrastrados hasta este punto desde la zona urbana del municipio, por medio del río Chiquinquirá.

En cuanto a las técnicas de muestreo se empleó la draga Eckman debido a la profundidad que registra en su momento el río. Acompañada de una red manual artesanal. Las condiciones en esta temporada variaron bastante, razón por la cual se han encontrado pocos macro invertebrados, teniendo en cuenta que las lluvias y crecientes recientes hacen que varíe la presencia debido a que hay cambios repentinos y puede ocasionar arrastre de algunos de ellos y que se presenta una disminución notoria de macrófitas las cuales prestan a algunos géneros variados beneficios como; proporcionar alimento, refugio, áreas para colonización y reproducción, y promueven un incremento en la biodiversidad (Rico Sánchez, Rodríguez Romero, López López, & Sedeño Díaz, 2014).

Tabla 9. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de lluvia, primer muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E2	DESCRIPCIÓN	Se encuentra ubicada 100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	09/05/2016	Hora:	10:45 am.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:		Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.	
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	11	Profundidad (m)	0.75
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	vegetación arrasada por la creciente
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	abierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	3.7 mg/L
conductividad	0,341 mS/cm	pH	5,9

Vegetación acuática	moderada	Alrededores	Pastos
Macrofitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos
Descripción		Se presenta un incremento en cuanto a la vegetación.	

Fuente: Elaboración propia.

En la información recolectada durante el muestreo en la estación E2, se observa que el caudal es mayor al de los muestreos anteriores, y que la mayoría de la vegetación acuática presente en este punto es producto de un alto caudal que arrasó con ella durante su trayecto, y ha sido retenida en este punto por la presencia de residuos de árboles, la conductividad es de 0.341 mS/cm; menor a la estación E1, y la presencia de macro invertebrados es menor con relación a los muestreos en la temporada de sequía, los alrededores a la estación E2 es exactamente igual a los muestreos anteriores, en cuanto al pH es mayor a la estación E1.

La recolección de macro invertebrados se llevó a cabo por red de Eckman y red casera o artesanal que permitiera recolectar en las orillas del río.

Tabla 10. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E1, del río Suárez, temporada de lluvia, segundo muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E1	DESCRIPCIÓN	Ubicada 20 m aguas abajo de la desembocadura del río Suárez.	
Municipio	Chiquinquirá		
Fecha:	20/06/2016	Hora:	9:45 am.
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.		
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente
Ancho (m)	7,2	Profundidad (m)	0,43
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s
Estructura del lecho del río	Piedras	Condición del sustrato	vegetación arrasada por la creciente
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	Parcialmente cubierto
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	3.5 mg/L
conductividad	0,341	pH	6,32
Vegetación acuática	moderada	Alrededores	Pastos

Macrófitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos
Descripción		Se presenta un incremento en cuanto a la vegetación.	

Fuente: Elaboración Propia.

El caudal para este muestreo es menor con relación al muestreo anterior, debido a que las lluvias son menos frecuentes a las registradas en el mes anterior.

La vegetación acuática que se encuentra es moderada y en las orillas del río se encuentra vegetación en descomposición que ha sido arrasada por las crecientes del mes anterior, razón por la cual la presencia de macro invertebrados es mayor teniendo en cuenta que en ella se encuentran tubifex y en moderada proporción, mientras en la zona donde fluye el agua con mayor velocidad y se encuentra libre de vegetación la presencia de géneros varió drásticamente, aun siendo su proporción de escasos. En cuanto al tema de recolección debido a su baja profundidad se empleó la red de Surber, recolección manual, y red artesanal.

Tabla 11. Resultados de la aplicación del protocolo de campo en la estación E2, del río Suárez, temporada de lluvia, segundo muestreo.

DATOS DE LA ESTACIÓN E2	DESCRIPCIÓN			Se encuentra ubicada 100 m después de los vertimientos de la PTAR.
Municipio	Chiquinquirá			
Fecha:	20/06/2016	Hora:	11:45 am.	
Condiciones de tiempo durante el muestreo:	Sin lluvia durante el tiempo de muestreo.			
Tipo	valle	Corriente/lago	corriente	
Ancho (m)	9,45	Profundidad (m)	0,5	
Pendiente (%)	<1%	Velocidad de la corriente	0,9 m/s	
Estructura del lecho del río	natural	Condición del sustrato	vegetación arrasada por la creciente	
Tipo de sustrato	>20 mm	Exposición	abierto	
Color del agua	turbia	Oxígeno disuelto:	3.2 mg/L	
conductividad	0,278 mS/cm	pH	5,71	
Vegetación acuática	abundante	Alrededores	Pastos	

Macrófitas	ausentes	Área muestreada	13 m ²
Técnica de muestreo	Manual y red de Surber	Macro invertebrados	Escasos
Descripción		Se presenta un incremento en cuanto a la vegetación.	

Fuente: Elaboración propia.

La presencia de vegetación es abundante con referencia a la estación E1, se evidencia bastante lodo en las orillas del río; la mayoría de él se encuentra seco, su color es demasiado turbio, y su conductividad ha variado con relación al anterior muestreo, y los macro invertebrados son aún más escasos en esta estación, aun siendo la cantidad más alta registrada durante la temporada de caudales altos.

5.4. TERCERA ETAPA

5.4.1. Recolección de macro invertebrados y análisis de agua

En cada estación de estudio se llevó a cabo la recolección de la macro invertebrados presente teniendo en cuenta los métodos que plantea Gabriel Roldán Pérez en su libro Guía para el estudio de los macro invertebrados acuáticos del departamento de Antioquia según sea el indicado para el tipo de corriente de agua en el cual se realice el estudio, los métodos de recolección que se emplearon para recolectar la macrofauna fue la red de surber, y tamices, la draga de Eckman entre otros tipos de redes. Además de recolectar manualmente con pinzas.

El rótulo que se empleó para los frascos en los cuales se depositaron cada uno de los macro invertebrados, es el que a continuación se muestra.

Figura 12. Rotulado de los viales en los cuales se recolectaron cada una de las especies.

Río Suárez Chiquinquirá Boyacá		
Nombre de la estación:		
Fecha:	Hora:	N° de Sp. colectados:
Nombre del colector:		

Fuente: Elaboración propia.

El anterior rotulado para los viales se realizó con el fin de solo llevar a laboratorio para su posterior análisis una muestra representativa de las especies recolectadas durante el muestreo y no la totalidad de recolectados y no generar confusiones ni alteraciones a la hora del respectivo análisis.

La recolección de muestras de agua se realizó en recipientes de 4 litros de capacidad. El muestreo que se realizó fue de tipo puntual y se almacenó en una nevera para mantener las muestras a una temperatura de 4°C y transportarla al laboratorio para realizar los análisis.

Los análisis in situ se realizaron por medio de un multiparámetro Horiba modelo U-52, equipo que determina los siguientes parámetros:

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- Salinidad
- Turbidez
- Sólidos disueltos totales

Los análisis que se realizaron en laboratorio fueron:

- Sólidos disueltos
- Dureza
- Nitratos
- Nitritos
- DQO
- Coliformes
- Alcalinidad
- Acidez
- Nitrógeno total.

5.5. CUARTA ETAPA

5.5.1. Almacenamiento y análisis taxonómico de las especies

Los organismos recolectados se depositaron en viales (frascos de vidrio) en una solución de alcohol al 90% y glicerina, según los estándares nacionales.

En el laboratorio se realizó el análisis taxonómico de los organismos recolectados por medio de un estereoscopio Zeiss StemiDV4, tomando registros fotográficos, para determinar su taxonomía se emplearon descripciones de estudios anteriormente realizados.

5.6. QUINTA ETAPA

5.6.1. Aplicación de índices de diversidad y análisis de resultados.

- Para analizar los datos de los macro invertebrados recolectados y estudiados se emplearon las abundancias relativas con el fin de caracterizar la comunidad en términos de estructura, distribución espacial general, distribución temporal y distribución espacio-temporal.
- Se determinó la relación existente entre la presencia de especies y número de macro invertebrados bentónicos con las características físicas y químicas del río Suárez, teniendo en cuenta variación taxonómica, familias encontradas y porcentaje aproximado de presencia de cada una de ellas.
- Los datos obtenidos por medio de la anterior actividad, se analizaron a partir de la aplicación de los índices de Margalef, Shannon-Weaver, Simpson y el método Biological Monitoring Working Party (BMWP).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Los muestreos realizados para este proyecto, se distribuyeron de la siguiente manera:

- Dos muestreos se llevaron a cabo durante los meses de diciembre del año 2015 y febrero de 2016 (temporada de sequía de mayor intensidad durante el año), lo que corresponde a los caudales más bajos registrados durante la temporada de sequía.
- Dos muestreos se realizaron para los meses de mayo y de junio del año 2016 (temporada de lluvia de menor intensidad durante el año), son caudales mayores a los de temporada de sequía pero más bajos con relación a los que se presentan durante la temporada de lluvia de mayor intensidad durante el año.

Se tomaron en cuenta puntos importantes e influyentes en el río para establecer las estaciones de muestreo, la primera la estación E1 (desembocadura del río Chiquinquirá en el río Suárez), la segunda estación E2 (100 m aguas abajo de los vertimientos de la PTAR).

6. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS

Se realizó el análisis del comportamiento de los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y la presencia de macro invertebrados en cada una de las estaciones comparados por temporada teniendo en cuenta los dos muestreos que se realizaron en cada una de ellas, a su vez haciendo comparación entre el estado y los parámetros establecidos por el Decreto 1594/84 derogado por el Decreto 3930/10 para los usos de agricultura y pecuario, según las actividades económicas del municipio.

Tabla 12. Resultados obtenidos de los análisis "in situ" en temporada de sequía y lluvia en la estación E1 (20 m aguas abajo de la desembocadura del río Chiquinquirá) y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1.984 (modificados por el Decreto 3930 de 2010).

PARÁMETRO	UNIDADES	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)	AGRÍCOLA	PECUARIO
Temperatura	°C	16,5	15,96	15,07	15,1	< 40	< 40
ORP	mv	-59	-129	112	98	-	-
pH		6,16	6,27	6,68	6,32	4.5 - 9.0	6.0 - 9.0
Conductividad	mS/cm	1,5	1,18	0,302	0,251	-	-
Turbidez	NTU	142	150	268	200	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	956	748	196	158	3.000	3.000
Oxígeno disuelto	mg/L	2.2	1.8	4.7	3.5	4.0 - 5.0	3.0

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de los parámetros analizados “*in situ*” de la calidad del agua del río Suárez, en la estación E1 (20 m después de la desembocadura del río Chiquinquirá), muestra que:

Temperatura:

La temperatura tiene una variación por temporada es decir; que durante la temporada de sequía la temperatura fue mayor a la de en temporada de lluvia, diferencia que no supera 1.4 °C, variación que se presenta debido a que en temporada de sequía la radiación es mayor a la de temporada de lluvia y así mismo se presenta la disminución del caudal; otro factor que contribuye a la variación de la temperatura.

Potencial óxido – reducción:

El ORP (potencial óxido - reducción) es muy bajo en temporada de sequía registrándose como valor negativo (-59 y -129 mv), siendo aún más baja durante el segundo muestreo en temporada de sequía, cuando es negativo indica que corresponde a una zona reducida, es decir que se caracteriza por un nivel mínimo de oxígeno disuelto, mientras que en la temporada de lluvia los valores fueron muy altos (112 y 98 mv); el potencial es positivo y corresponde a una zona oxidada, lo que indica que se están dando las reacciones correspondientes, porque la concentración del oxígeno disuelto es mayor en la temporada de lluvia, otra razón, por la cual la variación de ORP, se debe a que este parámetro se encuentra relacionado con el pH, durante la temporada de sequía los valores de pH, fueron (6.16 y 6.27) y en la temporada de lluvia los resultados fueron (6.68 y 6.32) , ésta variación, se debe al aumento de la vegetación acuática, teniendo en cuenta que durante la temporada de sequía, la presencia de plantas es mayor con relación a la segunda temporada.

Conductividad:

La conductividad se evidencia con niveles más altos en la temporada de sequía (1.5 y 1.18 Ms/cm), en la temporada de lluvia los valores son bajos con relación a los pertenecientes a la temporada anterior (0.302 y 0.251 Ms/cm), la variación de este parámetro se atribuye a la concentración de sustancias disueltas ionizadas y a su vez está relacionada con el contenido de sólidos disueltos.

Turbidez:

La turbidez no presenta una gran variación entre los dos muestreos realizados en la temporada de sequía (142 y 150 NTU), mientras que los valores en la temporada de invierno tienen un alto grado de variabilidad (568 y 200 NTU), como es evidente

la variación es mayor a la registrada en la temporada de sequía, teniendo en cuenta que este parámetro depende de la cantidad de materiales insolubles en suspensión.

Sólidos disueltos totales:

Teniendo en cuenta que los sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables ya sean sales o residuos orgánicos a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños), la concentración de este parámetro es mucho mayor en las temporada de sequía (956, 748 mg/L), mientras que en temporada de lluvia la concentración es muy baja con relación a la temporada de sequía (196 y 158 mg/L), se concluye que esta variación se da a partir de la concentración de sales debido a que se observa que varía en la misma relación que la conductividad, y así mismo del lodo que se deposita en el fondo del cuerpo del agua, según Livingston (1963) las aguas de ríos tienen un promedio de 120 ppm, mientras que las concentraciones superiores a 185 ppm se considera aguas tróficas.

Oxígeno disuelto:

El oxígeno disuelto es el más crítico de todos los parámetros, debido a que durante la temporada de sequía el nivel de este se encuentra en niveles de concentración (2.2 y 1.8 mg/L), muy por debajo del valor necesario, para que algunas especies como los peces puedan sobrevivir, mientras que para la temporada de lluvia el nivel es mayor asociado al aumento de caudal y disminución de materia orgánica (4.7 y 3.5 mg/L), límite en el cual pueden sobrevivir algunas especies de peces no tan exigentes con este parámetro.

Los parámetros que se encuentran por fuera de los rangos establecidos por el decreto 1594 de 1984 (modificado por el Decreto 3039 de 2010), que indican que la calidad del agua en ésta estación es agua medianamente contaminada.

Tabla 13. Resultados de los análisis "in situ" en temporada de sequía y lluvia, en la estación E2; y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1.984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010).

PARÁMETRO	UNIDADES	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)	AGRÍCOLA	PECUARIO
Temperatura	°C	18,93	18,89	15,49	15,51	< 40	< 40
ORP	mv	-49	-16	100	73	-	-
pH		6,41	5,89	5,9	5,71	4.5 - 9.0	6.0 - 9.0
Conductividad	mS/cm	0,875	0,500	0,341	0,278	-	-
Turbidez	NTU	218	210	256	240	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	561	320	224	157	3.000	3.000
Oxígeno disuelto	mg/L	2.9	2.5	3.7	3.2	4.0 - 5.0	3.0

Fuente: Elaboración propia.

De los parámetros analizados “*in situ*” en la estación E2 tanto en la temporada de sequía como de invierno tuvieron un comportamiento variante, el cual se describe a continuación:

Temperatura:

La temperatura en temporada de sequía fue mayor con relación a la de temporada de lluvia con un promedio de variación de 3.41 °C, aumento relacionado con las altas temperaturas registradas en esta temporada.

Potencial óxido – reducción:

El ORP (potencial óxido - reducción) registra una variación marcada entre las dos temporadas de muestreo; en la temporada de sequía los valores fueron muy bajos siendo de signo negativo, (-49 y -16 mv), mientras que en la temporada de lluvia es totalmente diferente debido a que sus valores son (100 y 73 mv).

pH:

El pH durante el primer muestreo en temporada de sequía (6.41), fue el valor más alto que se reportó durante todos los muestreos, los valores reportados durante los cuatro muestreos se encuentran dentro del rango de los valores máximos permisibles para el uso agrícola, establecidos por el Decreto 1594 de 1.984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010), mientras que el agua para el uso pecuario no es apta debido a su pH ácido.

Conductividad:

La situación que se da con el parámetro de conductividad tiene una variación entre temporadas; es decir que es mayor (0.875 y 0.500 Ms/cm), en cuanto a la temporada de lluvia se reportaron valores menores a los anteriores, (0,341 y 0,278 Ms/cm) igualmente valores relacionados con los sólidos disueltos.

Turbidez:

La turbidez tiene un comportamiento algo similar en las dos temporadas debido a que la estación E2 se encuentra ubicada aguas abajo de los vertimientos de la PTAR, debido a la fuerza con la que golpea el vertimiento en el río se presenta una alteración de todas las partículas que se encuentran sedimentadas en el fondo del río, de igual forma se observa que su variación es muy similar a la variación de los sólidos disueltos totales, registrándose valores de turbidez en temporada de sequía (218 y 210 NTU) más bajos que el primer muestreo en temporada de lluvia (256 NTU), la variación de este parámetro está directamente relacionado, tanto con la frecuencia como con la intensidad de las lluvias días anteriores al muestreo,

situación que varió para segundo muestreo de la misma temporada, debido a que disminuyó tanto la frecuencia como la intensidad de las lluvias durante esos días (240 NTU) relación que se observa en la tabla 13 con los sólidos disueltos totales.

Sólidos disueltos totales:

Los sólidos disueltos totales presentan un aumento en la temporada de sequía (561 y 320 mg/L), parámetro muy relacionado con la conductividad, con lo que se puede decir que hay presencia de sales, mientras que en la temporada de lluvia (224 y 157 mg/L) los valores son menores debido a que se presenta un incremento en el caudal y se presenta mayor disolución de ellos.

Oxígeno disuelto:

El comportamiento del oxígeno disuelto, sufre una variación por temporadas, en la temporada de sequía se observa un valor bajo (2.9 mg/L), para el segundo muestreo se observa disminución en la concentración de este parámetro, reportando un valor de (2.5 mg/L) situación asociada a las altas temperaturas que se presentan durante este periodo de la temporada de sequía, para la temporada de lluvia los valores son mayores aun así la concentración se encuentra por debajo de la óptima, debido a la alta presencia de materia orgánica, mientras que en el caso que se presentó para la temporada de lluvia, son concentraciones mayores a las anteriores (3.7 y 3.2 mg/L).

Tabla 14. Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio del muestreo en temporada de sequía y lluvia, en la estación E1; y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010).

PARÁMETRO	UNIDADES	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)	AGRICULTURA	PECUARIO
Temperatura	°C	16,5	15,96	15,07	15,1	< 40	< 40
pH		6,16	6,27	6,68	6,32	4.5 - 9.0	6.0 - 9.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1065	1125	2010	1500	90	
Dureza	mg/L	228.33	244.00	118.00	152.00	-	-
Acidez	mg/L	38.33	103.33	16.67	11.66	-	-
Alcalinidad	mg/L	191.67	390.00	83.33	161.66	-	-
DQO	mg/L	65.49	68.43	64.00	99.00	-	-
Nitratos	mg/L	9.00	12.00	5.00	6.5	-	10
Nitritos	mg/L	0.075	0.091	0.041	0.011	-	1
Nitrógeno total	mg/L	0.56	2.1	0.86	0.927	-	-
Coliformes totales	UFC/100 mL	8300	8872	8200	13000	5000	1000

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 14 reporta los análisis de laboratorio correspondientes para la estación E1 tanto para la temporada de sequía como la de lluvia, frente a los límites máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1984, donde las concentraciones de cada uno de los parámetros son:

Sólidos suspendidos totales:

Los sólidos suspendidos totales, durante todas las dos temporadas se encuentran fuera del límite máximo permisible, resaltando que durante la temporada de sequía se registró deslizamiento del suelo erosionado (como se evidencia en la figura 11), reportando valores muy altos (1065 y 1125 mg/L) además que su variación se da porque durante la temporada de lluvia hay un arrastre de sedimentos, bastante considerable (2010 y 1500 mg/L).

Dureza:

La concentración de la dureza en el agua, está dada por la presencia de cationes de Ca y Mg, expresados en mg/L de CaCO₃, Este parámetro presentó una alta concentración durante la temporada de sequía, por cuanto los caudales más bajos (228.33 y 244.00 mg/L de CaCO₃), mientras que para los siguientes muestreos se reportó una concentración menor (118.00 y 152.00 mg/L de CaCO₃), clasificándose como agua moderadamente dura debido a que se encuentra dentro de los rangos permisibles de acuerdo con la normatividad colombiana (150 – 300 mg/L de CaCO₃), dicha variación está asociada al mayor caudal del río.

Acidez:

La acidez tiene una variación más notoria debido a que en el primer muestreo en temporada de sequía se reportó una acidez de 38,33 mg/L de CaCO₃ un valor muy bajo con relación al registrado en el siguiente muestreo para la misma temporada (103.33 mg/L de CaCO₃), debido a que el agua tiende a ser empozada y su concentración puede aumentar, al igual que la variación asociada al aumento del caudal del río ya que debido a este fenómeno hay una mayor disolución del CO₂, siendo este la principal causa de acidez en el agua ya sea por oxidación de materia orgánica o dióxido de carbono atmosférico, mientras que en la temporada de lluvia los valores reportados son menores en las dos estaciones (16.67 y 11.66 mg/L de

CaCO₃) debido a que el comportamiento del caudal es similar e impide la acumulación del CO₂.

Alcalinidad:

La alcalinidad tiene la misma variación debido a la relación que hay con el parámetro anterior, en la temporada de sequía los valores son mayores (191.67 y 390.0 mg/L de CaCO₃), teniendo en cuenta que este parámetro se presenta en aguas naturales principalmente por la presencia de compuestos como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos y la concentración de éstos son mayores, mientras que en la temporada de lluvia hay mayor disolución de estos compuestos haciendo que la concentración de la alcalinidad disminuya (83.33 y 161.66 mg/L de CaCO₃).

Demanda química de oxígeno (DQO):

La DQO en la temporada de sequía (65.49 y 68.43 mg/L de OD) en el primer muestreo bajó en comparación con el segundo debido a que se encuentra mayor presencia de materia orgánica, para la temporada de lluvia se encuentra la misma variación (64.00 y 99.00 mg/L) debido a la misma situación.

Nitratos:

En cuanto a los nitratos su variación no es muy grande entre las temporadas de sequía y lluvia (9.00 y 12.00 mg/L), teniendo en cuenta que existen fuentes artificiales de nitrógeno como lo son: los fertilizantes utilizados en la agricultura, estiércol y purines derivados de las actividades ganaderas, además de desechos orgánicos de origen urbano o industrial, su disminución durante la temporada de lluvia (5.00 y 6.5 mg/L), se debe a que los caudales aumentaron notoriamente haciendo que se presentara una disolución y su concentración disminuyera.

Nitritos:

Los nitritos se encuentran en concentraciones muy bajas (0.075, 0.091, 0.041 y 0.011 mg/L) con relación a los límites permisibles, los cuales en aguas superficiales no deben superar el rango de 0.1-0.9 mg/L, siendo por encima de 1.0 mg/L totalmente tóxico; los valores registrados de este parámetro tienen baja concentración, lo cual demuestra una estabilización de la materia orgánica

proveniente de fuentes artificiales, como aguas residuales domésticas o industriales.

Nitrógeno total:

Este parámetro es la medida de la suma de todas las concentraciones del nitrógeno en sus variadas formas, es la cantidad que puede ser transformado en nitratos y nitritos que posteriormente se convierten en nitrógeno gaseoso, estos compuestos son aprovechados por la vegetación acuática para su crecimiento, Este parámetro tuvo un comportamiento variado (0.56, 2.1, 0.86 y 0.927 mg/L), reportando la mayor concentración en el menor caudal, debido que el proceso de descomposición de las bacterias transforma el nitrógeno orgánico en amoniacal y la concentración es alta debido a que la velocidad del agua es muy baja, razón por la cual no se genera arrastre de estas sustancias.

Coliformes totales:

Los coliformes totales es aquella bacteria que proviene de la materia fecal, este parámetro tiene gran importancia en la evaluación de la calidad del agua debido a que en aguas destinadas para consumo humano no debe estar presente por la peligrosidad que este presenta, durante este estudio en la primera temporada de muestreo reporta concentraciones similares (8300 y 8872 UFC/100 mL), mientras que las concentraciones reportadas para la segunda temporada son mayores (8200 y 13000 UFC/100 mL, la variación de este parámetro se presenta debido a que la zona de estudio tiene la capacidad de retener variedad de materiales y crear una acumulación de varias sustancias, las concentraciones reportadas son muy altas, indican que la calidad del agua es muy mala y realmente representa un riesgo para cualquier actividad que se destine.

Tabla 15. Resultados obtenidos de los análisis de laboratorio del muestreo en temporada de sequía y lluvia, en la estación E2; y los valores máximos permisibles establecidos por el Decreto 1594 de 1984 (modificado por el Decreto 3930 de 2010).

PARÁMETRO	UNIDADES	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)	AGRICULTURA	PECUARIO
Temperatura	°C	18,93	18,89	15,49	15,51	< 40	< 40
pH		6,41	5,89	5,9	5,71	4.5 - 9.0	6.0 - 9.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1632	1570	1927	1793	90	
Dureza	mg/L	281.67	284.70	241.33	254.00	-	-
Acidez	mg/L	41.65	73.30	23.33	18.33	-	-
Alcalinidad	mg/L	216.67	408.30	100.00	270.00	-	-
DQO	mg/L	55.64	107.99	110.20	114.32	-	-
Nitratos	mg/L	12.00	15.00	6.00	7.5	-	10
Nitritos	mg/L	0.083	0.097	0.054	0.017	-	1
Nitrógeno total	mg/L	0.7	2.52	0.7	1.07	-	-
Coliformes totales	UFC/100 mL	7224	13750	11620	14500	5000	1000

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15 muestra los resultados de los análisis realizados en laboratorio de la estación E2 en cada uno de los muestreos realizados, comparados con la norma que establece los límites máximos permisibles para el uso agrícola y pecuario.

Sólidos suspendidos totales:

Este parámetro no reportó notorias variaciones (1632, 1570, 1927 y 1793 mg/L), resaltando que la estación E2 se encuentra ubicada aguas abajo de los vertimientos de la PTAR y la presión de sus altos caudales hace que golpee con el fondo del río, generando una alteración del movimiento de estas partículas, por lo que se concluye que estas concentraciones son constantes debido a esta actividad.

Dureza:

La dureza en la estación E2 tiene un comportamiento no tan variante debido a que los caudales predominantes son los provenientes de la PTAR registrando valores casi que similares en la temporada de sequía (281.67 y 284.70 mg/L), mientras en la temporada de lluvia disminuyó su concentración además de varias en los dos muestreos realizados (241.33 y 254.00 mg/L) por lo que se comprueba que la variación está relacionada con la variación del caudal, la dureza del agua del río Suárez analizada en la estación E2 durante las dos temporadas se encuentra dentro del rango de 150 – 300 mg/L pertenecientes a agua dura.

Acidez:

La acidez tiene un comportamiento similar ya que se observa que la disminución es inversamente proporcional al caudal registrado, es decir que la acidez disminuye cuando el caudal aumenta, marcando variaciones por temporada, en la temporada de sequía se reportaron los valores mayores (41.65 y 73.30 mg/L), mientras que en temporada de lluvia (23.33 y 18.33 mg/L) fueron valores no tan fluctuantes teniendo en cuenta que también se encuentra influenciado por el factor mencionado inicialmente.

Alcalinidad:

El comportamiento de este parámetro para la estación E2, presenta una variación muy notoria, en la temporada de sequía (216.67 y 408.30 mg/L) se evidencia un caso muy particular debido a que está dado por el caudal y se hace notorio su cambio, caso similar para la temporada de lluvia su concentración varía bastante de un muestreo a otro siendo menor a la temporada de sequía, (100.00 y 270.00 mg/L), teniendo en cuenta que la disolución de compuestos como el bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos son mayor en temporada de lluvia, estas aguas exceptuando el primer muestreo en temporada de lluvia (mayor caudal) se encuentran por encima de 150 mg/L, aguas altamente alcalinas (Kevern 1989).

Demanda química de oxígeno (DQO):

La DQO de esta estación reporta una concentración de (55.64 y 107.99 mg/L), para la temporada de lluvia los valores (110.20 y 114.32 mg/L), lo que corresponde a agua contaminada por aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.

Nitratos:

Las variaciones de este parámetro se observan (12.00, 15.00, 6.00 y 7.5 mg/L), teniendo en cuenta que existen fuentes artificiales de nitrógeno como lo son los fertilizantes utilizados en la agricultura, estiércol y purines derivados de las actividades ganaderas; situación claramente identificada durante e los primeros muestreos en la temporada de sequía, de lo cual se presenta como evidencia la figura 7, y la disminución de en temporada de lluvia se debe a que se presenta una mayor disolución de estas sustancias debido al aumento del caudal.

Nitritos:

Los nitritos para la temporada de sequía se encuentran en mayor concentración (0.083 y 0.097 mg/L) con relación a los reportados durante la temporada de lluvia (0.054 y 0.017 mg/L), los cuales se encuentran en bajas concentraciones debido al aumento del caudal en la temporada de lluvia y no se registró actividad pecuaria en la orilla de del río.

Nitrógeno total:

Este parámetro se relaciona con la presencia de bacteria que se asumen que están involucradas a la descomposición de las plantas acuáticas y materia orgánica, teniendo en cuenta que estos factores se dieron en el segundo muestreo de cada una de las temporadas, (0.7, 2.52, 0.7 y 1.07 mg/L).

Los coliformes totales:

Los coliformes totales presentes tienen una concentración (7224, 13750, 11620 y 14500 UFC/100 ml) estos datos muestran que se presentan las mismas alteraciones de los parámetros anteriores que a su vez se encuentra influenciado por factores como aumento del caudal, y presencia de materia en descomposición como lo es la vegetación acuática.

7. MACRO INVERTEBRADOS RECOLECTADOS

7.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MACRO INVERTEBRADOS PRESENTES DURANTE LA TEMPORADA DE SEQUÍA.

El proceso para establecer a los macro invertebrados como indicadores biológicos de la calidad del agua consiste en realizar una recolección de información de la macro fauna bentónica junto con las características físicas del agua, teniendo en cuenta que la información que se debe recolectar de la macro fauna bentónica incluye, variación taxonómica de los macro invertebrados, estructura de las comunidades bentónicas, índice de diversidad y su relación con las características físico químicas y bacteriológicas del agua (Rocha, 2003).

Tabla 16. Clasificación de macro invertebrados por phylum, clase, orden, familia y género; recolectados durante los dos muestreos en temporada de sequía en la estación E1 y E2.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Dacnobia
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxia	tubicidae	tubifex
Mollusca	Gastropoda	Basmatophora	Planorbidae	Helisoma
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Elmidae	Macrelmis
Arthropoda	Insecta	Coleóptera	Haliplidae	Haliplus
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	Simulium
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomus
Arthropoda	Insecta	Diptera	Culicidae	Aedes
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	Hexatoma
Arthropoda	Insecta	Odonata	Aeshinidae	Aeshna
Arthropoda	Insecta	Odonata	Aeshinidae	Coryphaesha
Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	Argia
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis

Fuente: Elaboración propia.

Durante la temporada de sequía se identificaron en su totalidad 13 géneros en las dos estaciones de muestreo, de los cuales tres de estos géneros pertenecen a aguas poco contaminadas, cuatro a aguas moderadamente contaminadas (Heliosoma, Macrelmis, Aeshna, Coryphaeshna), aguas contaminadas solo un género (Halipus), cuatro géneros son de aguas muy contaminadas (Dacnobia, Chironomus, Aedes Y Hexatoma), y el género mayormente conocido por soportar altas cargas de materia orgánica, es decir propio de aguas altamente contaminadas (Tubifex), (Roldán G ,1994).

Se debe resaltar que los géneros recolectados varían su hábitat, dependiendo de las características del sustrato, desechos y demás condiciones que presenta el río, al igual que del lugar o parte del mismo de donde se realizó la recolección, situación que se ilustra en la figura 9.

Teniendo en cuenta que la mayoría de géneros hallados pertenecen al orden Diptera, conocido como el orden de mayor diversificación y número en todo el mundo, según Lopretto & Tell (1995), destacando la familia Chironomidae comprenden una de las familias mejor representadas por su abundancia y diversidad en los ambientes acuáticos continentales, actuando como indicadores de aguas muy contaminadas.

7.2. CLASIFICACIÓN DE LOS MACRO INVERTEBRADOS PRESENTES DURANTE LA TEMPORADA DE LLUVIA.

La clasificación de los macro invertebrados recolectados se realizó a partir del análisis en el laboratorio por medio de un estereoscopio, y la clasificación se llevó a cabo con ayuda de varias claves, entre ellas el trabajo que ha realizado el biólogo Gabriel Roldán a lo largo de sus estudios desarrollados hasta esta fecha.

A continuación se muestra la clasificación hasta género de cada uno de los organismos recolectados:

Tabla 17. Clasificación de macro invertebrados por phylum, clase, orden, familia y género; recolectados durante los dos muestreos en temporada de lluvia en la estación E1 y E2.

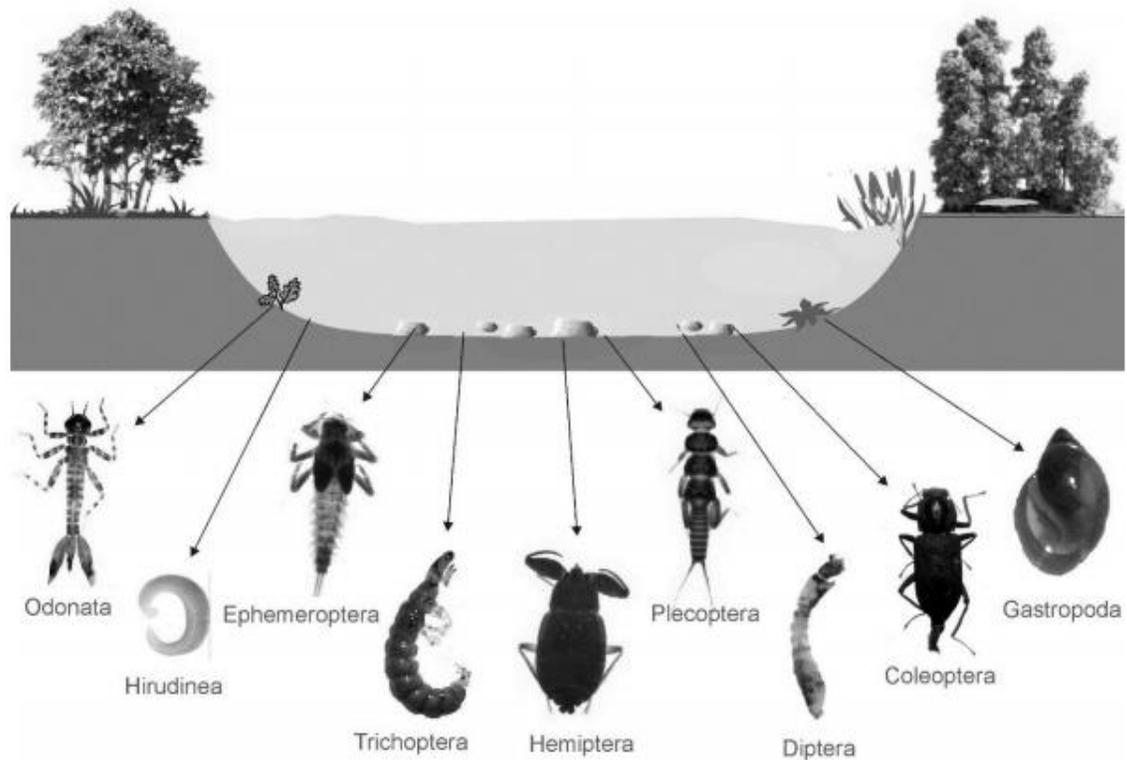
PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	Dacnobdella
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxia	tubicidae	tubifex
Mollusca	Gastropoda	Basmmathphora	Planorbiidae	Helisoma
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	Elodes
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	Macrelmis
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Haliplidae	Haliplus
Arthropoda	Insecta	Díptera	Culicidae	Aedes
Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	Chironomus
Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	simulium
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	Oecetis

Fuente: Elaboración propia.

En la temporada de lluvia varían la cantidad de los órdenes presentes en las estaciones E1 y E2, puesto que se encuentran la misma cantidad de familias de los órdenes Coleoptera y Díptera. Se presentó ausencia del orden Odonata muy numeroso en individuos durante la temporada de sequía; en la cual se recolectaron tres géneros.

Durante esta temporada se recolectaron diez géneros de los cuales; tres de ellos son de aguas poco contaminadas (Simulium, Oecetis y Elodes), dos géneros son de aguas moderadamente contaminadas (Heliosoma, Macrelmis), uno de aguas contaminadas (Haliplus), tres de aguas muy contaminadas (Dacnobdella, Aedes y Chironomus) y por último el género de aguas altamente contaminadas (Tubifex).

Figura 18. Distribución de los órdenes en un cuerpo de agua.



Fuente: Álvarez, L. (2005). Macro invertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.[Figura]. Recuperado el 06 de abril de 2016, de https://www.google.com.co/search?q=macroinvertebrados&espv=2&biw=1280&bih=923&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi76Pu_2eDQAhUKQyYKHSEGA1EQ_AUIBigB#imgsrc=VP52qfzELQjymM%3A.

En la figura 18 se muestra la distribución de los órdenes de los macro invertebrados en un cuerpo de agua, así mismo para identificar su distribución a la hora de realizar su recolección, teniendo en cuenta que durante el desarrollo de este proyecto su presencia se encontró tal cual como muestra la figura.

8. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO

8.1. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO, EN LA ESTACIÓN E1.

De cada uno de los géneros recolectados durante cada uno de los muestreos, se tabulo la cantidad de ellos encontrados en cada una de las estaciones y temporada, para determinar la totalidad de organismos presentes y con dicha información determinar la diversidad aplicando cada uno de los índices que se muestran en el numeral 9.

Tabla 18. Número de individuos recolectados por cada uno de los géneros identificados, en la estación E1, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).

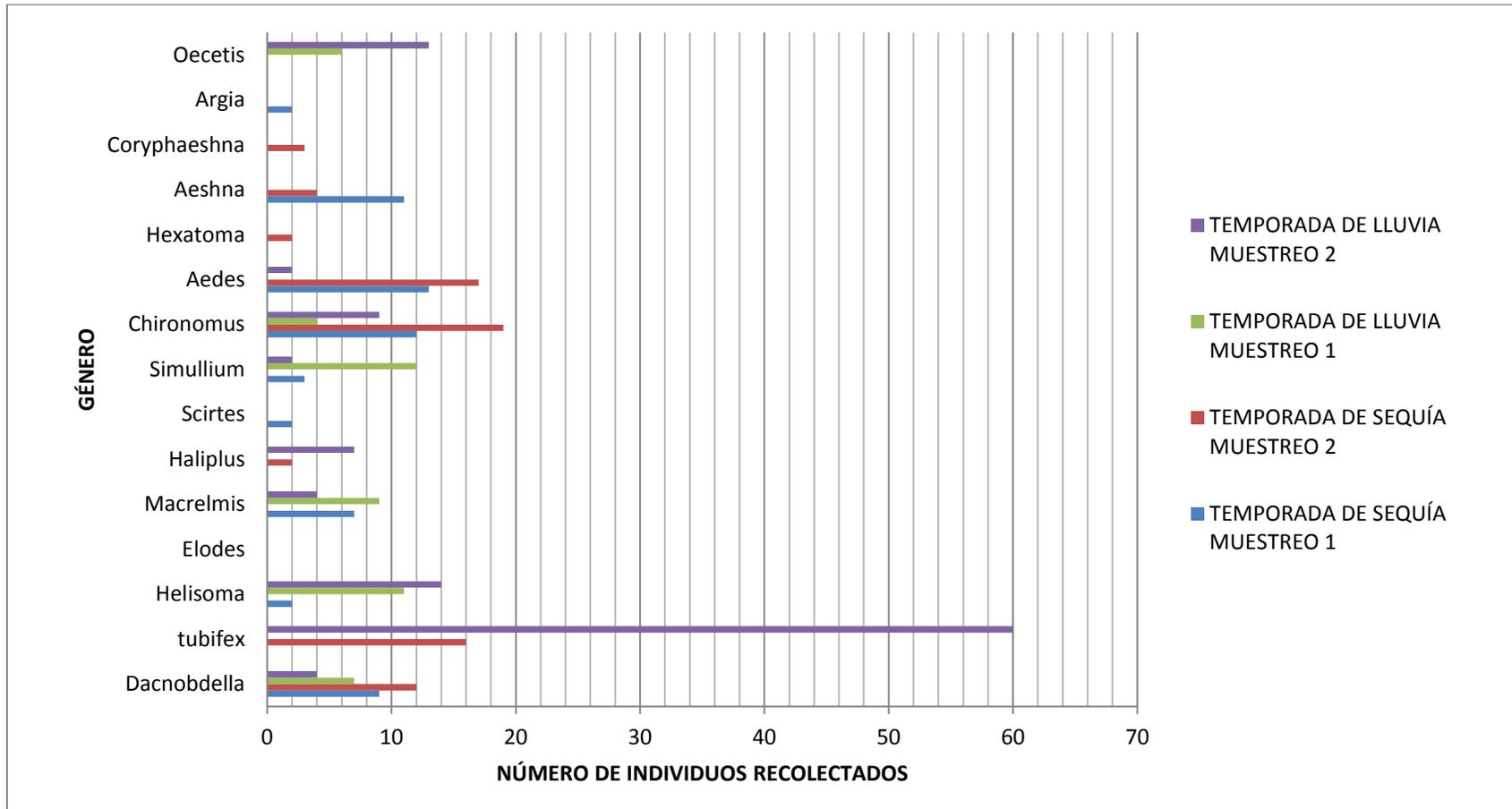
GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)
Dacnobia	9	12	7	4
tubifex	0	16	0	60
Helisoma	2	0	11	14
Elodes	0	0	0	0
Macrelmis	7	0	9	4
Halipus	0	2	0	7
Scirtes	2	0	0	0
Simullium	3	0	12	2
Chironomus	12	19	4	9
Aedes	13	17	0	2
Hexatoma	0	2	0	0
Aeshna	11	4	0	0
Coryphaeshna	0	3	0	0
Argia	2	0	0	0
Oecetis	0	0	6	13
Total	61	75	49	115

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se observa la cantidad de individuos recolectados por cada uno de los géneros y temporada en la estación E1, obteniendo:

Durante la temporada de sequía la cantidad de individuos varió muy poco entre los dos muestreos con una totalidad de 61 y 75 respectivamente, caso contrario a la temporada de lluvia debido a que en el primer muestreo se recolectaron 49 y en segundo 115, exactamente 2.35 veces más que el muestreo anterior nos lleva a concluir que esta situación se presentó porque en el momento que se realizó el primer muestreo la velocidad de la corriente era superior y pudo ocasionar arrastre de macro invertebrados junto con la vegetación acuática presente, mientras que para el segundo muestreo disminuyó su caudal y se presentó descomposición de la vegetación acuática que fue arrasada en días anteriores, lo cual se atribuye al aumento de especies recolectadas.

Gráfica 1. Género vs número de individuos recolectados en la E1, durante las dos temporadas (sequía y lluvia)



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1, se observa la distribución de los géneros de los muestreos realizados por cada temporada, en ella se permite visualizar de forma general los cambios que se presentaron, observando que del género que mayor individuos se recolectaron fue tubifex, en la temporada de lluvia durante el muestreo 2 aspecto que demuestra una alta contaminación de las orillas por cuanto están expuestas a la descomposición de la vegetación, es decir un alto contenido de materia orgánica.

En los demás géneros la diferencia no está tan marcada, siendo similar su distribución en cada muestreo por temporada, registrando algunas variaciones en cuanto a presencia de algunos de los géneros como es el caso del Oecetis, que solo fue hallado durante la temporada de lluvia, la Argia y Coryphaeshna solo se encontraron durante la temporada de sequía debido a que es mayor la concentración de los nitratos, así mismo, se evidencia la variación en cantidad. El Tubifex siendo el mayor con 60 individuos recolectados, mientras que los demás géneros no supera los 18 individuos, la distribución que se muestra en la gráfica 1 corresponde a la relación existente entre los resultados de los análisis físicos químicos realizados y la distribución de géneros en el área estudiada, indicando con la presencia de Tubifex que la calidad del agua es pésima, considerando la alta concentración de materia orgánica disuelta en el agua para que sea fácil la adaptación del género anteriormente mencionado.

8.2. NÚMERO DE INDIVIDUOS RECOLECTADOS POR GÉNERO, EN LA ESTACIÓN E2.

La clasificación de los macro invertebrados recolectados se realizó a partir del análisis en el laboratorio por medio de un estereoscopio, y la clasificación se llevó a cabo con ayuda de varias claves, entre ellas el trabajo que ha realizado el biólogo Gabriel Roldán a lo largo de sus estudios desarrollados hasta esta fecha.

A continuación, se muestra la clasificación hasta género de cada uno de los organismos recolectados:

Tabla 19. Número de individuos recolectados por cada uno de los géneros identificados, en la estación E2, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).

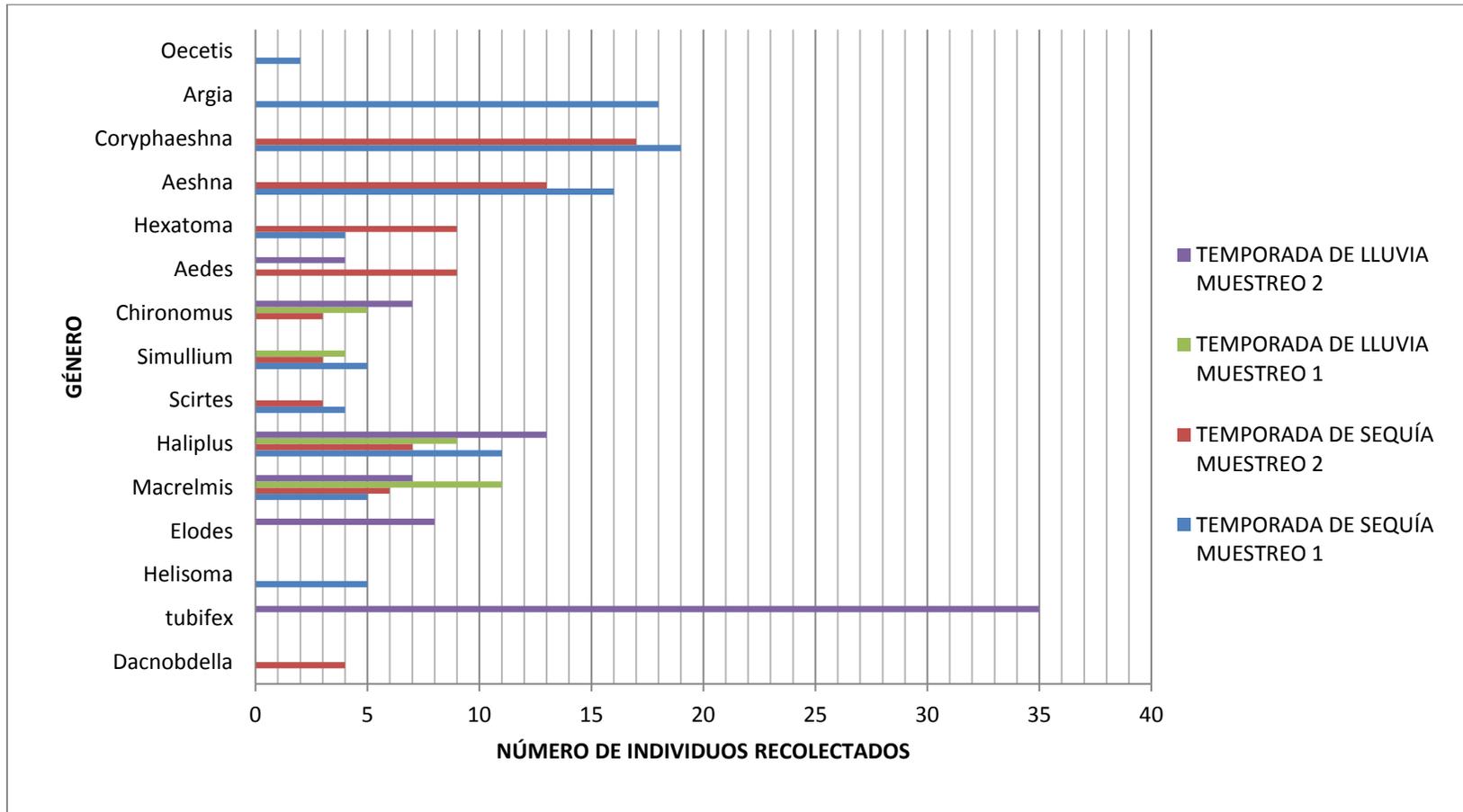
GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)
Dacnobia	0	4	0	0
Tubifex	0	0	0	35
Helisoma	5	0	0	0
Elodes	0	0	0	8
Macrelmis	5	6	11	7
Halipus	11	7	9	13
Scirtes	4	3	0	0
Simulium	5	3	4	0
Chironomus	0	3	5	7
Aedes	0	9	0	4
Hexatoma	4	9	0	0
Aeshna	16	13	0	0
Coryphaesha	19	17	0	0
Argia	18	0	0	0
Oecetis	2	0	0	0
Total	89	74	29	74

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se muestra la cantidad de individuos recolectados por cada uno de los géneros en la estación E2 para las dos temporadas, se evidencia la misma

situación que en la estación E1 en la temporada de sequía. La diferencia entre cantidad de individuos recolectados es muy pequeña recogiendo 89 y 74 individuos respectivamente, mientras que la diferencia para la temporada de lluvia es marcada recolectando 29 y 74 individuos, siendo la cantidad de segundo muestreo 2.55 veces mayor que el primer muestreo de la misma temporada.

Gráfica 2. Género vs número de individuos recolectados en la E2, durante las dos temporadas (sequía y lluvia).



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2 se observa como es el comportamiento de cada uno de los géneros presentes tanto en la temporada de sequía como de lluvias en la estación E2.

La gráfica 2, muestra que el género más representativo fue en la temporada de lluvia el tubifex, con una totalidad de 35 individuos recolectados, además de que ilustra que la variación que se da en cuanto a términos de géneros presentes en la temporada de lluvia es menor que la temporada de sequía. Uno de los géneros que se encontraron constantes durante los dos muestreos en la temporada de sequía fue la Coryphaeshna, Aeshna y la Hexatoma, cabe destacar dos géneros que se encontraron presentes durante las temporadas respectivas y que además son característicos de aguas contaminadas y moderadamente contaminadas, como el Halipus y el Macrelmis.

Tabla 20. Clasificación de los géneros presentes en el río Suárez según la calidad del agua de la cual son bioindicadores.

GÉNERO	CALIDAD DE AGUA AL CUAL PERTENECE
Argia	Poco contaminada
Oecetis	Poco contaminada
Scirtes	Poco contaminada
Simullium	Poco contaminada
Elodes	Poco contaminada
Helisoma	Moderadamente contaminada
Aeshna	Moderadamente contaminada
Coryphaeshna	Moderadamente contaminada
Macrelmis	Moderadamente contaminada
Halipus	contaminada
Chironomus	Muy contaminada
Aedes	Muy contaminada
Hexatoma	Muy contaminada
Dacnobia	Muy contaminada
Tubifex	Altamente contaminada

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20. Se observa la clasificación de los géneros encontrados en el río Suárez, como bioindicadores de la calidad del agua, según la clasificación realizada por Roldán (1993).

Como se observa en la tabla 20. Los géneros hallados pertenecen a aguas de diferente grado de contaminación, desde poco contaminada hasta altamente contaminada como es el caso de los tubifex, debido al aumento de materia orgánica

en las orillas del río, resaltando que esta zona carece de velocidad el agua y se encuentra mayor cantidad de materia en descomposición, Argia, Oecetis, Scirtes, Simullium, Elodes fueron géneros que se encontraron en la zona donde el caudal de río son mayores y las condiciones son menos críticas para estos géneros indicando que la calidad del agua es poco contaminada, Helisoma, Aeshna, Coryphaeshna, Macrelmis, son géneros que corresponden a una profundidad media del río donde las condiciones presentan un grado más crítico con relación a la zona anteriormente descrita, principalmente caracterizada por su alta presencia de vegetación, estos géneros por poseer un índice de sensibilidad más amplio a los primeros, son indicadores de agua moderadamente contaminada.

Haliplus, Chironomus, Aedes, Hexatoma, Dacnobia son géneros que se adaptan a unas condiciones más complejas es decir soportan concentraciones más altas de varios compuestos, entre ellos los nitratos y a concentraciones más bajas de otros como es el caso del oxígeno disuelto, y que requieren la existencia de la acumulación de materiales naturales (vegetación, lodo, rocas, troncos, etc), para habitar y así poder reproducirse.

Tubifex es género que solo habitan en aguas que se encuentra con alta cantidad de materia orgánica disuelta y es el único indicador que puede sobrevivir a los niveles más altos de contaminación.

Mediante la relación de la cantidad de organismos encontrados en cada uno de las estaciones (tablas 18 y 19) con la calidad de agua de la cual son bioindicadores (tabla 20); se concluye que en la estación E1 los géneros con mayor número de organismos presentes son indicadores de aguas muy y moderadamente contaminadas, siendo mayor la cantidad de géneros pertenecientes a esta calidad de agua.

Para la estación E2 la situación reportada es distinta a la de la estación anterior, los géneros más representativos corresponden a aguas moderadamente contaminadas, y en zonas donde disminuye el caudal y las concentraciones de sustancias son mayores se evidencian géneros indicadores de aguas muy contaminadas, siendo en este punto la calidad del agua contaminada.

9. DIVERSIDAD SEGÚN LOS ÍNDICES DE SHANNON-WEAVER, SIMPSON, MARGALEF Y BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP).

Se procedió a calcular la diversidad presente en cada una de las estaciones para cada uno de los muestreos por medio de los índices más conocidos y aplicados como lo son el índice de Shannon-Weaver, Simpson para cada uno de los géneros presentes en cada estación, también se determinó la diversidad por cada una de las estaciones, empleando también los índices Margalef y Biological Monitoring Working Party (BMWP), para corroborar cada uno de los datos obtenidos y ofrecer una información eficaz y confiable.

Tabla 21. Diversidad (H) encontrada a partir del índice de Shannon-Weaver, para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E1.

GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)
Dacnobia	0,41	0,42	0,40	0,17
Tubifex	0,00	0,48	0,00	0,49
Helisoma	0,16	0,00	0,48	0,37
Macrelmis	0,36	0,00	0,45	0,17
Halipus	0,00	0,14	0,00	0,25
Simulium	0,21	0,00	0,50	0,10
Chironomus	0,46	0,50	0,30	0,29
Aedes	0,48	0,49	0,00	0,10
Hexatoma	0,00	0,14	0,00	0,00
Aeshna	0,45	0,23	0,00	0,00
Coryphaesha	0,00	0,19	0,00	0,00
Argia	0,16	0,00	0,00	0,00
Oecetis	0,00	0,00	0,37	0,36

Fuente: Elaboración propia.

Se ha calculado la diversidad en cada uno de los muestreos para la estación E1 empleando el índice de Shannon-Weaver (tabla 21), teniendo en cuenta que la distribución varía al igual que la presencia de algunos de ellos para cada temporada, en el caso del muestreo 1(11/12/2015), la diversidad se distribuye en 9 géneros, siendo Aedes, Chironomus y Aeshna los más representativos, la situación registrada para el muestreo 2 (21/02/2016), varía con respecto al anterior, resaltando que en éste, la diversidad se distribuye en ocho géneros, siendo los más representativos Chironomus, Aedes, y tubifex, resaltando que este último en el muestreo anterior fue totalmente ausente, destacando que esta variación se presenta por el aumento de concentración de material en descomposición, y que los géneros con valores mayores en el índice son los más resistentes a aguas de calidad crítica.

Para el muestreo 3 (09/05/2016), la diversidad se distribuye en seis géneros de los cuales el Simullion, Macrelmis y Helisoma, son indicadores de aguas moderadamente contaminadas, para el muestreo 4 (20/06/2016) hubo un aumento de géneros siendo en su totalidad nueve, de los cuales los más representativos son el Oecetis y Heliosoma, indicadores de aguas poco y moderadamente contaminadas, a pesar de que hay variedad de géneros son muy pocos los que son representativos por adquirir un alto valor en cuanto a la diversidad según el índice de Shannon-Weaver.

Tabla 22. Diversidad (H) hallada a partir del índice de Shannon-Weaver, para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E2.

GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 1	MUESTREO 2
	(11/12/2015)	(21/02/2016)	(09/05/2016)	(20/06/2016)
Dacnobia	0,00	0,23	0,00	0,00
Tubifex	0,00	0,00	0,00	0,51
Helisoma	0,23	0,00	0,00	0,00
Elodes	0,00	0,00	0,00	0,35
Macrelmis	0,23	0,29	0,53	0,32
Haloplus	0,37	0,32	0,00	0,44

Simullium	0,23	0,19	0,39	0,00
Chironomus	0,00	0,19	0,44	0,32
Aedes	0,00	0,37	0,00	0,23
Hexatoma	0,20	0,00	0,00	0,00
Aeshna	0,44	0,44	0,00	0,00
Coryphaeshna	0,47	0,49	0,00	0,00
Argia	0,46	0,00	0,00	0,00
Oecetis	0,12	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Los géneros presentes y su contribución al índice de diversidad en la estación E2, evidencia que para el muestreo 1(11/12/2015) se encontraron presentes diez géneros y los más representativos de ellos son: Coryphaehsna, Argia y Aehsna, y que más contribuyen al valor del índice, estos tres géneros representativos son indicadores de aguas poco y moderadamente contaminadas, destacando que son géneros que tienen en común su hábitat, ya que predominan donde hay vegetación acuática, para el muestreo 2 (21/02/2016) la diversidad se distribuye en la totalidad de 10 géneros, siendo los más representativos Aeshna y Coryphaehsna, al ser los géneros que contribuyen al índice reportan que la calidad del agua es moderadamente contaminada, el índice para el muestreo 3 (09/05/2016) se encuentra distribuido en 4 géneros y en todos con una representación muy similar entre 0,44 y 0,53. Para el muestreo 4 (20/06/2016) se presentó un aumento en el número de géneros hallados con una totalidad de seis, teniendo en cuenta que su distribución es muy similar entre cada uno de ellos, como se registra en la tabla 22, la baja diversidad que se reporta indica que hay factores que limitan la diversidad de macro invertebrados en el río Suárez en el municipio de Chiquinquirá.

Tabla 23. Diversidad hallada a partir del índice de Simpson, para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E1.

GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 1	MUESTREO 2
	(11/12/2015)	(21/02/2016)	(09/05/2016)	(20/06/2016)
Dacnobia	0,02	0,02	0,01	0,00

Tubifex	0,00	0,04	0,00	0,27
Helisoma	0,00	0,00	0,04	0,01
Elodes	0,00	0,00	0,00	0,00
Macrelmis	0,01	0,00	0,03	0,00
Haliplus	0,00	0,00	0,00	0,00
Scirtes	0,00	0,00	0,00	0,00
Simullium	0,00	0,00	0,05	0,00
Chironomus	0,03	0,06	0,00	0,00
Aedes	0,04	0,04	0,00	0,00
Hexatoma	0,00	0,00	0,00	0,00
Aeshna	0,03	0,00	0,00	0,00
Coryphaeshna	0,00	0,00	0,00	0,00
Argia	0,00	0,00	0,00	0,00
Oecetis	0,00	0,00	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la existencia de varios índices para determinar la diversidad, se procedió a emplear el índice de Simpson como se ilustra en la tabla 23, la información obtenida a partir de su aplicación es que se habla de valores muy bajos para cada uno de los géneros, lo que indica que la diversidad es muy baja. Para la estación E1 durante la temporada de sequía los géneros que mayor valor reportan Aedes, Chironomus y Tubifex, todos ellos son los que más fácil se adaptan a condiciones críticas, llegando a la conclusión de que el agua está contaminada, para la temporada de lluvia los géneros que obtuvieron valores más altos son diferentes a los de temporada de sequía, en este caso Heliosoma, Simullium, son géneros de mayor sensibilidad frente a los cambios que se da en su hábitat. En cuanto al Tubifex fue hallado en la vegetación en estado de descomposición, situación que se presenta en el segundo muestreo donde los caudales son altos (temporada lluvia).

Tabla 24. Diversidad hallada a partir del índice de Simpson para la temporada de sequía y de lluvia, para cada uno de los géneros hallados en la estación E2.

GÉNERO	TEMPORADA DE SEQUÍA		TEMPORADA DE LLUVIA	
	MUESTREO 1 (11/12/2015)	MUESTREO 2 (21/02/2016)	MUESTREO 1 (09/05/2016)	MUESTREO 2 (20/06/2016)
Dacnobia	0,00	0,00	0,00	0,00
Tubifex	0,00	0,00	0,00	0,22
Helisoma	0,00	0,00	0,00	0,00
Elodes	0,00	0,00	0,00	0,01
Macrelmis	0,00	0,01	0,14	0,01
Halipus	0,01	0,01	0,09	0,03
Scirtes	0,00	0,00	0,00	0,00
Simulium	0,00	0,00	0,01	0,00
Chironomus	0,00	0,00	0,02	0,01
Aedes	0,00	0,01	0,00	0,00
Hexatoma	0,00	0,01	0,00	0,00
Aeshna	0,03	0,03	0,00	0,00
Coryphaesha	0,04	0,05	0,00	0,00
Argia	0,04	0,00	0,00	0,00
Oecetis	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

En la estación E2 la información que se registró es que los géneros con mayor valor para la temporada de sequía es Aeshna, Coryphaesha y se concluye que la calidad del agua es contaminada, y que hay presencia de nitratos debido a que son géneros que habitan en ambientes con alta presencia de vegetación acuática.

Para la temporada de lluvia en esta estación también se halló Tubifex como se muestra en la tabla 24, por la alta concentración de materia vegetal en descomposición. Cuando el caudal es mayor predominan géneros pertenecientes a aguas moderadamente contaminadas.

Tabla 25. Diversidad hallada a partir de los índices de Shannon-Weaver, Simpson, Margalef y Biological Monitoring Working Party (BMWP), para la temporada de sequía y de lluvia para calcular la diversidad por cada una de las estaciones.

Temporada	Muestreo	Estación	Shannon-Weaver	Simpson	Margalef	BMWP/Col
Sequía	1	E1	2,85	0,143	1,95	43
	2		2,58	0,182	1,62	33
	1	E2	2,5	0,169	1,28	31
	2		2,29	0,307	1,69	38
Lluvia	1	E1	2,99	0,138	2,01	63
	2		3,07	0,125	2,09	50
	1	E2	1,89	0,264	0,89	17
	2		2,17	0,277	1,16	27

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP/Col.

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

Fuente: Sánchez Herrera, Marjorie Josefina, El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander, Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas (2005), recuperado el 6 de diciembre de 2016 de:<<http://revele.com.veywww.redalyc.org/articulo.oa?id=90330207>>

Los datos anteriormente reportados por el índice de Shannon-Weaver muestran que los valores más altos pertenecen a la temporada de lluvia en la estación E1,

rodeando un valor de tres, indicando que la biodiversidad es media. Para la temporada de sequía los valores se encuentran también muy cercanos a una biodiversidad media. El caso para la estación E2 es diferente debido a que los valores reportados son menores y corresponden a una biodiversidad baja, recordando que la escala de evaluación que se emplea en este índice es de uno a cinco siendo uno el valor más bajo y cinco el valor mayor que corresponde a un hábitat con excelente biodiversidad.

La interpretación obtenida a partir del índice de Simpson muestra que la probabilidad de que al tomar dos organismos al azar de un ecosistema pertenezcan a la misma especie, los valores más altos se reportaron para la estación E2 en temporada de lluvia y para el segundo muestreo durante la temporada de sequía, valor que indica que hay cantidad significativa de individuos por género, mientras que para la temporada de sequía el valor del índice es menor, con lo que se concluye que se presenta una mayor cantidad de géneros es decir la biodiversidad es mayor.

El índice de Margalef aporta información similar a la descrita por el índice de Shannon-Weaver, su interpretación se basa en que los valores menores a dos indican una baja diversidad y valores mayores a cinco indican que hay buena diversidad, en el caso del río Suárez en el municipio de Chiquinquirá los valores no superan al 2.09, indica que la diversidad es muy baja y que está relacionada con una calidad de agua crítica, debido a que son menos los géneros que se adaptan a condiciones críticas, en comparación con los géneros que tienen mayor grado de sensibilidad y se adaptan a aguas puras sin ningún grado de contaminación.

El BMWP/Col reporta como resultados que la calidad del agua en la mayoría de los muestreos es crítica y en otros de los muestreos la calidad reportada es dudosa, mientras que solo en uno de los muestreos se reportó una calidad aceptable, en comparación a los demás índices es el que proporciona una información más específica, aplicando el grado de sensibilidad que cada uno de los géneros tiene frente a las diferentes concentraciones de sustancias químicas, y alteración de parámetros físicos y bacteriológicos que sufre un cuerpo de agua frente a las actividades antrópicas.

Con base en los datos reportados en la estación E1 se evidencia que la calidad del agua en este sector está expuesta a una serie de factores que hace que esta varíe, durante el primer muestreo la calidad reportada corresponde a una condición dudosa, lo que significa que son aguas moderadamente contaminadas, mientras que para el segundo muestreo la calidad reportada es crítica, es decir aguas muy contaminadas, esta variación está altamente relacionada con el periodo en el cual se realizó el muestreo; cuando la temporada de sequía es de mayor intensidad, el caudal disminuye notoriamente alterando la concentración de algunos parámetros entre ellos el oxígeno disuelto, acidez, alcalinidad y dureza; para la estación E2 el caso es inverso a los de la estación E1, debido a que se evidencia que el valor reportado por el BMWP/Col sobrepasa el valor de calidad crítica solo por dos unidades, razón por la cual no se consideran variantes estos dos datos reportados.

Para la temporada de lluvia los datos reportados para la estación E1 son distintos debido a que el caudal del río aumento y los parámetros sufrieron variación, tanto que para el primer muestreo se reportó una calidad aceptable, porque muchas de las sustancias contenidas se disolvieron y la calidad del agua mejoró, para la estación E2 la calidad reportada es crítica, teniendo en cuenta que esta estación está sometida a un factor influyente como lo son los vertimientos de la PTAR, y los grados de concentración de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que siempre tienen el mismo comportamiento.

10. CONCLUSIONES

Las especies de macro invertebrados bentónicos que actúan como bioindicadores de la calidad del agua del río Suárez son: Dacnobia, Tubifex, Helisoma, Elodes, Macrelmis, Halophilus, Scirtes, Simulium, Chironomus, Aedes, Hexatoma, Aeshna, Coryphaesna, Argia y Oecetis, teniendo en cuenta que los anteriormente mencionados son la totalidad de géneros hallados en el río Suárez dentro del municipio de Chiquinquirá en las dos estaciones localizadas en puntos críticos por el gran impacto ambiental presentado, resaltando que cada uno de estos géneros realmente mostraron alteraciones en su presencia con relación a variaciones físico químicas y bacteriológicas sufridas en el agua del río por factores como vertimientos de aguas residuales, por mal manejo de la actividad pecuaria y agrícola.

La variación de los parámetros físicos y químicos del agua tiene gran incidencia en el comportamiento de los macro invertebrados debido al grado de sensibilidad que estos poseen, el caso más relevante se presentó con géneros como: Aeshna, Coryphaesna y Argia, géneros que tienen una notoria variación relacionada a la concentración de nitratos. Durante la temporada de sequía se registró una concentración de este parámetro superior a los 10 mg/L a su vez registrando la presencia de los géneros anteriormente mencionados y en la temporada siendo totalmente ausentes por las bajas concentraciones de este mismo parámetro, caso similar se presentó con el Tubifex que realmente se encontró asociado a la alta concentración de materia orgánica donde los componentes naturales presentan un estado avanzado de descomposición.

A pesar del grado de contaminación que se ha reportado a partir del estudio de los macro invertebrados recolectados, además de análisis físicos, químicos y bacteriológicos, el río Suárez cuenta con una diversidad media, calculada a partir del índice de Shannon – Weaver, teniendo en cuenta que la diversidad se encuentra distribuida en un total de 14 géneros encontrados, propios de aguas poco contaminadas como es el caso de Argia, Oecetis, Scirtes, Simulium, Elodes, aguas moderadamente contaminadas de las cuales se destacan Helisoma, Aeshna, Coryphaesna, Macrelmis, Halophilus de aguas contaminadas, mientras que de aguas muy contaminadas se hallaron Chironomus, Aedes, Hexatoma, Dacnobia, también hallando el único género representante de aguas altamente contaminadas al cual se le denomina Tubifex.

En cuanto a todos los índices existentes y empleados durante esta investigación para evaluar la calidad del agua, el más apropiado y que mayor información proporciona es el índice de BMWP/Col, puesto que muestra el estado de la calidad del agua teniendo en cuenta que se evalúa el nivel o grado de aceptación de los macro invertebrados frente a la calidad del agua, adicionalmente es un índice que ha sido modificado y adaptado para Colombia, razón por la cual los datos obtenidos son confiables y eficaces, siendo una evaluación para organismos clasificados hasta el grado de familia.

El índice BMWP/Col es aplicado a las familias de macro invertebrados, mientras que si se compara con el análisis de los géneros y la calidad del agua de la cual son bioindicadores, los resultados no muestran variaciones significativas, teniendo en cuenta que a cada una de las familias pertenece una gran cantidad de géneros que tienen diferentes grados de sensibilidad.

Los macro invertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua son altamente viables, debido a su alta sensibilidad a las variaciones de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, ocasionadas por las actividades antrópicas; durante el desarrollo de esta investigación se observó que varios de los géneros hallados durante un muestreo, para otro muestreo fueron ausentes debido al aumento de las concentraciones de algunas sustancias, el caso que mayor relevancia obtuvo fue el de Aeshna, Corypaehsna y Argia, géneros propios de la vegetación acuática, claramente indicadores de la presencia de nitratos.

La calidad del agua del río Suárez es crítica (muy contaminada), presenta una diferencia entre las estaciones establecidas para el muestreo, teniendo en cuenta que cada una de las estaciones tiene factores realmente incidentes en su comportamiento de los macro invertebrados, en la estación E1 (20 m aguas abajo de la desembocadura del río Chiquinquirá) se presenta la unión de los dos ríos, el río Chiquinquirá y el río Suárez, los dos muestran el mismo comportamiento metros antes de su unión, el primero con un caudal menor al segundo, resaltando que el río Chiquinquirá transcurre por la parte urbana del municipio, razón por la cual es considerable la alta carga de residuos sólidos durante su transcurso que tiene como destino el río Suárez. La estación E2 (100 m aguas abajo de la desembocadura de la PTAR) gran parte de su caudal es proveniente de las aguas residuales de la zona rural del municipio, tratadas por la PTAR.

La calidad del agua en estos puntos se encuentra cumpliendo algunos de los parámetros establecidos por el Decreto 1594 de 1984 para uso agrícola y pecuario, siendo usos no muy exigentes, teniendo en cuenta que se encuentra muy sobre el límite de los coliformes totales lo que hace que el agua pierda la totalidad de sus posibles usos y represente un peligro para la salud humana.

El área de estudio se encuentra altamente impactada por la considerable cantidad de residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, que son desechados por la población aledaña a esta zona y los que son transportados hasta este punto por el río Chiquinquirá.

RECOMENDACIONES

Emplear los macro invertebrados como herramienta de evaluación de la calidad del agua teniendo en cuenta su rápido análisis, grado de sensibilidad, y método económico, resaltando los resultados obtenidos a partir de la comparación de los análisis fisicoquímicos y biológicos obtenidos en esta investigación.

Incluir este tema dentro de la formación académica, debido a que es de gran importancia en cuanto al tema sanitario y se considera viable por las diferentes ventajas que esta herramienta proporciona, se ha observado que se presenta desconocimiento en cuanto a este método de evaluación de la calidad del agua, a pesar de los múltiples trabajos realizados a nivel nacional, cuyos resultados son satisfactorios, y la existencia de valiosa información biológica para la identificación y clasificación de los macro invertebrados bentónicos incluyendo la caracterización de su hábitat y nivel de sensibilidad.

Recomendar al municipio de Chiquinquirá y a la Corporación Autónoma Regional (CAR), implementar un programa de educación ambiental en cuanto a temas de disposición de residuos sólidos y protección de los cuerpos de agua, debido a que es complejo el tema que después de que se genere una fuerte lluvia y el caudal de los ríos aumente se observen barreras de residuos sólidos (bolsas, botellas plásticas, muebles, llantas, etc.) en el río Suárez provenientes de la zona urbana del municipio y transportados hasta este punto por el río Chiquinquirá. Además de restringir el uso de las laderas del río para la actividad pecuaria por cuanto se encuentran pastoreando a unos pocos metros del río, actividad que está contribuyendo con la contaminación que actualmente se registra.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, M. (2009). Recuperado el 15 de abril de 2014, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10625/TesisMAC.pdf?sequence=1>.
- Arango, L. F. (2005). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Recuperado el 11 de 09 de 2016, de pruebaiahv.humboldt.org.co
- Barba, L. (2002). *conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Recuperado el 20 de octubre de 2014, de universidad del valle, Santiago de Cali. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>
- Biologiamacro. (1 de Abril de 2015). Biologiamacro. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016, de http://biologiamacro.blogspot.com.co/2015_04_01_archive.html
- Buitrago, N. (13 de junio de 2010). *Chiquinquirá Boyaca*. Recuperado el 14 de febrero de 2015, de: <http://chiquinquiraboy.blogspot.com/2010/06/historia.html>
- Carrera, C. (2001). *ecociencia*. Recuperado el 14 de marzo de 2014, de Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores: <http://www.ecociencia.org/archivos/ManualLosmacroinvertebradosacuaticos-100806.pdf>
- Cristina Chilibingua, Henry Donoso. *escuela superior politécnica de chimborazo facultad de ciencias escuela de ciencias químicas "ingeniería en biotecnología ambiental. riobamba – ecuador*. Recuperado el 21 de enero de 2015, de file:///D:/DATOS/Downloads/236T0075.pdf.
- Chiquinquirá, A. D. (2012). Plan De Desarrollo Alcaldía De Chiquinquirá. Recuperado el 7 de agosto de 2014, de <http://www.docstoc.com/docs/138216923/chiquinquirá-plan-de-desarrollo--2012-2015>.

- Espejo, M. Y. (febrero de 2001). Recuperado el 17 de marzo de 2014, de Química Ambiental: http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32876429-1___Mn_inicio.html.
- García, N. M. (2010). Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de contaminación del balneario Hurtado, río guatapuri Valledupar cesar. Bucaramanga Santander. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7074/2/133290.pdf>
- *Investigando las disoluciones del agua.* (s.f.). Recuperado el 24 de octubre de 2014, de http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni_02/u2c4s1.htm#Anchor1
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Recuperado el 11 de septiembre de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4015812.pdf>.
- LAURA, P. (2006). scielo. Recuperado el 17 de marzo de 2015, de BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE SHANNON Y LA RIQUEZA: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000800008&script=sci_arttext
- LINA MARÍA RAMOS-ORTEGA1, L. A. (14 de agosto de 2014). scielo. Recuperado el 17 de marzo de 2015, de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>
- Lopez, & et al. (2006). entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. medellin Antioquia. Recuperado el 6 de febrero de 2015, de http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/2/43615961.2009_2.pdf.
- Mark, McFarland, Monty C, & Dozier. (s.f.). *cooperativa de texas extension*. Recuperado el 20 de agosto de 2014, de Problemas de aguapotable: <http://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5451sironandman.pdf>
- Mathooko, & et al. (2005). entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. medellin Antioquia. Recuperado el 6 de febrero de 2015, de http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/2/43615961.2009_2.pdf.

- Merritt, & Cummins. (1996). Recuperado el 22 de marzo de 2015, de http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/e07.pdf.
- Mihelcic, J. R. (2001). fundamentos de ingeniería ambiental. Mexico: LIMUSA S.A.
- Ortiz Villota, M. T. (1995). Estudio Limnológico de la Cuenca del Río Pasto . pasto.
- Paggi. (2001). Recuperado el 22 de marzo de 2015, de Orden Diptera
- Politécnica, E. U. (s.f.). Ambientun.com. Recuperado el 20 de enero de 2015, de http://www.ambientun.com/enciclopedia/aguas/2.01.19.31_1r.html
- Ramos, C. (marzo de 2011). universidad veracruzana. Recuperado el 17 de marzo de 2015, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29447/1/RamosPerez.pdf>.
- Ramos, L. M., Vidal, L., & Vilardy, S. (14 de agosto de 2014). scielo. Recuperado el 17 de marzo de 2015, de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>.
- Rico Sánchez, A. E., Rodríguez Romero, A. J., López López, E., & Sedeño Díaz, J. E. (2 de Abril de 2014). redalyc. Recuperado el 25 de junio de 2016, de <http://www.redalyc.org/pdf/449/44932430006.pdf>
- Rocha, S. (2003). macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Recuperado el 21 de mayo de 2014, de <http://www.revistasjdc.com/main/index.php/ccient/article/view/124>
- Rojas, J. A. (1996). ACUIQUIMICA. Bogotá: Departamento de publicaciones Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Roldan Perez, G. (1993.). Recuperado el 26 de enero de 2015, de http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf.
- Roldán Pérez, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

- Roldan Perez, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Medellín.
- Sanabria Suarez, D. (14 de agosto de 2006). IDEAM. Recuperado el 28 de febrero de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Macroinvertebrados+acuaticos..pdf/e5730a5b-069f-4400-8d2d-a31d8603a196>
- TamarisTurizo et al., 2., & Cardozo, B. y. (2005). entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. Recuperado el 6 de febrero de 2015, de entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del http://www.bdigital.unal.edu.co/2177/2/43615961.2009_2.pdf
- Torralba Burrial, A., & Ocharan, F. (2007). Limnetica. Recuperado el 26 de Agosto de 2016, de http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne26/L26b359_Estado_ecologico_rios_Aragon.pdf
- *Universidad de Puerto Rico.* (s.f.). Recuperado el 16 de diciembre de 2014, de recinto universitario de mayagüez.: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-Ph.pdf>.
- *Universidad De Puerto Rico.* (s.f.). Recuperado el 16 de diciembre de 2014, de recinto universitario de mayagüez: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf>
- *Universidad Nacional de Colombia.* (s.f.). Recuperado el 22 de enero de 2015, de Instituto de estudios ambientales –IDEA-: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco_col/eco_col5.html
- *Universidad Nacional de Colombia.* (s.f.). Recuperado el 22 de enero de 2015, de Ecología y medio ambiente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion4/capitulo10/0410_04.htm
- *Universidad Nacional de Colombia.* (s.f.). Recuperado el 22 de enero de 2015, de Instituto de estudios ambientales –IDEA-: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco_col/eco_col5.html.

- Ziguio, G., Siligardi, M., & Flaim, G. (2006). Biological monitoring of rivers - Applications and perspectives. Chichester Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
- Zúñiga, & Rojas. (1995). fichas ephemeropteros cortolima. Recuperado el 23 de marzo de 2015, de:
http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documento/pom_coello/diagnostico/apendices/invertebrados/fichas_efemeropteros.pdf.
- *Naturalista*. (s.f.). Recuperado el 18 de marzo de 2014, de
<http://conabio.inaturalist.org/taxa/47158-Insecta>.
- *unitek*. (s.f.). Recuperado el 16 de diciembre de 2014, de
http://www.unitek.com.ar/productos-suavizadores-filtros.php?id_lib_tecnica=6.

12. ANEXOS

PROTOCOLO DE CAMPO

Localidad

Corriente/lago: _____ Municipio: _____ N°
estación: _____

Descripción:

Fecha: _____ Hora: condiciones de tiempo: lluvia antes o durante el
muestreo:

Macrohábitat:

Tipo: crenón (nacimiento) ritrón (río de montaña) potamón (valles)
canal:

Ancho (m): menor que 0.1: entre 5 y 25: entre 25 y 100: mayor que
100:

Profundidad (m): menor que 0.1: entre 0.1 y 0.5: entre 0.5 y 1.0: mayor
que 2:

Pendiente (%): menor que 1: entre 1 y 3: entre 3 y 7: mayor
que 7:

Velocidad de la corriente: muy rápida: rápida: moderada: baja:
quieta:

Tipo de sustrato: piedras: más de 20mm: grava: ente 2 y 20mm:

mm: Arena: entre 0.2 y 2.0 mm: cieno, barro: menor de 0.2

Exposición: abierto: parcialmente cubierto: muy cubierto:

Estructura del banco: natural: raíces: piedras: concreto:

Condición del sustrato: limpio: con materia orgánica: restos de vegetación:

Otros:

Fisicoquímicos:

Transparencia (secchi, cm) claro: mayor de 50 cm: turbio: entre 10 y 50
muy turbio:

Menor de 10:

Color del agua: transparente turbia: muy turbia:

Temperatura: aire: _____ agua: _____

Oxígeno disuelto: _____ mg/l porcentaje de saturación: _____ PH: _____
conductividad: _____

Técnica de muestreo: D-net: red de pantalla: red surber:
draga ekman:

Manual

Área muestreada (m): _____ tiempo de muestreo (minutos): _____

Biocenosis (microhábitas)

Vegetación acuática: (0) ausente (1) escasa: (2) moderada:
(3) abundante

Macroalgas: (0) ausentes: (1) escasas: (2) moderadas: (3)
abundantes:

Macroinvertebrados: (0) ausentes: (1) escasos: (2) moderados:
(3) abundantes: _____

Alrededores: bosques: agricultura: pastos: área
residencial:

Industrial: _____

Descripción: _____

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS POR EL MÉTODO YODO MÉTRICO MODIFICACIÓN DE AZIDA

Para este análisis se emplearon los siguientes reactivos y materiales:

- Solución de sulfato manganoso
- Reactivo álcali-yoduro-azida.
- Ácido sulfúrico, H₂SO₄, concentrado.
- Tiosulfato de sodio titulante estándar, 0.025N.
- Botella winkler de 250 mL
- Probeta plástica de 500 mL
- Pipeta plástica de 3 mL.

Se procedió a tomar la muestra, sumergiendo la botella winkler hasta que se reboso y se tapó con la tapa esmerilada, hasta eliminar por completo las pequeñas burbujas de aire dentro de la botella, una vez terminado este proceso se destapa la botella y se agregaron 20 gotas de solución de MnSO₄, 20 gotas del reactivo de álcali-yoduro-azida, se tapó de nuevo cuidadosamente para evitar burbujas de aire y se mezcló varias veces por inmersión.

Cuando el precipitado se decantó hasta aproximadamente la mitad del volumen de la botella, se agregaron 20 gotas de H₂SO₄ concentrado, se tapó y se mezcló varias veces por inversión, hasta disolución completa.

Se procedió a medir con una probeta 100 mL de la solución, adicionando 10 mL de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) 0.025N; se tituló con solución 0,025 M de Na₂S₂O₃ agregándolo gota a gota y agitando, hasta obtener un color amarillo pajizo pálido.

Una vez terminado el proceso se empleó la siguiente fórmula para determinar la concentración de oxígeno disuelto.

$$\frac{mg \text{ de OD}}{L} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} * N_{Na_2S_2O_3} * 8000 * V \text{ de la botella}}{mL \text{ de muestra} * (V \text{ de la botella} - 2)}$$

Dónde:

$V_{Na_2S_2O_3}$ = volumen gastado de Na₂S₂O₃.

$N_{Na_2S_2O_3}$ = Normalidad del Na₂S₂O₃

$V \text{ de la botella}$ = Volumen de la botella empleada.

mL de muestra= mL de la muestra valorada

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.

Para este análisis se emplearon los siguientes materiales:

- papel filtro cuantitativo
- embudo
- pinzas para embudo
- soporte universal
- horno
- vaso de precipitado de 250 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- vidrio reloj

Procedimiento: se procedió a colocar el papel filtro sobre un vidrio reloj e introducirlo en el horno durante 1 hora a una temperatura de 103°C, después de transcurrida la hora se procede a extraer el papel del horno y se deja enfriar durante 15 minutos, se procede a pesar el papel en la balanza analítica y luego se filtra 100 ml de muestra, seguidamente se lleva al horno por una hora a una temperatura de 103°C nuevamente se vuelve a pesar en la balanza analítica.

La fórmula que se empleó para determinar la cantidad de sólidos disueltos totales, es la siguiente:

$$SST = \frac{\text{papel seco después de filtrar} - \text{papel seco antes de filtrar}}{\text{volumen de muestra}}$$

Para este análisis se realizó tres replicas para cada una de las estaciones.

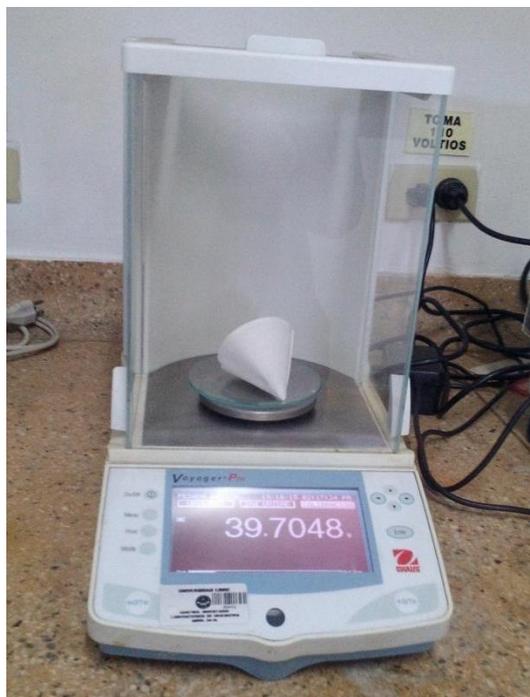


Figura 14. Determinación de sólidos suspendidos.

DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA

MATERIALES:

- Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta graduada
- Pinzas para bureta
- Soporte universal
- Vaso de precipitado de 250 ml
- Negro de biocromo
- Amonio
- EDTA

PROCEDIMIENTO:

En un Erlenmeyer se adicionó 100 ml de muestra 3 gotas de negro de biocromo y 1 ml de amonio, se procedió a titular con EDTA hasta que el color de la muestra se tornó de color rojo.

Se empleó la fórmula:

$$dureza = \frac{VEDTA * NEDTA * 100.000}{V muestra}$$

Dónde:

VEDTA= Volumen usado de EDTA

NEDTA= Normalidad del HCl

V=Volumen de la muestra de agua

Para este análisis se realizó tres replicas para cada una de las estaciones.



Figura 15. Determinación de dureza.

NITRATOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA

MATERIALES:

- Balones aforados de 50 mL.
- Pipetas aforadas de 25, 10, 3 y 2 mL
- Erlenmeyer de 125 mL
- Pipeta graduada de 10 mL
- Celda de cuarzo de 1 cm
- Vasos de precipitados de 100 mL
- Probeta de 25 mL
- Espectrofotómetro
- Pipeta graduada de 10 mL

Como paso inicial se procedió encender el espectrofotómetro 1 hora antes de iniciar el proceso de medición.

En balones aforados de 50 ml se procedió a realizar las soluciones para la curva de calibración con las siguientes concentraciones:

- 0
- 0.25
- 0.5
- 0.75
- 1
- 2
- 3
- 5

De la siguiente forma con la solución patrón de nitrato 1,00 mL = 100 µg NO₃ – -N.

Tabla 26. Preparación de estándares para la curva de calibración para nitratos.

Concentración inicial mg N – NO ₃ – /L	Volumen inicial (Volumen a diluir) ml	Concentración final mg N – NO ₃ – /L	Volumen final ml
100	0	0	50
100	0.125	0.25	50
100	0.25	0.5	50
100	0.375	0.75	50
100	0.5	1	50
100	1	2	50
100	1.5	3	50

100	2.5	5	50
-----	-----	---	----

A partir de la solución patrón de nitratos de 100 mg N – NO₃ – /L, se preparó las soluciones de trabajo de 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 3 y 5 mg N – NO₃ – /L y se procedió a elaborar la curva de calibración, para la elaboración se tomaron cada uno de los volúmenes iniciales o volumen a diluir que se encuentran en la anterior tabla y se depositaron cada uno de esos valores en balones aforados de 50 ml y luego se completó hasta la línea de aforo con agua destilada para obtener la concentración final.

Cada uno de los balones se taparon y se agitaron y a cada uno de ellos se le adiciono 1 ml de solución de HCl 1 N de igual forma cada uno de ellos se volvió a mezclar perfectamente.

Para la preparación de cada una de las muestras se procedió a filtrar las muestras, se llevaron a balones de 50 ml y de igual forma se le adiciono 1 ml de solución de HCl 1 N, se agitaron y se inició la elaboración de curva de calibración. Se transfirió en la celda de cuarzo de 1 cm cada uno de los estándares, se introdujo dentro del espectrofotómetro el cual ya se había asignado los rangos de medición para el caso de los nitratos debe ser de 220 y 275 nm para lo cual se estableció como rango 200 y 300 nm. Se introduce uno por uno de los estándares registrando los valores reportados a los 220 y 275 nm y por último repito el mismo procedimiento con cada una de las tres réplicas de cada una de las estaciones.

Para calcular la concentración de nitratos en cada una de las muestras se empleó la siguiente formula:

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{N} - \text{NO}_3 = m * (\text{Abs } 220 \text{ nm} - (2 * \text{Abs } 275 \text{ nm}))$$

Dónde:

$\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{N} - \text{NO}_3$ = Concentración de nitratos en las muestras

m= inverso de la pendiente de la curva de calibración.

Abs 220 nm= lectura realizada por el espectrofotómetro a los 220 nm.

Abs 275 nm= lectura realizada por el espectrofotómetro a los 275 nm

NITRITOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA

MATERIALES

- Balones aforados de 50 mL.
- Pipetas aforadas de 25, 10, 3 y 2 mL
- Erlenmeyer de 125 mL
- Pipeta graduada de 10 mL
- Celda de cuarzo de 1 cm
- Vasos de precipitados de 100 mL
- Probeta de 25 mL
- Espectrofotómetro
- Pipeta graduada de 10 mL

Tabla 27. Preparación de los estándares para la curva de calibración de nitritos.

Concentración inicial mg N – NO ₂ – /L	Volumen inicial (Volumen a diluir) ml	Concentración final mg N – NO ₂ – /L	Volumen final ml
250	0	0	50
250	1	5	50
5	2	0.2	50
5	1	0.1	50
5	0.5	0.050	50
0.1	5	0.010	50

A partir de la solución patrón de nitratos de solución patrón de nitritos de 250 mg N - NO₂ – /L, se preparó las soluciones de trabajo de 0, 5, 0.2, 0.1, 0.050 y 0.010 mg N - NO₂ – /L se procedió a elaborar la curva de calibración, para la elaboración se tomaron cada uno de los volúmenes iniciales o volumen a diluir que se encuentran en la anterior tabla y se depositaron cada uno de esos valores en balones aforados de 50 ml y luego se completó hasta la línea de aforo con agua destilada para obtener la concentración final.

Luego se tomaron 25 ml de cada uno de estándares a un Erlenmeyer de 125 ml y se les adiciono 1 ml de reactivo de coloración y se agito varias veces, se dejó reposar hasta que se desarrollara el color en cada uno de los estándares, aproximadamente por un periodo de 30 min.

Para la preparación de cada una de las muestras se procedió a filtrar las muestras con una membrana de acetato de 0.45 micrómetros, se llevaron a balones de 50 ml y de igual forma se le adiciono 1 ml de reactivo de coloración, se agitaron y se dejaron reposar durante el mismo periodo de tiempo igual al de los estándares, y se inició la elaboración de curva de calibración. Se transfirió en la celda de cuarzo de 1 cm cada uno de los estándares, se introdujo dentro del espectrofotómetro el cual ya se había programado su rango de medición el cual es 543 nm. Una vez realizado este proceso se inició la medición de cada uno de los estándares y las tres replicas que se analizaron por cada una de las estaciones.

Para calcular la concentración de nitritos en cada una de las muestras se empleó la siguiente formula:

$$\text{mg N} - \text{NO}_2 - / \text{l} = \text{pendiente} * \text{Absorbancia} * \text{FD}$$

Dónde:

Pendiente= pendiente de la curva de calibración.

Absorbancia= lectura realizada por el espectrofotómetro a los 543 nm.

FD= factor de dilución.



Figura 16. Preparación de estándares para determinación de nitritos.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA

MATERIALES:

- Gradilla
- Tubos de ensayo con tapas
- Pipetas
- Termo reactor
- Titulador FAS
- reactivo ácido sulfúrico
- solución digestora
- vaso de precipitados de 250 ml.

PROCEDIMIENTO:

Para este análisis se procedió a realizar tres replicas para cada una de las estaciones. Para la preparación del blanco se procedió adicionar en cada uno de los tubos de ensayo 2.5 ml de muestra, 1.5 ml de solución digestora y 3.5 ml ácido sulfúrico, cada uno de los tubos de ensayo se taparon con tapas plásticas de rosca y se agitó cada uno de los tubos de ellos, se llevaron al termo reactor a una temperatura de 150°C y por un periodo de 2h, una vez el tiempo se cumplió se extrajeron los tubos de ensayo y se dejaron enfriar por un periodo de 15 min.

Antes de disponer uno de los blancos en el titulador de FAS se le realizo la calibración del equipo, titulando 150 ml de agua destilada.

En un vaso de precipitados se depositó el contenido de uno de los tubos de ensayo de los blancos, se llevó este volumen a 150 ml con agua destilada, se introdujo un agitador magnético dentro del vaso y se llevó al equipo titulador FAS se inició la titulación hasta que en la gráfica aparezca 1 y ese el punto de equivalencia.

Se realizó el mismo procedimiento con cada uno de los tubos restantes tanto de blanco como de muestras de cada estación.

Para realizar los respectivos cálculos se empleó la siguiente ecuación:

$$DQO = \frac{V_{blanco} - V_{muestra} * NFAS * 8000}{2.5}$$

Dónde:

V_{blanco}: Volumen empleado en la titulación del blanco.

V_{muestra}: Volumen empleado en la titulación de cada una de las muestras.

NFAS: Normalidad del FAS empleado.

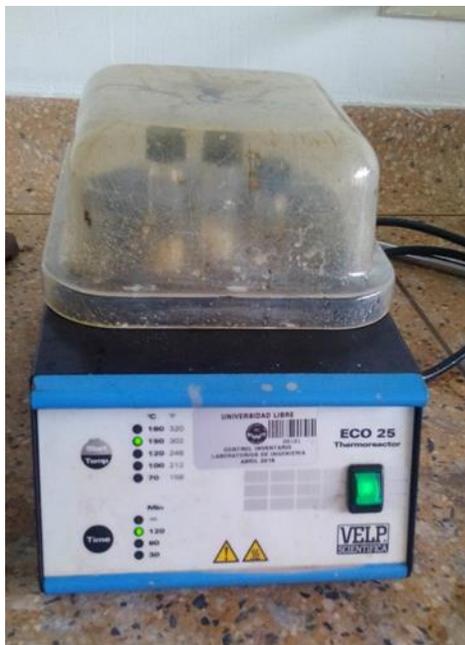


Figura 17. Determinación de DQO.

ACIDEZ

MATERIALES:

- Erlenmeyer de 250 ml
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Bureta aforada
- Soporte universal
- Pinzas para bureta
- Indicador fenolftaleína
- NaOH 0.1 N
-

PROCEDIMIENTO:

En el Erlenmeyer de 250 ml se adicionó 100 ml de muestra, 3 gotas de indicador fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N hasta que se tornó rosado y su color resistió más de 30 s.

Se procedió a realizar los cálculos con la siguiente fórmula:

$$acidez = \frac{VNaOH * NNaOH * 50.000}{0.1}$$

Dónde:

VNaOH: Volumen gastado durante la titulación.

NNaOH: Normalidad del NaOH empleado.



Figura 18. Determinación de acidez.

ALCALINIDAD POR TITULACIÓN

Inicialmente se tomaron 100 mL de la muestra del agua, a la cual se le añadieron 2 gotas de naranja de metilo; posteriormente se tituló con HClO, 1N hasta que la muestra viró a color rojizo.

$$lcalinidad = \frac{VHCL * []HCL * 50.000}{0.1}$$

Dónde:

VHCl= Volumen usado de HCl

HCl= concentración del HCl



Figura 19. Determinación de alcalinidad.

NITRÓGENO TOTAL

Materiales:

- Tubo de digestión
- Sulfato de potasio (K_2SO_4)
- Oxido de mercurio, rojo (HgO)
- ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- equipo de destilación semiautomática VELPUDK 132
- Se lleva al digestor VELPDK6
- digestor VELPDK6.

En un tubo de digestión se adicionaron los 50 ml de muestra, 7 g de Sulfato de potasio (K_2SO_4), 350 mg de Oxido de mercurio rojo (HgO) y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Se llevó al digestor VELPDK6, el cual se programó para dos ciclos el primero de 60 minutos a 200 °C y el segundo 120 minutos a 370 °C.

Una vez terminaron los ciclos de digestión, se retiraron los tubos del digestor y se dejaron enfriar.

Una vez los tubos se alcancen una temperatura manejable, se adiciono a la muestra digerida 50 ml de NaOH al 35% y 50 ml de agua destilada, este tubo se llevó al equipo de destilación semiautomática VELPUDK 132, antes de iniciar el proceso de destilación se verifico que el equipo se encontrara en el ítem 7, se procedió a recolectar 100 ml destilado en un Erlenmeyer, al cual se le ha adicionado 25 ml de solución de ácido bórico al 2%, una vez la destilación termino se le adiciono 4 gotas de indicador mixto a los 100 ml de destilados recolectados y este se llevó a titular con HCl 0,1 N hasta que el pH de la solución regrese al valor inicial de pH de la solución de Ácido Bórico, es decir hasta que vire a un color azul.

Para hallar la concentración se empleó la siguiente formula:

$$mg N = N * V * 14$$

Dónde:

N= normalidad del HCl

V= volumen de HCl gastado en la titulación.



Figura 20. Determinación de nitrógeno total en el equipo VELPDK6.



Figura 21. Proceso de digestión en el equipo VELPUDK 132



Figura 22. Titulación para la determinación de nitrógeno total.

COLIFORMES TOTALES FILTRACIÓN A TRAVÉS DE MEMBRANA

MATERIALES:

- Filtro de membrana MCE
- equipo de filtración por vacío.
- medio de cultivo (almohadilla absorbente pre esterilizado).
- Bomba de succión
- incubadora
- Agua destilada.

PROCEDIMIENTO:

Antes de iniciar el procedimiento se procedió a realizarle un lavado al equipo con agua destilada. Dentro de los embudos y vasos del equipo, se ubicó un filtro de membrana y se procedió a filtrar 100 ml de muestra, una vez se finalizó la filtración

de los 100 ml de muestra, se hidrato el medio de cultivo con unas gotas de agua destilada y se introdujo la membrana con la que se filtró, tapar y se llevó a la incubadora por 24 h a una temperatura de 40°C. Pasadas las 24 h en la incubadora se extrajeron los filtros de la incubadora y se procedió a contar las colonias por medio de un contador de colonias. Para este análisis se realizó tres replicas por estación.



Figura 23. Filtración al vacío para análisis de coliformes.

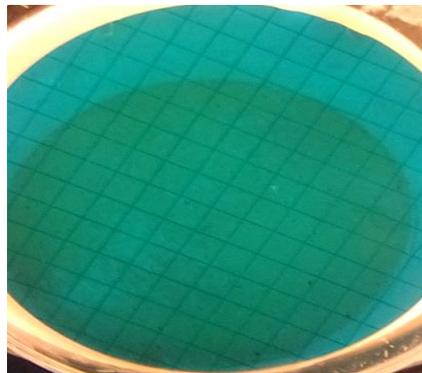


Figura 24. Análisis de coliformes totales.



Figura 25. Análisis de coliformes en el contador de colonias.

**CLASIFICACIÓN DE DESCRIPCIÓN DE MACRO INVERTEBRADOS
HALLADOS EN EL RÍO SUÁREZ.**

Tabla 28. Clasificación de los macro invertebrados hallados en el río Suárez



Figura 26. Oecetis.

Fuente: Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de: <http://www.troutnut.com/topic/8879/Oecetis-sp-larvae-and-pupae>.

PHYLUM: Arthropoda

CLASE: Insecta

ORDEN: Trichoptera

FAMILIA: Leptoceridae

GÉNERO: Oecetis

Habitad: viven en aguas corrientes sobre sustratos pedregosos y residuos vegetales y son propios de aguas poco contaminadas (Roldán Pérez, 2012).

Estructura:

Metanoto y a veces el mesonoto completamente membranosos o parcialmente esclerotizados, con varios pares de escleritos pequeños; patas posteriores mucho más largas que los otros dos pares; construyen casas portátiles tubulares de diversos materiales como arena, vegetal, seda o combinadas (Arango, 2005).



Figura 27. Coryphaeshna.

PHYLUM: Arthropoda

CLASE: Insecta

ORDEN: Odonata

FAMILIA: Aeshnidae

GÉNERO: Coryphaeshna

Habitad:

Viven en aguas lólicas con abundante vegetación y resisten condiciones de alta salinidad y son indicadoras de aguas mesotróficas (Roldán Pérez, 2012).

Estructura:

Ninfas robustas, con la cabeza aplanada y más estrecha que el tórax. Tres valvas rígidas, cortas y puntiagudas al final del abdomen. Antena con 6 o 7 segmentos, delgada y en forma de pelo. Tarso anterior y medio con tres segmentos. Labrium plano. Tiene variado tamaño, mide de 31 a 50 mm (Biologiamacro, 2015).



Figura 28. Aeshna

Fuente: Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
http://www.parks.it/parco.fiume.sile/gallery_dettaglio.php?id=832

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Coleoptera
FAMILIA: Aeshnidae
GÉNERO: Aeshna

Habitad: viven en aguas poco corrientes con abundante vegetación acuática.

Estructura: miden entre 30.0 y 48.0 mm: los márgenes posterolaterales de la cabeza son redondeados; espinas abdominales laterales presentes en los segmentos 4° y 5° o del 6° al 9°; prementón menos de 11/2 veces tan largo como ancho en la base (Roldán Pérez, 2012).



Figura 29. Haliplus.

Fuente: Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
http://www.parks.it/parco.fiume.sile/gallery_dettaglio.php?id=832

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Coleoptera
FAMILIA: Haliplidae
GÉNERO: Haliplus

Habitad:
Viven en aguas lénticas asociados a la vegetación y son de aguas moderadamente contaminadas y contaminadas.

Estructura:
Todos los segmentos abdominales presentan proyecciones o espinas laterales: el dorso del cuerpo puede tener espinas conspicuas o no tenerlas, el último segmento abdominal cuenta con espinas prominentes (Roldán Pérez, 2012).

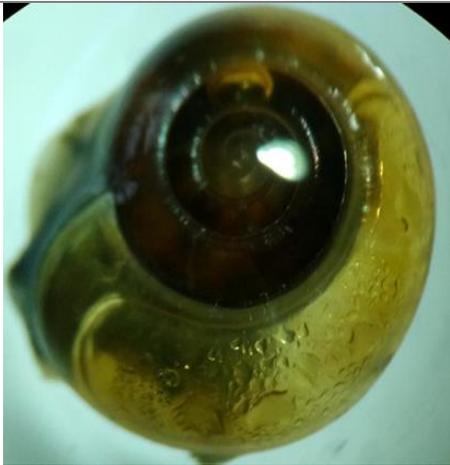


Figura 30. Heliosoma.

PHYLUM: Mollusca
CLASE: Gastropoda
ORDEN: Basmathphora
FAMILIA: Planorbiidae
GÉNERO: Heliosoma

Habitad:

Viven en aguas moderadamente contaminadas.

Estructura:

Concha discoidal tamaño mediano a grande (18.0 mm de largo) con cinco giros, redondeada a la derecha sudangulosa a la izquierda: las vueltas aumentan rápidamente del diámetro (Roldán Pérez, 2012).



Figura 31. Simullium.

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Diptera
FAMILIA: Simuliidae
GÉNERO: Simullium

Habitad:

Se encuentran fuertemente adheridos al sustrato en aguas en aguas poco contaminadas (Roldán Pérez, 2012).

Estructura:

Protórax con una propata ventralmente; cabeza con un par de abanicos plegables en el labium dorsolateralmente; segmentos abdominales 5 a 8 notoriamente ensanchados, segmento apical termina en un círculo radial de ganchos muy pequeños (Arango, 2005).



Figura 32. Tubifex.

Fuente: Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
<http://www.uniprot.org/taxonomy/6386>

PHYLUM: Annelida
CLASE: Oligochaeta
ORDEN: Haplotaxia
FAMILIA: tubificidae
GÉNERO: tubifex

Habitad:

En condiciones extremas de contaminación forman manchas rijas en el fondo de las orillas de los ríos (Roldán Pérez, 2012).

Estructura:

Poseen cuerpo delgado y color rojizo, son de tamaño pequeño o mediano en relación con otros grupos de oligoquetos; tienen quetas dorsales en el cuerpo desde el quinto segmento anterior, pueden tener una especie de probóscide en la cabeza, pero no poseen ojos. Su coloración se debe a la presencia de pigmentos respiratorios, lo que les permite vivir en condiciones de falta de oxígeno en sedimentos muy contaminados (Roldán Pérez, 2012).



Figura 33. Chironomus.

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Díptera
FAMILIA: Chironomidae
GÉNERO: Chironomus

Habitad:

Esta familia es una de las más habituales y abundantes en todo tipo de hábitats de agua dulce, capaz de adaptarse a ríos con diferentes tipos de perturbaciones, son abundantes en lugares con abundante materia orgánica en descomposición, algunos habitan en aguas muy contaminadas y otros en aguas limpias, genero con mayor rango de sensibilidad a diferencia de otros macro invertebrados (Fernández, 2012).

Estructura:

Protórax con dos propatas ventralmente; segmentos del cuerpo sin prominentes tubérculos dorsales ni setas (Arango, 2005).



PHYLUM: Annelida
CLASE: Hirudinea
ORDEN: Glossiphoniiformes
FAMILIA: Glossiphoniidae
GÉNERO: Dacnobjella



Habitad: se encuentran adheridos a sustrato, son de aguas lólicas, e indicadores de aguas muy contaminadas.

Estructura: Sanguijuelas pequeñas, 5.7-9.6 mm de largo por 2.7-4.9 mm de ancho. Los adultos presentan la superficie dorsal oscura con manchas blancas, de número y disposición muy variable. En la mayoría de los ejemplares la superficie ventral es blanca o marrón con pigmentos oscuros que no siguen ningún tipo de patrón (Oceguera Figueroa, 2007).



Figura 35. Aedes.

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Diptera
FAMILIA: Culicidae
GÉNERO: Aedes

Habitad:

Viven a aguas lólicas con abundante vegetación.

Estructura:

Segmentos torácicos fusionados y no diferenciados, formando un solo segmento más ancho que los segmentos abdominales; segmentos torácicos y abdominales con abanicos laterales de penachos con setas largas y/o segmento terminal con un abanico de setas anales (Arango, 2005).



Figura 36. Elodes.

Fuente:

Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
http://www.biopix.dk/lys-baekbille-elodes-minuta_photo-51971.aspx

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Coleoptera
FAMILIA: Scirtidae
GÉNERO: Elodes

Habitad:

Viven en aguas lénticas en medio de vegetación riverena y son propios de aguas poco contaminadas (Roldán Pérez, 2012).

Estructura:

Cuerpo generalmente blando; antenas mucho más largas que la cabeza, multisegmentadas (Arango, 2005).



Figura 37. Macrelmis.

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Coleoptera
FAMILIA: Elmidae
GÉNERO: Macrelmis

Habitad:

Viven en aguas lóxicas y ocasionalmente en aguas léxicas debajo de troncos y hojas en descomposición y son bioindicadores de aguas moderadamente contaminadas.

Estructura:

Miden de 3.0 y 8.5 mm; cuerpo aplanado y sin pelos; el pronoto termina con dos protuberancias como espinas (Roldán Pérez, 2012).



Figura 38. Hexatoma.

Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
<http://www.nwnature.net/macros/diptera.html>

PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Diptera
FAMILIA: Tipulidae
GÉNERO: Hexatoma

Habitad:

Viven en aguas lóxicas sobre fondos arenosos y materia orgánica en descomposición, por ende son bioindicadores de aguas muy contaminadas.

Estructura:

Miden entre 12.0 y 15.0 mm; el disco es paracalar se encuentra sobre una superficie muy abultada; lóbulos laterales son alargados y están traspasados por cerdas endurecidas (Roldán Pérez, 2012).



PHYLUM: Arthropoda
CLASE: Insecta
ORDEN: Odonata
FAMILIA: Coenagrionidae
GÉNERO: Argia

Habitad:

Viven en corrientes moderadas entre piedras y vegetación y son bioindicadores de aguas poco contaminadas.

Figura 39. Argia.

Recuperado el 10 de septiembre de 2016 de:
<http://www.troutnut.com/hatch/3814/Damselfly-Argia>

Estructura:

Miden entre 9.0 y 11.0 mm; presentan entre 0 y 4 setas palpales, prementon sin setas dorsales largas (Roldán Pérez, 2012).

13. GLOSARIO

Abdomen: tercera gran región del cuerpo de los insectos, compuesta generalmente por nueve a once segmentos y desprovisto de patas en el estado adulto.

Abdominal: relativo al abdomen.

Agalla: abultamiento anormal de un órgano o tejido vegetal causado por un estímulo externo.

Antena: cada uno de los dos apéndices sensoriales segmentados que se observan en la cabeza.

Apical: relativo o perteneciente al ápice. Se dice de la parte del órgano que está más alejada de la base.

Esclerito: nombre que se utiliza para designar las piezas duras diferenciadas en el cuerpo de los insectos.

Esclerotizado (a): que posee escleritos, láminas duras, quitinosas o calcáreas.

Labro-labrum: esclerito, normalmente móvil, que cubre las piezas bucales, se encuentra bajo el clipeo.

Mesonoto: parte media superior del tórax

Metanoto: parte posterior superior del tórax

Protórax: primer segmento del tórax portador del primer par de patas.

Pronoto: parte anterior superior del tórax.

Queta: en los anélidos son formaciones muy finas, a modo de pelo, que se proyectan al exterior del cuerpo

Segmento: (del latín *segmentum*, segmento) cada una de las partes que conforman los apéndices y regiones del cuerpo de los insectos: del tórax, abdomen, patas, antenas, etc.

Seta: macrotrico, cerda.

Tórax: segunda gran región del cuerpo de los insectos, portadora de los apéndices locomotores.