



**UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES
AUTONOMAS DE LA COSTA
CARIBE NICARAGUENSE
“URACCAN”**

MONOGRAFIA

**BIOMONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO DE LA
SUBCUENCA BRAKIRA EN EL PERIODO DE
DICIEMBRE – MARZO, 2010 - 2011**

**PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
AGROFORESTAL**

Autores

**Br. MICHAEL BLOOMFIELD PATTERSON
Br. REINA MULLER BARRETO**

TUTOR

M.Sc ABNER FIGUEROA

BILWI, ABRIL 2011.

**UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES
AUTONOMAS DE LA COSTA CARIBE
NICARAGUENSE
“URACCAN”**

MONOGRAFIA

**BIOMONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA
PARA CONSUMO HUMANO DE LA
SUBCUENCA BRAKIRA EN EL PERIODO DE
DICIEMBRE – MARZO, 2010 - 2011**

**PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
AGROFORESTAL**

Autores

**Br. MICHAEL BLOOMFIELD PATTERSON
Br. REINA MULLER BARRETO**

TUTOR

M.Sc ABNER FIGUEROA

BILWI, MARZO 2011.

MICHAEL SEAN BLOOMFIELD PATTERSON

AL PADRE TODOPODEROSO reconociendo que él es "Lámpara es a mis pies tu palabra, y lumbrera a mi camino" Salmo 119:105

A mí querida familia por el apoyo y comprensión brindado en todo momento en especial a mi esposa mis hij@s Marcos, Michael y Scarleth y a mi madre Erna, a mis hermanos Lillian y Gregory.

REYNA MULLER BARRETO

*A **Dios** que es la base de todo lo que existe, por haberme permitido llegar al final de mis estudios y permitir que mis sueños se hagan realidad, te doy gracias DIOS de todo corazón. A mi hijo **Ángel Lacayo Muller** que es mi motivo de ser y el que me motiva en los momentos más difíciles, y me da las fuerzas necesarias para seguir adelante. A mi madre Profesora **Epifania Barreto Medina**, por haber sido padre y madre y por el apoyo incondicional en todo momento, a mi esposo **Ángel Lacayo Manzanares** por el apoyo y comprensión en todo el proceso de mis estudios universitarios.*

AGRADECIMIENTO

MICHAEL BLOOMFIELD PATTERSON

A la universidad URACCAN por brindarme este espacio de superación y crecimiento profesional.

Al equipo del CISA BILWI en especial al Ing. Walter Castro, Giovanni Hislop por apoyarme en la recolección de la información de campo para el alcance de los objetivos de mi investigación.

Al M.Sc. Marcos Williamson por facilitarme información y datos complementarios para el alcance de los objetivos de mi investigación.

A los Maestros (as) Allan Taylor, Enrique Cordón, Abner Figueroa, Lic. Rosa Palacio por compartir sus conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

A los comunitarios por haber brindado la información necesaria para enriquecer mi investigación ya que sin la colaboración de ellos no hubiera alcanzado mis objetivos.

A mis compañeras y compañeros de estudio con quienes compartí muy buenos momentos,

REYNA MULLER BARRETO

A DIOS que es mi fortaleza en todo momento. A mi esposo Ángel Lacayo Manzanares por todo el apoyo brindado en el proceso de mis estudios. A mi madre, hermanos, y en especial a mi hermano **Dennis Muller Barreto** por haberme acompañado en los momentos difíciles y todos aquellos que me ayudaron en momentos que necesite.

A la universidad URACCAN por haberme brindado el espacio de estudio y permitir escalar un nivel más en mis estudios. A docentes de este recinto que con esfuerzo y dedicación han logrado transmitir sus conocimientos, para que crezcamos como profesionales, en especial al MSc. Enrique Cordón Suarez, Lic. Rosa Palacio por todo el apoyo brindado. Así también a nuestro Tutor M.Sc. Abner Figueroa por acompañarnos en este proceso de superación, A mi compañero de trabajo monográfico Michael Bloomfield, Patterson, a mis compañeros de trabajo MAGFOR-BONANZA por apoyarme en el momento que estuve fuera de la oficina.

Palabras clave: biomonitoreo, calidad de agua, bioindicadores, subcuenca macroinvertebrados, Índice BMWP,

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la subcuenca Brakira ubicada en la cuenca del Río Tuapí, Puerto Cabezas, RAAN, Nicaragua, en el periodo de Diciembre a Marzo del año 2010 - 2011. Este estudio se basa en evaluar la calidad de aguas superficiales de la subcuenca mediante uso de bioindicadores y análisis físicos químicos. Los objetivos que se persiguen con esta investigación, es para identificar las familias de macroinvertebrados presentes en la subcuenca, haciendo uso de la guía de identificación de macroinvertebrados utilizados en Costa Rica. Así también para describir las características físico – químicas del agua mediante análisis de laboratorio y por ultimo definir mediante el método BMWP la calidad de agua, la metodología consiste en cuatro fases, durante la **primera fase** se realizó la revisión y consulta bibliográfica para tener un mejor conocimiento sobre el tema, la **segunda fase** consiste en la compra de materiales y preparación de los equipos a utilizar durante la investigación, la **tercera fase** fue la del trabajo de campo para la recolección de datos y la realización de los análisis de muestra y la **cuarta y última fase** es la presentación de los resultados obtenidos en el estudio realizado; Una vez finalizado el estudio físico químico se encontró una ligera presencia de micro invertebrados definiendo de esta manera que el agua de consumo humano está ligeramente contaminada sin embargo esta contaminación se encuentra en los límites normales para el consumo humano, No obstante este estudio nos demuestra que si se le da continuidad puede ser de mucha utilidad para determinar la calidad de agua con un costo bien bajo y mucho más eficaz que el que se utiliza

en un análisis físico – químico que es muy costoso y demuestra la calidad de agua solo en momento que se hace el levantamiento.

INDICE

Páginas

• Portada.....	i
• Dedicatoria.....	ii
• Agradecimiento.....	iii
• Índice de contenido.....	iv
• Índice de tablas.....	v
• Resumen.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	5
GENERAL.....	5
ESPECIFICOS.....	5
III. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. Calidad del agua.....	7
3.2. Importancia de la calidad del agua.....	9
3.3. Monitoreo hidrobiológico.....	10
3.4. Ventajas del uso de macroinvertebrados.....	11
3.5. Principales Órdenes de Macroinvertebrados.....	13
3.6.1. Indicadores Físicos y Químicos del Agua.....	21
3.7. Índice BMWP- CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica).....	24
3.8. Validación de las tablas de tolerancia.....	27
3.9. Categorías BMWP (Biological Monitoring Working Party). 28	
IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
4.1 Descripción del área de estudio.....	29
4.2. Tipo de estudio.....	30
4.3. Métodos.....	31
4.3.1. Metodología del estudio.....	31
4.3.2. Fase 1: Diseño de la propuesta de sistema biológico....	31
4.3.3. Fase 2: Compra de materiales y equipos.....	32
4.3.4. Fase 3. Desarrollo de campo del sistema de Biomonitoreo.....	32
4.4. MUESTREOS.....	32
4.4.1. <i>Datos recolectados en muestreos:</i>	34
4.5. Procesos metodológicos.....	34
4.5.1. Tipos de colecta:.....	36

4.5.2. Actividades realizadas.....	36
4.5.3. Selección de sitio.....	39
4.5.4. Método de muestreo e identificación.....	39
Para esto se hicieron comparaciones de las muestras obtenidos de los dos métodos, para ver la equivalencia entre las dos metodologías por estación a fin de ir determinando el comportamiento de la calidad del agua.....	40
4.6. Desafíos y Limitaciones de la investigación.....	40
V. RESULTADO Y ANALISIS	41
5.1. Determinar Características Físico – Químico del Agua.	41
5.1.1. Resultados de Muestras de Agua del Laboratorio.	41
5.2. Parámetros Físicos Químicos	43
5.3. Identificar familias de macro invertebrados presentes en la subcuenca Brakira, utilizando la hoja de campo y la guía de identificación de macro-invertebrados más comunes utilizados en Costa Rica.....	46
5.4. Definir mediante el método BMWP la calidad del agua.	49
5.5. Comparar los dos métodos utilizados con la finalidad de ir creando pautas para un método propio aplicable en la Costa Caribe Nicaragüense.	51
VI. CONCLUSIONES.....	52
VII. RECOMENDACIONES	55
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	57
IX. ANEXOS.....	60

INDICE	Páginas
--------	---------

Lista de Tablas

Tabla N° 01: Norma de calidad de agua para consumo humano de Centroamérica.....	21
Tabla N° 02: Listado preliminar de familias de bioindicadores acuáticas de macroinvertebrados	26 - 27
Tabla N° 03: Interpretación de resultados del índice en ríos.....	28
Tabla N° 04: Resultados físico - químico por puntos de Muestreos.....	44 - 45
Tabla N° 05: Familias de macroinvertebrados encontrados en la sub cuenca Brakira.....	47
Tabla N° 06: Valores y puntajes obtenidos de macroinvertebrados encontrados en la subcuenca.....	49
Tabla N° 07: Significados de colores para representaciones cartográficas de la calidad	50

Listado de Figuras Mapas y gráficos

Figura N° 01: División de cuencas hidrográficas según la red de drena....	7
Mapa N° 01: Ubicación de la subcuenca Brakira.....	30
Mapa N° 02: Sitios muestreados	33
Gráfico 1. Cartografía de la calidad del agua de acuerdo al método BMWP.....	50

ACRÓNIMOS

BMWP – CR: (Biological Monitoring Working Party modification Para Costa Rica).

URACCAN: Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense.

CISA: Centro de información socio ambiental.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

OMS: Organización Mundial para la salud.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

OD: oxígeno disuelto

pH: El pH es una medida que indica la acidez del agua.

MINSA: Ministerio de Salud.

ENACAL: Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

GRAAN: Gobierno Regional Autónomo del Atlántico Norte.

CAPRE: (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panamá y república Dominicana), Norma Regional de Calidad de agua.

GLOSARIO

Agua inodora: Que no tiene olor, el agua pura es inodora.

Afluentes: Corriente de agua que no llega hasta el mar sino que desemboca en otra corriente de agua.

Biomonitoreo: Vigilancia continua de un afluente (o una dilución del mismo) usando organismos vivos, para corroborar la calidad de agua de un cuerpo.

Bioindicadores: Un bioindicador es un organismo vivo que puede ser desde un microbio, un insecto o un pez, hasta una planta o alga.

Bentónicos: Relativo al bentos o los fondos marinos animal o planta que vive en contacto o en dependencia directa con el fondo del mar ríos o lagos continentales.

Clase: Es un grupo taxonómico que comprende varias órdenes de plantas o animales con los mismos caracteres comunes.

Ceñir: representar, denotar, figurar, simbolizar, personificar, evidenciar, expresar, manifestar, sobresalir.

Ciénagas: Terreno cenagoso, lleno de barro o cieno.

Condiciones físicas: Es decir, que sea clara, transparente, inodora e insípida.

Condiciones químicas: que disuelva bien el jabón sin formar grumos, que cueza bien las legumbres.

Condiciones biológicas: que esté libre de organismos patógenos, con alto contenido de oxígeno y una temperatura que no debe sobrepasar más de 5°C a la del ambiente, pH no menor de seis ni mayor de ocho

Cosmopolitas: Que es común o propio en todo el mundo.

Difusa o no localizada: Que es poco claro, exacto o concreto no se determina el lugar en que se halla una persona, animal o cosa.

Dilución: Acción y efecto de diluir o diluirse.

Eutróficas: Dicho de un órgano o de un organismo, eutrofia que permite conseguir tal estado, Perteneciente o relativo a la eutrofia.

Estrés hídrico: Cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.).

Enfilado: Orientado, enfocado, encauzado, guiado, conducido, dirigido, alineado, encarrilado.

Efímera: Insecto efemeróptero (género *Ephemera*). Vive apenas un día, en la orilla del agua.

Eclosión: Aparición o salida, especialmente de un animal.

Especie: En Biología se denomina especie (del latín especies) a cada uno de los grupos en que se dividen los géneros. Es la unidad básica de la clasificación biológica y

se define a menudo como grupo de organismos capaces de entrecruzar y de producir a descendiente fértil.

Familia: Es una unidad sistemática y una categoría taxonómica situada entre el orden y el género.

Grumos: Conjunto de cosas apiñadas, especialmente de hojas, flores o frutos.

Género: Es una categoría taxonómica que se ubica entre la familia y la especie; así, un género es un grupo que reúne a varias especies emparentadas. Varios géneros pueden agruparse en Súper géneros; y también los individuos de un género pueden organizarse en Subgéneros.

Hemimetábolos: Insecto que presenta una metamorfosis sencilla. Sus larvas presentan morfología muy similar a la de los individuos adultos.

Instantánea: Que solamente dura un instante.

Infraorden: Grupo de animales que forma una categoría de clasificación entre el suborden y la familia.

Longevo: Que tiene mucha edad o ya es muy viejo. Que vive mucho tiempo

Macroinvertebrados acuáticos: Como su nombre lo indica, corresponden a todos aquellos organismos que carecen de vértebras y que viven en los sistemas acuáticos.

Monitoreo: Vigilancia continua de un afluyente.

Macroinvertebrados: Los macroinvertebrados son organismos que han sido utilizados con mayor frecuencia en los estudios con la contaminación de los ríos, como un indicador de las condiciones ecológicas o de la calidad de las agua.

Microorganismos Patógenos: Los microorganismos patógenos son organismos que no pueden ser observados si no es con la ayuda de un microscopio, y que causan enfermedades en los seres humanos.

Neotropical: Zona zoogeografía propia de América del Sur y Central y las Antillas.

Orden: Es la unidad sistemática entre la clase y la familia, en la clasificación por categorías taxonómicas.

Per cápita: De uso actual que significa literalmente *por cada cabeza* (está formada por la preposición *per* y el acusativo plural de *caput, capitís* 'cabeza').

Relativo: Que no es total ni absoluto y depende de una serie de factores, elementos o circunstancias

Resiliente: Indica la capacidad de estos de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, es decir, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado.

Retráctil: Que puede avanzar o adelantarse y, después, retraerse o esconderse.

Solución: Mezcla homogénea de sustancias separables por métodos físicos sencillos.

Suspensión: Mezcla formada por pequeñas partículas de una sustancia dispersa en un fluido en el que no se disuelven.

Secuelas: Consecuencia o resultado de un hecho, generalmente de carácter negativo.

Sedentaria: El sedentarismo es la forma más reciente de población humana en la cual una sociedad deja de ser nómada para establecerse de manera definitiva en una localidad determinada a la que considera como suya.

Sifones. Tubo que comunica la cavidad del manto de los moluscos con el exterior, así como otros tipos de conductos con ese aspecto en diversos animales.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Taxónomo: Persona especialmente versada en el conocimiento de la taxonomía y en sus usos y procedimientos.

Tenor: Por el mismo estilo. Según, conforme a.

Vuelco de efluentes: Cambio generalmente inesperado, líquido que procede de una planta industrial

I. INTRODUCCIÓN

Aunque la contaminación del agua es ante todo un problema biológico, muchos países han dependido esencialmente de parámetros físicos – químicos para la evaluación de su calidad en arroyos y ríos. Aún los laboratorios modernos cuentan con secuelas de determinación de la calidad de agua tan sensible, incluso es posible detectar trazas de venenos en cualquier muestra.

Así mismo, estos métodos involucran reactivos y equipos generalmente caros y sofisticados, además del tiempo requerido para su análisis.

Aunque el recurso hídrico sea constante, la calidad de la misma va disminuyendo rápidamente, como consecuencia de la contaminación de las fuentes de agua, lo cual genera el estrés hídrico. En la región Centroamericana, la magnitud del problema de la contaminación es alarmante ya que a estas alturas es imposible solucionar el problema mediante la dilución por efecto del aumento del caudal. (Ongley 1997).

En el mismo tenor de consideraciones, muchos autores indican que los análisis químicos solo son una “fotografía instantánea”, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución (disolución) de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos.

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años, muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de Biomonitorio basadas en

indicadores biológicos a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en las corrientes de agua.

Las metodologías de estudio y seguimiento de la calidad de agua en muchos países incluyendo Nicaragua están basadas casi exclusivamente en los parámetros físico – químicos. Para ello se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, que si bien, en principio son de gran precisión pero son testigos de las condiciones instantáneas de las aguas, y los efectos de los contaminantes se detectan si están dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad de recuperación y amortiguación de los ecosistemas acuáticos

Como respuesta a lo anterior varios países latinoamericanos han generado conocimientos sobre el desarrollo de técnicas de biomonitoreo que están basados en indicadores biológicos. Esta técnica se puede sintetizar en que es un método que comprende la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos.

En el presente trabajo se desarrolla una evaluación de la calidad del agua de la subcuenca **Brakira**, mediante la presencia e identificación de macroinvertebrados.

Esta subcuenca se encuentra ubicada en el territorio de la comunidad indígena miskitu de Tuapí, en el municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma Atlántico Norte.

El estudio de la calidad de agua de esta subcuenca es de gran relevancia para la población urbana y rural de la ciudad de Bilwi, debido a que es el reservorio de agua de consumo humano que se encuentra ahí.

Una de las alternativas actuales empleadas para realizar estas evaluaciones de la calidad de agua en diferentes afluentes, es el biomonitoreo basado en indicadores biológicos. Se utilizan evaluaciones de índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos.

El paso del huracán Félix afectó la vegetación riverense, se aumentó el nivel de salinidad y sedimentos, complementado con las actividades antrópicas locales tales como: basureros clandestinos, quema de pasturas naturales, los cuales, han afectado la calidad del agua de la subcuenca Brakira.

Los métodos variables para evaluar la calidad de agua a través de la presencia de organismos vivos se han empleado desde años atrás, los cuales han sido muy efectivos. En la mayoría de los casos se constituyeron en métodos físico - químicos, ya que era difícil la identificación biológica por la falta de información referente a organismos, ya que estos pertenecían a otras latitudes (Toro, J. *et. al.* 2003).

A diferencia de la evaluación físico – química presenta una serie de ventajas dentro de las que se pueden señalar; reflejan condiciones puntuales, en que han sido tomadas las muestras de agua, los organismos informan tanto la situación presente como pasada del afluente, además es un método económico (Charpentier y Ávila, 2005).

Existen muchos indicadores biológicos que pertenecen a diferentes grupos de organismos y que se utilizan para detectar ambientes contaminados. Estos son organismos fieles al sustrato con el que se relacionan, ya sean rocas, sedimentos, palos, hojas. Entre ellos están las libélulas, caracoles y tábanos, entre otros (Charpentier y Ávila, 2005).

Dentro de este grupo, los insectos bentónicos son los más usados como indicadores de la calidad de los ríos.

Otros insectos bentónicos como mosquitos (quironómidos) y mosquitos en general (dípteros), son abundantes en aguas contaminadas con materia orgánica (Toro, J. *et. al.* 2003).

II. OBJETIVOS

GENERAL

- Evaluar la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira, para ir dando pautas a la creación de un método aplicable en la RAAN mediante el análisis físico químico y la utilización de bioindicadores mediante el método *Biological Monitoring Working Party* (**BMWP**)

ESPECIFICOS

- Determinar características físico – químico del agua con el fin de ver la calidad de agua de la subcuenca.
- Identificar familias de macro invertebrados presentes en la subcuenca Brakira, utilizando la hoja de campo y la guía de identificación de macroinvertebrados más comunes utilizados en Costa Rica.
- Definir mediante el método *Biological Monitoring Working Party* (**BMWP**) la calidad del agua.
- Comparar los dos métodos utilizados con la finalidad de ir creando pautas para un método propio aplicable en la Costa Caribe Nicaragüense.

III. MARCO TEÓRICO

Cuencas: Se llama así a una depresión en la superficie de la tierra, un valle rodeado de alturas; mientras que el término *cuenca hidrográfica* tiene un sentido más amplio, siendo una parte de la superficie terrestre cuyas aguas fluyen hacia un mismo río o lago y define unidades menores como subcuencas, microcuencas y quebradas. (Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a).

Subcuenca: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden conformar una cuenca; Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a).

Microcuenca: Se refiere a toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca, por tanto, varias microcuencas pueden conformar una subcuenca. (Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a).

Quebradas: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden conformar una microcuenca. A veces estos cursos de agua se interceptan directamente a los grandes ríos y cuerpos de agua. (Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a)

A continuación se esquematiza la división de cuencas hidrográficas, según la red de drenaje predominante

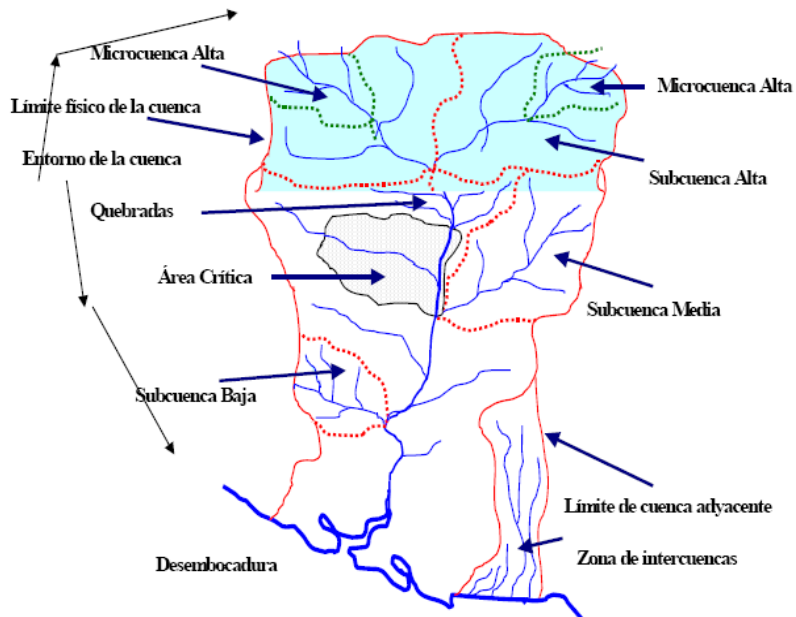


Figura 1. división de cuencas hidrográficas según la red de drenaje
Fuente: Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a)

3.1. Calidad del agua

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de la misma, sin embargo, se le ha brindado menos atención.

El término calidad de agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la actividad humana, se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria.

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta

calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza 1976).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud. (FAO 1993).

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano que originan una serie de desechos que son vertidos a las aguas para su eliminación. (Sáenz 1999)

La contaminación causada por afluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufren escasez severa de agua limpia, lo que provoca que haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica. (OPS 1999)

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad, entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, presión sobre el uso inadecuado, mal uso de la tierra, la contaminación del

recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento, principalmente en las zonas rurales. De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública. (OMS 1999)

3.2. Importancia de la calidad del agua

Cada vez la disponibilidad de agua para consumo humano es menor debido al crecimiento poblacional, incremento en el consumo per cápita, contaminación de las fuentes de agua en general y al manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas. (Randulovich 1997)

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano y la higiene personal, es decir, debe ceñirse a normas adecuadas en cuanto a disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento.

Dado que el agua es un líquido vital para los seres vivos, debe poseer un alto grado de potabilidad que puede resumirse en:

- **Condiciones físicas.**
- **Condiciones químicas.**
- **Condiciones biológicas.**

El peligro de que ciertos elementos solubles se incorporen al agua, es aún más peligroso, si estos elementos están en contacto directo con estas fuentes de agua, lo cuales provocarán enfermedades en la salud pública.

Lo anterior tiene una estrecha relación con la escorrentía superficial, una forma de contaminación difusa o no

localizada. La contaminación por fuentes no localizadas contribuye significativamente con niveles altos de agentes patógenos en las fuentes de aguas superficiales, especialmente por coliformes fecales de origen humano y animal. En este sentido, un suministro seguro de agua para uso potable en cantidad, calidad y continuidad, contribuye a la reducción de la probabilidad de enfermedades transmitidas por la vía fecal y oral (OPS 1999).

3.3. Monitoreo hidrobiológico

Los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas.

La literatura revela que de los organismos acuáticos, los macro invertebrados y micro algas son los dos grupos que a menudo se recomienda usar en evaluaciones de la calidad del agua. Está demostrado que estos se pueden utilizar de manera eficaz en la detección de puntos de alteración y para la cartografía de la calidad de agua.

Para entender la temática de bioindicadores de la calidad de agua, se hace necesaria la presentación de conceptos generales tales como:

- **Biomonitoreo:** Consiste en la vigilancia continua de un afluente (o una dilución del mismo) usando organismos vivos, para corroborar la calidad de agua de un cuerpo. Así también, la técnica ecológica que sustenta el desarrollo de criterios biológicos que permitan estimar el efecto de las intervenciones humanas en los sistemas acuáticos

por medio de la medición de la diversidad y presencia o ausencia de organismos específicos, permitiendo conocer y proteger estos ecosistemas y estudiar sus cambios en el tiempo. (Roldán 1978)

- **Bioindicadores:** Un bioindicador es un organismo vivo que puede ser desde un microbio, un insecto o un pez, hasta una planta o alga, que nos permite cuantificar y cualificar el nivel y evolución de la contaminación presente en un sistema acuático determinado en virtud de su sensibilidad diferencial a diversas sustancias tóxicas. (Raz - Guzmán, 2000)

3.4. Ventajas del uso de macroinvertebrados

El empleo de macroinvertebrados acuáticos presenta ventajas evidentes:

- ❖ Son de un costo inferior que los que se presentan en un análisis físico – químico.
- ❖ Se logra una mayor rapidez en su aplicación.
- ❖ Poseen una alta fidelidad; mientras que los métodos físicos – químicos solo reflejan lo que ocurre en el momento de la medición. Los biológicos muestran o reflejan las condiciones existentes desde tiempos atrás, debido a la alta biodiversidad de especies en la comunidad y los complejos ciclos de vida que a su vez ofrecen un amplio rango de tolerancia ante las perturbaciones que actúan en los ecosistemas de agua dulce.
- ❖ Cuando se utilizan métodos biológicos a nivel taxonómico de familia no se requiere de gran

especialización para determinar e identificar los organismos recolectados.

- ❖ El material vivo presenta un tamaño relativamente grande, la cual es visible a simple vista y de fácil muestreo.
- ❖ Los macroinvertebrados, se encuentran en todos los sistemas acuáticos lo cual favorece estudios comparativos.
- ❖ La gran mayoría de las especies son de naturaleza sedentaria por lo que están directamente afectadas de las sustancias que son vertidas en el agua. (Figuerola et al., 2003).

Al final no se trata de sustituir el método de análisis físico químico, sino buscar opciones más favorables en cuanto al costo operativo en el desarrollo de un sistema de monitoreo en la subcuenca mencionada y que puedan ser sostenible con bajos costos operativos.

Las ventajas de este índice, consiste en que para su utilización sólo se necesita conocer a nivel de familia cada uno de los grupos presentes en el sistema acuático, lo que soluciona en gran medida uno de los problemas de nuestra región concerniente a la falta de especialistas, taxónomos de los estados inmaduros de insectos acuáticos. Para eso se utilizara libreta de Campo para la Identificación de los Macroinvertebrados.

3.5. Principales Órdenes de Macroinvertebrados

Cuando se habla de características ideales de un bioindicador, se observa que solo unos pocos organismos podrían estrictamente satisfacer estos requerimientos.

Para definir un bioindicador de calidad de agua, primero debe conocerse la flora y la fauna acuáticas de la región de estudio. Así, para regiones de zonas templadas como Europa y Estados Unidos, ya existen organismos plenamente identificados hasta el nivel de especie, con su valor y peso indicativo. Sin embargo, para los países tropicales, se tiene un conocimiento aún deficiente hasta el nivel de familias y de géneros, y poco o nada en cuanto a las especies.

Rodríguez 1999) considera los Macroinvertebrados acuáticos como los mejores bioindicadores de la calidad del agua. Les siguen, en su orden, las algas, los protozoos, las bacterias y en menor grado los peces, las macrofitas, los hongos y los virus.

Ephemeropteros: El conocimiento de los ephemeropteros en el Neotrópico aún es escaso e incompleto. A pesar de que se conocen estudios desde finales del siglo pasado, no puede hablarse de que exista un estudio sistemático de este grupo en América.

Biología: Los Ephemeropteros reciben este nombre debido a su vida corta o "efímera" que llevan como adultos. Algunos pueden vivir en este estado sólo cinco minutos, pero la mayoría vive de tres o cuatro días; durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen.

Los huevos los depositan generalmente en la superficie del agua y poseen estructuras que les permite fijarse al sustrato. La respiración la realizan a través de agallas,

generalmente abdominales, las cuales varían en forma y número de acuerdo con la especie.

Hábitats: Los ephemeropteros viven por lo regular en agua corrientes, limpias y bien oxigenadas; solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación.

En general, se **consideran indicadores de buena calidad del agua**. Sus ninfas se encuentran normalmente adheridas a rocas, troncos, hojas, o vegetación sumergida; algunas pocas especies se encuentran enterradas en los fondos lodosos o arenosos. Las ninfas son prácticamente herbívoras y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas. A su vez, las ninfas de los Ephemeropteros constituyen una parte importante en la dieta alimenticia de los peces, especialmente la trucha (salmón) y la sabaleta

Distribución geográfica: Los Ephemeropteros son prácticamente cosmopolitas, estando ausentes sólo en Nueva Zelanda y algunas pequeñas islas. Sólo la familia Euthyplociidae es típicamente neotropical.

Taxonomía: La conformación del aparato bucal, el número, la forma y disposición de las agallas y de los filamentos caudales, son, entre otras, características útiles en la clasificación de las ninfas de los Ephemeropteros.

Odonata: Los odonatos, llamados también libélulas o caballitos del diablo, son insectos hemimetábolos, cuyo período larval es acuático, empleando desde dos meses hasta tres años en su desarrollo hasta adulto, de acuerdo con el tipo de especie y el clima. En su estado adulto, viven desde pocos días hasta tres meses.

Biología: Los odonatos han sobrevivido unos 200 millones de años sin ningún cambio apreciable. La mayoría de los odonatos ponen sus huevos sobre la vegetación flotante o emergente. La eclosión de los huevos se realiza entre los 5 y 40 días después de la postura. Las larvas son generalmente depredadoras, para lo cual juega un papel muy importante su aguda visión. El intercambio gaseoso se realiza a través de la piel y agallas anales.

Hábitats: Los odonatos viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas; por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas. Un gran número de especies de este orden presenta larvas 3000m de altura y sobre el nivel del mar.

Taxonomía: Están los subórdenes Zygoptera y Anisoptera, extendida a lo largo del territorio Antioqueño según estudios recientes. La familia Libellulidae es la más ampliamente representada. Los géneros más comunes en nuestro medio son: Erythemis, Erytodioplax, Brechmorhoga, Sympetrum, Orthemis, Pantala, y Tramea.

Plecóptera: Los plecópteros suramericanos constituyen un grupo pequeño y poco conocido. Hasta ahora sólo se conocen dos familias Gripopteridae, de origen sureño y Perlidae (subfamilia Acroneuriinae) de origen norteño. (Roldán 1978)

Biología: Las ninfas de los plecópteros se caracterizan por tener dos cerci, largas antenas, agallas torácicas en posición ventral, y a veces agallas anales. Su tamaño varía entre los 10 y 30 mm y su coloración puede ser amarillo pálido, parduzco hasta café oscuro o negro. La

respiración la realiza por medio de las agallas y a través de la superficie corporal. Los huevos los ponen sobre el agua durante el vuelo. La eclosión de los huevos y de la emergencia de las ninfas de los trópicos no se conoce, es posible que se haga a lo largo del año, alternando los períodos de lluvia y sequía.

Hábitats: Las ninfas de los plecópteros viven en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. En Antioquia se ha observado que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2.000mts de altura. Son por lo tanto, ***indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas.***

Distribución geográfica: Los plecópteros son prácticamente cosmopolitas. En el trópico norte la familia predominante es Perlidae. Sobre este grupo aún no existen estudios para Colombia.

Taxonomía: Para su clasificación se tiene en cuenta la distribución y la forma de las agallas, la presencia de almohadillas halares y la posición de los ojos compuestos.

Neuróptera (Megaloptera): En el presente estudio sólo se considera el suborden Megaloptera, por ser el único que se ha encontrado en nuestro medio.

Hábitats: Viven en aguas corrientes limpias, debajo de piedras, troncos y vegetación sumergida; son grandes depredadores. En general, se pueden considerar indicadores de aguas oligotróficas o levemente mesotróficas.

Biología: El tamaño de los individuos de la familia Corydalidae varía entre los 10 y 70 mm; son tal vez uno

de los insectos más grandes y llamativos que se encuentran en el agua. Su coloración es por lo regular oscura. Se caracterizan por poseer un par de mandíbulas fuertes y grandes y por tener un par de propatas anales, lo que los diferencia de la otra familia (Sialidae), la cual posee un solo filamento terminal, los huevos son puestos sobre la vegetación semiacuática. En zonas templadas su desarrollo completo toma hasta dos o tres años, pero en el trópico aún no se conoce nada al respecto.

Distribución geográfica: Los megalópteros están ampliamente distribuidos en toda América, pero los reportes son aún tan escasos que no se puede decir con certeza cuál es su real distribución.

Hemíptera: Se conocen cerca de 400 especies del infraorden nepomorpha (verdaderamente acuáticos) y alrededor de 315 del infraorden Gerromorpha (subacuáticos) en el trópico americano.

Biología: Los hemípteros, llamados también "chinchas de agua", se caracterizan por poseer las partes bucales modificadas y tener un "pico" chupador insertado cerca al extremo anterior de la cabeza. Las alas anteriores (hemiélitros) son de consistencia dura en su posición basal; en cambio, las alas posteriores son totalmente membranosas. Dentro del grupo existe polimorfismo alar en la mayoría de las familias; es frecuente encontrar dentro de una misma especie individuos macrópteros, branquípteros y ápteros.

Los hemípteros son hemimetábolos, es decir, su metamorfosis es simple y gradual. La postura de los huevos se realiza sobre el sustrato, sobre el suelo, plantas y aún sobre el dorso de los machos, como es el caso de Belostoma. La respiración no es exclusivamente

acuática, por lo tanto, disponen de variadas adaptaciones para tornar el oxígeno del aire, como tubos anales, canales abdominales y reservorios dorsales donde están localizados los espiráculos, entre otros.

Hábitats: Los hemípteros viven en remansos de ríos y quebradas: poco resisten las corrientes rápidas. Son frecuentes también en lagos, ciénagas y pantanos. Algunas especies resisten cierto grado de salinidad y las temperaturas de las aguas termales. Los hemípteros son depredadores de insectos acuáticos y terrestres; las especies más grandes pueden alimentarse de peces pequeños y crustáceos.

Distribución geográfica: Los hemípteros son cosmopolitas, conociéndose cerca de 3000 especies alrededor del mundo, de estas, cerca de 700 se han reportado en el trópico.

Coleóptera: El orden coleóptera es uno de los más extensos y complejos. Debido a que muchos de ellos son semiacuáticos, a veces es difícil definirlos como acuáticos o terrestre; aún más, algunas formas terrestres pueden caer accidentalmente al agua, lo hace más difícil su clasificación, para quienes no son expertos.

El conocimiento de los coleópteros acuáticos del trópico es aún incipiente y las claves son, en su mayoría antiguas y poco ilustradas.

Trichoptera: Los tricópteros son insectos que se caracterizan por hacer casa o refugios que construyen en un estado larval, los cuales sirven a menudo para su identificación.

Biología: Los tricópteros son insectos holometábolos cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat. La mayoría de los tricópteros requieren uno o dos años para su desarrollo, a través de los cuales pasan por cinco a siete estadios. La etapa pupal dura de dos a tres semanas, al cabo de las cuales sale el adulto. Los adultos son muy activos en las primeras horas de la noche. Las hembras depositan el huevo en el agua y los encierran por lo regular en una masa gelatinosa.

Una de las características más llamativas de los tricópteros es su capacidad de construir casas o refugios, de formas variadas, a menudo, propios de cada especie. Los refugios fijos al sustrato les sirven por lo regular de protección y captura de alimento. Las casas portables les sirven de protección y de movimiento en busca de oxígeno y alimento. Las larvas se alimentan de material vegetal y algas que encuentran sobre las rocas. Algunas larvas son depredadoras.

Hábitats: La mayoría de los tricópteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas debajo de piedras, troncos y material vegetal, algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas.

Distribución geográfica: Los tricópteros son cosmopolitas, pero para el neotrópico se han descrito familias, géneros y especies propias de la región.

Taxonomía: En la clasificación de los tricópteros se tiene en cuenta la presencia o no de placas esclerotizadas en los segmentos torácicos; la presencia o ausencia de agallas branquiales en el abdomen; si el labrum es membranoso o no y el número de setas a lo largo de la parte central, longitud de la antena, entre otros. También

la forma y el tipo de material de las casas o refugios es una característica de valor taxonómico a nivel de familia principalmente.

Díptera: Los dípteros acuáticos constituyen un de los órdenes de insectos más complejos, más abundantes y más ampliamente distribuidos en todo el mundo. Su literatura a nivel mundial es tan abundante, que para analizarla con cierto grado de detalle, habría que hacerlo por familias, y en ciertos casos por géneros

Biología: El orden díptero se considera uno de los principales grupos.

Características morfológicas: Las larvas de dípteros no poseen patas torácicas. El cuerpo está formado por tres segmentos torácicos y nueve abdominales, es blando y cubierto de cerdas, espinosas apicales o corona de ganchos en prolongaciones que ayudan a la locomoción o adhesión al sustrato. La coloración es amarillenta, blanca o negra. Respiran a través de cutícula o mediante sifones aéreos; algunos poseen agallas traqueales y otros pigmentos respiratorios (hemoglobina) para sobrevivir en zonas escasas de oxígeno.

Hábitats: Su hábitat es muy variado; se encuentran en ríos, arroyos, quebradas, lagos, en todas las profundidades, depósitos de agua en las brácteas de muchas plantas y en orificios de troncos viejos, y aún en las costas marinas. Existen representantes de aguas muy limpias como la familia Simuliidae o contaminadas como la familia Tipulidae y chironomidae. En cuanto su alimentación es muy variada.

Distribución geográfica: Los dípteros son cosmopolitas.

Taxonomía: Para su clasificación se tiene en cuenta la esclerotización de la cabeza si esta es o no retráctil, si las mandíbulas funcionan en un plano horizontal o vertical; si la cabeza está o no fusionada con el tórax, o si el cuerpo es aplanado o cilíndrico, entre otras.

3.6. Criterios de Calidad de Agua

3.6.1. Indicadores Físicos y Químicos del Agua

Los parámetros de calidad de agua se diferencian según sus orígenes biológicos, químicos y físicos; por causas principalmente de carácter antropocéntricos como el caso del uso de la tierra. Entre ellos se mencionan el pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad, Sólidos disueltos totales, temperatura, salinidad como se muestran en la tabla 1.

Tabla. 1 Norma de calidad de agua para consumo humano de Centroamérica

No.	Parámetros y unidad	Valor Recomendable	Valor máximo admisible
1	Salinidad	0,05%	0,5%
2	pH	6,5 -8,5	≤ 8,5
3	Conductividad	>300	500
4	Turbidez UNT	≤ 1	≤ 3
5	Temperatura °C	18 – 30	≤ 30
6	Sólidos disueltos totales mg/l	≤ 300	≤ 1000
7	Oxígeno Disuelto (OD) mg/l	≥ 5	≤ 4

Fuente CAPRE (1994)

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua, ya que está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa

con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

pH o concentraciones de iones hidrógeno: Se refiere a la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos.

Asimismo, mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua. La medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales.

Turbidez: Es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión en tal medida que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna de agua y viceversa. Esto relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, y períodos de muestreos, entre otros.

Sólidos totales disueltos: Consisten en una medida de las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos; también se define como la cantidad de residuos remanentes después que la evaporación del agua ocurre. Es común observarlos en

terrenos agrícolas que han sufrido procesos fuertes de escorrentía.

Conductividad: La conductividad eléctrica en las aguas naturales se puede correlacionar con la cantidad de sólidos disueltos, ya que estos son en su mayoría compuestos iónicos de calcio y magnesio. La presencia de altas concentraciones de estas sales afecta la vida acuática y en el caso del riego afecta a la vida de la planta y a la calidad de los suelos.

Salinidad: Es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio. El contenido de sal en agua potable es, por definición, menor a 0,05%. Si no, el agua es señalada como salobre, o definida como salina si contiene de 3 a 5% de sal en volumen.

Temperatura: La temperatura es considerada como un requisito para el pH y la conductividad. Es una medición importante para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos, debido a que influye con las tasas de actividad química y biológica. Además, afecta la tasa de transferencia de oxígeno y por consiguiente el valor del oxígeno saturado, ya que al incrementar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye.

También, el aumento de la temperatura puede producir malos olores debido a un aumento en la transferencia de gases, aumentando así la reproducción de ciertas especies vegetales y animales y acelerando los procesos metabólicos que pueden llegar a cambiar las especies de un río.

3.7 Índice BMWP- CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica)

EL BMWP – CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar 200 puntos. Se establecen 6 clases de calidad para el agua (las dos primeras clases pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

Muchos organismos que habitan en los diferentes caudales hídricos de la Región de América Central, pueden desarrollarse bien en aguas de calidad muy diversa, pero otros están estrechamente unidos a unas condiciones ambientales muy específicas, para lo cual pueden convertirse como elementos informantes acerca de las condiciones y característica del sistema en el que se encuentra para determinar el grado de aceptación, para que el agua sea considerada apta para su consumo en sus múltiples usos.

Desde este enfoque, el ejercicio de identificación de macroinvertebrados acuático, apoyado del método BMWP, (Biological Monitoring Working Party) condujeron verdaderamente a ser una herramienta de apoyo para concluir de cuál es el grado de contaminación que presenta el agua.

En Nicaragua existe poca información respecto a los organismos acuáticos utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. En contraste a lo que ha estado ocurriendo en otros países del Caribe y el sur del istmo Centro Americano.

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de los ecosistemas acuáticos continentales nicaragüense parece que han sido abordadas recién en las últimas décadas (Stefano Fenoglio¹, Guido Badino² and Francesca Bona² 2002, S. Fenoglio¹, T. and M. Cucco¹ 2004, Por Stefano Fenoglio, y Angelo MORISI 1988).

Es por ello que la siguiente propuesta de sistema de monitoreo está enfocado a determinar las familias bioindicadores de la calidad de agua de los ríos de la Región Autónoma Atlántico Norte con énfasis en la subcuenca Brakira y sus valores de tolerancia aplicando el índice **BMWP (Biological Monitoring Working Party)**, desarrollado en Gran Bretaña y adaptado al vecino país de Costa Rica como método principal.

Tabla 2. Listado preliminar de familias de bioindicadores acuáticas de macroinvertebrados.

Puntuación	Familia Indicadoras
10	Polythoridae
	Blephariceridae; Athericidae
	Heptageniidae
	Perlidae
	Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae;
	Ecnomidae
8	Leptophlebiidae
	Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae
	Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae
	Glossosomatidae, Guerridae
	Blaberidae
7	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae
	Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae;
	Protoneuridae;
	Platystictidae
	Philopotamidae
6	Libellulidae
	Corydalidae
	Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
	Euthyplociidae; Isonychidae
5	Pyralidae
	Hydropsychidae; Helicopsychidae
	Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae
	Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae
4	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae;
	Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae
	Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae;
	Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae;
	Stratiomyidae; Tabanidae
	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Nepidae;
	Notonectidae
	Calopterygidae; Coenagrionidae
	Caenidae
3	Hydrophilidae

	Psychodidae; Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae;
	Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae;
	Sphaeriidae; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae;
	Asellidae
2	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	Syrphidae; Oligochaeta (todas las clases)

El método se basa en el principio de que diferentes organismos acuáticos invertebrados tienen diferente tolerancia a los contaminantes. La presencia de las efímeras o moscas de piedra, por ejemplo, indican los cursos de agua más limpia y se les da una puntuación de tolerancia de 10. La menor puntuación en invertebrados son los gusanos (*Oligochaeta*) que marca un puntaje de 1. El número de macroinvertebrados diferentes es también un factor importante, porque una mejor calidad del agua se supone que es resultado de una mayor diversidad.

3.8. Validación de las tablas de tolerancia

El método de evaluación a emplear fundamentalmente será el del Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) es una técnica que permite determinar la calidad del agua según las familias de macroinvertebrados que se encuentren en el área muestreada, ya que cada una presenta diferentes rangos de tolerancia a la contaminación de su hábitat.

El método consiste en asignar un puntaje que indica el nivel de tolerancia a la contaminación, mientras más alto sea, la tolerancia es mucho menor; la suma de esta puntuación permite determinar las aguas en diferentes categorías.

En nuestro caso se asigna un número del 1 al 10 a las familias de organismos indicadores de calidad de aguas en donde: valor 1 para familias indicadores de mala

calidad de aguas y 10 para indicadores de excelente calidad de agua ver tabla. 3

3.9. Categorías BMWP (Biological Monitoring Working Party).

Aguas muy limpias a limpias (101-120) (>150)

Aguas ligeramente contaminada (61-100)

Aguas moderadamente contaminadas (36-60)

Aguas muy contaminadas (16-35)

Aguas fuertemente contaminadas (<15)

CLASES DE CALIDAD DE AGUA, VALORES BMWP/CR, SIGNIFICADO Y COLORES PARA REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS

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

Tabla 3. Interpretación de resultados del índice en ríos

Es pertinente mencionar que este monitoreo no permite determinar la presencia o no de coliformes, sin embargo, muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad, por lo que, la contaminación por excretas humanas no es una excepción y representa un serio riesgo a la salud pública, debido a situaciones como esta se recomienda en algunos casos clorar o hervir el agua que se consume para evitar consumirla infestada por excretas humanas si este fuera el caso.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

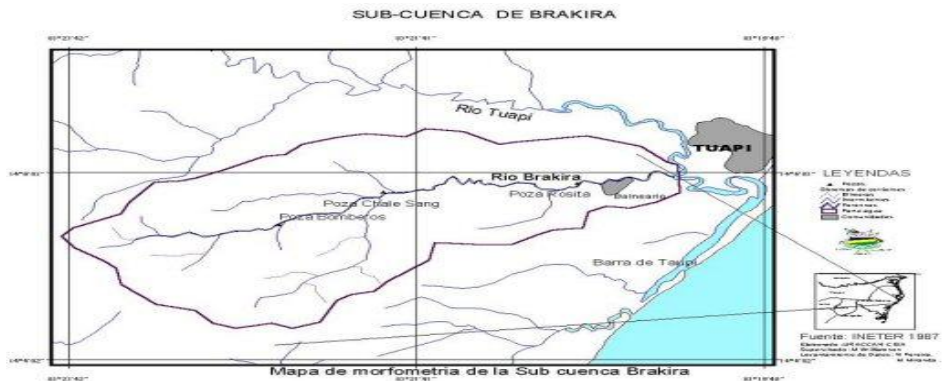
4.1 Descripción del área de estudio

- **Localización**

La sub cuenca Brakira está ubicada al norte de la ciudad de Bilwi, se localiza en el territorio de la comunidad indígena de Tuapí, del municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua. Se extiende de Oeste a Este, desembocan sus aguas en la cuenca mayor del río Tuapí, que a su vez vierte sus aguas al mar Caribe. Tiene una extensión aproximada de 14,38 km² (16,9 km de perímetro). Geográficamente se localiza entre las coordenadas 14° 03' 32'' latitud Norte, 83° 20' 20'' longitud Oeste y 14° 05' 42'', latitud Norte, 83° 23' 40'' longitud Oeste. Además, está ubicada en la franja de 20 km de la Reserva Biológica de los Cayos Miskitu.

Su importancia socioeconómica reside en que se constituyó en la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano de la población de la ciudad de Bilwi, actualmente abastece cerca de 10614 familias¹ de las cuales 2400 familias (23%) son usuarios directos del servicio de la Empresa Nacional de Acueducto y Alcantarillado (ENACAL), el restante 8214 (77%) son usuarios no directos, debido a que obtienen el vital liquido de diferentes fuentes: 1) acudiendo a los vecinos que cuentan con el servicio; 2) captando el agua de lluvia; 3) comprando de las cisternas (pipas) privadas; y en última instancia 4) acuden a la estación de bombero (ENACAL 2008).

¹ En la ciudad de Bilwi el promedio de individuos por familias corresponde a 5,4; resultando 57315,6 habitantes en las 10614 familias registradas (ENACAL 2008).



Mapa. 1 Ubicación de la subcuenca Brakira.

4.2. Tipo de estudio

El trabajo investigativo fue asentada bajo una metodología de enfoque cuanti – cualitativa y de corte transversal, debido a las siguientes características: se recogen y analizan datos sobre variables ya establecidas, se limita a responder y a crear nuevas inquietudes o preguntas para nuevas investigaciones sobre la calidad del agua del río Brakira, la recolección de la información de campo fue obtenida a partir de observaciones in situ y el levantamientos de datos.

El proceso de recolección de información se hizo mediante visitas al campo para la aplicación de observaciones directas levantamientos de muestras para su análisis.

Este estudio se enmarcó en la descripción y análisis comparativos de diferentes métodos ya utilizados como análisis físico – químicos y el método BMWP para establecer pautas con las cuales se puedan determinar un método para la calidad de agua en la región de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.3. Métodos

4.3.1. Metodología del estudio

El monitoreo se realizó en un periodo de 4 meses Diciembre a Marzo 2010 – 2011 y se dividió en 4 fases. También estaba previsto realizarlo en las dos épocas climáticas definidas en la zona (época lluviosa y seca), pero debido al factor tiempo y al cambio climático no se definió con claridad la estación lluviosa y seca por motivo de variación en las mismas.

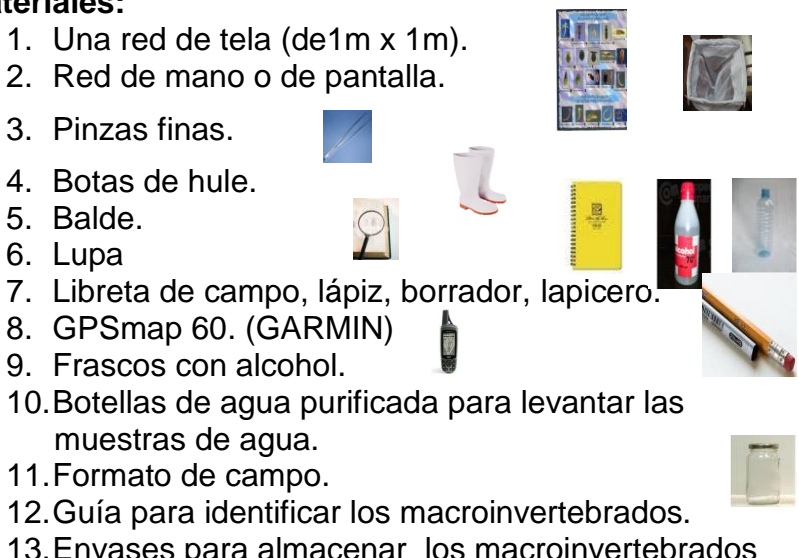










4.3.2. Fase 1: Diseño de la propuesta de sistema biológico

En la primera fase se hizo investigaciones de experiencias similares, encontrándose unos estudios realizados en Siuna, en rio San Juan, pero se encontró muy poca información Bibliográfica acerca de estos estudios, se recopiló la información existente (bibliografías), el diseño de los formatos, la selección tentativa de los sitios de muestreos, la realización de una fase de prueba de campo, esto para llegar a tener la claridad de un presupuesto que se requería para la investigación análisis, además se elaboró la base de datos cartográfica digital en la que descansa el sistema para el procesamiento cartográfico.

4.3.3. Fase 2: Compra de materiales y equipos

En esta fase se adquirió los materiales y equipos que se utilizaron para llevar a cabo la investigación, los materiales fueron los siguientes:

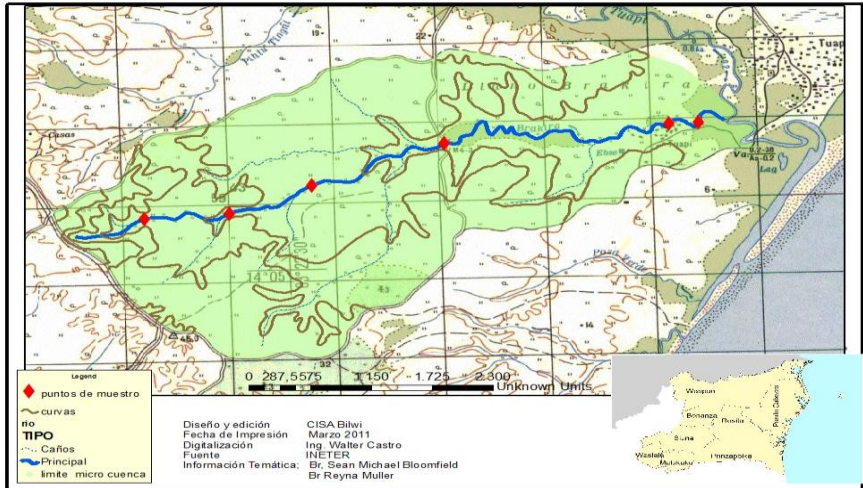
Materiales:

1. Una red de tela (de 1m x 1m). 
2. Red de mano o de pantalla.
3. Pinzas finas. 
4. Botas de hule. 
5. Balde. 
6. Lupa. 
7. Libreta de campo, lápiz, borrador, lapicero. 
8. GPSmap 60. (GARMIN) 
9. Frascos con alcohol. 
10. Botellas de agua purificada para levantar las muestras de agua. 
11. Formato de campo. 
12. Guía para identificar los macroinvertebrados.
13. Envases para almacenar los macroinvertebrados. 

4.3.4. Fase 3. Desarrollo de campo del sistema de Biomonitoreo

4.4. MUESTREOS

Las estaciones o tramos se ubicaron longitudinalmente en el curso principal del río, desde su nacimiento hasta su desembocadura, tratando de ubicarlas después de los afluentes que desaguan en su caudal en sitios puntuales donde podría haber indicios de contaminación, para así obtener la mayor variabilidad de escenarios en relación con la calidad del agua. Los puntos se reflejan en el mapa 2.



Mapa. 2 sitios muestreados

4.4.1. Datos recolectados en muestreos:

- Insectos (macroinvertebrados)
- Muestra de agua para análisis de los siguientes parámetro pH, OD, T^o, (in situ), turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad.

4.5. Procesos metodológicos

Objetivo específico 1

Determinar características físico – químico del agua con el fin de ver la calidad de agua de la subcuenca.

Para evaluar las características físicas se tomaron seis estaciones de muestreos, en cada una de las estaciones se evaluó la temperatura (in situ) se tomó muestras de agua para evaluar parámetros físicos – químicos como: pH, conductividad, OD, salinidad, turbiedad, estos se realizó en el laboratorio del recinto URACCAN, siguiendo métodos estándares según las instancias reguladoras del país.

Cada una de estas muestras se tomó a una distancia de Punto 1 al Punto 2 dist = 919 mts, Punto 2 al Punto 3 dist. = 890 mts, Punto 3 al Punto 4 dist = 1500 mts, Punto 4 al Punto 5 dist= 2800mts, Punto 5 al Punto 6 dist = 360 mts. La distancia varia porque del punto se hicieron recorridos hacia abajo y hacia arriba del punto en la dirección del rio

Cada muestra de agua se tomó a la orilla del río, utilizamos envases de agua purificada debidamente desinfectadas, guardándolas en un termo con hielo para mantenerlo a una temperatura ambiente para su traslado al laboratorio de URACCAN donde fueron evaluados.

Una vez en el laboratorio se procedió a la evaluación de las muestras utilizando los siguientes instrumentos:

- **Turbidez**, para este parámetro se utilizó el turbidímetro portátil marca HANNA, modelo HI 93703-11
- Para medir **OD** (oxígeno disuelto) se utilizó el instrumento llamado Oxímetro modelo 45 P, marca CRISON.
- Para medir **pH, Conductividad y Salinidad** utilizamos el instrumento "Multiparamétrico" marca HACH, este instrumento, está diseñado para medir: **Temperatura, pH, Conductividad, Sólidos Disueltos y Salinidad.**
- **Para la temperatura** se utilizó un termómetro de mercurio escala 0°C a 110 °C los primeros tres son instrumentos nuevos del laboratorio químico de URACCAN.

Objetivo 2

Identificar familias de macro invertebrados presentes en la subcuenca Brakira, utilizando la hoja de campo y la guía de identificación de macro-invertebrados más comunes utilizados en Costa Rica

Para llevar a cabo este objetivo propuestos se realizaron muestreos en distintos tramos o estaciones del río, identificando muestras de bioindicadores.

4.5.1. Tipos de colecta:

- **Directa:** Tomando piedras
- **Con redes:** Red de mano o coladores y la red de pantalla.

4.5.2. Actividades realizadas

- ✓ Con respecto al muestreo biológico, se tomaron muestras de los organismos pertenecientes al grupo macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas en las estaciones seleccionadas.
- ✓ Se hicieron al menos 5 réplicas por estación. La metodología que se utilizó para la obtención de las muestras de macroinvertebrados bentónicos fue a través de una red y tomados directamente de piedras.
- ✓ se utilizó la guía de macro invertebrados para la identificación taxonómica por familia de las comunidades bióticas que hay en la zona o las que se encontraron en cada estación que se muestreo.
- ✓ Las muestras que no se identificaron a simple vista en el sitio de muestreo se trasladaron al recinto URACCAN para su debida identificación utilizando equipos más adecuado apoyado de la guía de identificación de macroinvertebrados se trasladaron en un envase con alcohol.

Objetivo 3.

- Definir mediante el método BMWP la calidad del agua.

Existen diferentes metodologías, para determinar la calidad de agua, pero la que se utilizó es el sistema de monitoreo **BMWP** (*Biological Monitoring Working Party*), desarrollado en Gran Bretaña y adaptado a la península Ibérica como método principal.

Debido a que el índice **BMWP** (*Biological Monitoring Working Party*) se basa en la existencia de una comunidad de macroinvertebrados que actúa como sensor, se ha asegurado un muestreo representativo de la misma que incluya representantes de las familias que habitan en los puntos estudiados, para ello se realizó un muestreo de tipo cuantitativo realizando batidas con las redes en todos los microhábitat existentes en la zona: orillas con o sin vegetación, zonas de piedras, de arenas, en corrientes y sin ellas.

Para conocer los microhábitat existentes fue necesario realizar un recorrido visual del tramo estudiado. Tras lo cual, se procedió a muestrear, de aguas abajo a aguas arriba, procurando vaciar, a menudo el contenido de cada redada, en baldes de color blanco. Con ellos se evitó que al colmatarse la red la propia corriente ayude a los animales a escapar. El muestreo se da por terminado cuando nuevas redadas no aporten capturas representativas de nuevas familias de macroinvertebrados.

Las muestras se transportaron al laboratorio para la extracción de los macroinvertebrados; Sin embargo, resulta más fácil y rápido realizar la extracción directamente en el campo, pues el movimiento de los organismos vivos facilita su localización.

Por otro lado, en esta labor de extracción es cuando se comprueba que nuevas redadas no aportan nuevos taxones, en caso de no poder identificar visual los macroinvertebrados, es conveniente ir introduciéndolos en envases con alcohol al 96%, ayudándose de pinzas entomológicas, que al ser flexibles no los dañan.

Aunque estos organismos se suelen conservar en alcohol al 70%, en este caso se utiliza alcohol sin diluir debido a que al trabajar directamente en el campo, cada vez que en el pequeño vial se introduce un nuevo espécimen, junto con él, se introduce una pequeña gota de agua, lo que hace que paulatinamente el alcohol vaya disminuyendo su concentración.

Para la captura de los macroinvertebrados las redes a utilizar deben de tener un tamaño de maya que no supere las 300 μ el procedimiento a seguir depende de la profundidad del cauce. Si el cauce es de escasa profundidad se apoya la red al fondo y con la ayuda de las manos, se remueve el sustrato situado inmediato aguas arriba, avanzando a contra corriente.

Si la profundidad es tal que no permite acceder con las manos al fondo, entonces se utilizan redes sujetas a un mango largo, y con la ayuda de las botas con las que se van removiendo los diferentes sustratos, dando pequeñas patadas, método conocido como "Kick", siguiendo la terminología inglesa.

La metodología aquí descrita es la que se utilizó para el levantamiento de datos en los sitios de muestreos.

4.5.3. Selección de sitio

Se seleccionó seis sitios donde se hizo el muestreo en la subcuenca del río Brakira, tomando en cuenta los afluentes y algunos de los diferentes hábitats.

- ✓ Orillas sin corriente, con corriente, raíces, vegetación u objetos sumergidos.
- ✓ Sustrato de remansos y pozas.
- ✓ Paquetes de hojas en remansos.

4.5.4. Método de muestreo e identificación

La identificación se hizo a nivel de orden y familia utilizando la guía de identificación de macroinvertebrados. Se tomaron las muestras y se preservó los animalitos en alcohol al 70% para su identificación posterior en el laboratorio de URACCAN.

El método de evaluación empleado, Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) es una técnica que permite determinar la calidad del agua según las familias de macroinvertebrados que se encuentren en el área muestreada, ya que cada una presenta diferentes rangos de tolerancia a la contaminación de su hábitat.

El método consiste en asignar un puntaje que indica el nivel de tolerancia a la contaminación, mientras más alto sea, la tolerancia es mucho menor; la suma de esta puntuación permite determinar las aguas en diferentes categorías.

En nuestro caso se asigna un número del 1 al 10 a las familias de organismos indicadores de calidad de aguas en donde: valor 1 para familias indicadores de mala calidad de aguas y 10 para indicadores de excelente calidad de agua

Objetivo 4.

- Comparar los dos métodos utilizados con la finalidad de ir creando pautas para un método propio aplicable en la Costa Caribe Nicaragüense.

Para esto se hicieron comparaciones de las muestras obtenidos de los dos métodos, para ver la equivalencia entre las dos metodologías por estación a fin de ir determinando el comportamiento de la calidad del agua.

4.6. Desafíos y Limitaciones de la investigación

Los desafíos y limitaciones del proceso investigativo los podemos sintetizar en los aspectos a continuación mencionados:

- ❖ Escasa información documental de los trabajos similares realizados en Nicaragua.
- ❖ Difícil acceso algunos sitios o tramos del río para el levantamiento de muestras.
- ❖ El factor tiempo fue uno de las limitaciones para poder realizar el trabajo en las dos estaciones a como estaba propuesto.
- ❖ Darle seguimiento al trabajo para establecer nuestro propio método.

V. RESULTADO Y ANALISIS

5.1. Determinar Características Físico – Químico del Agua.

Pese a la presencia de basureros clandestinos en la parte alta de la sub cuenca Brakira no se observaron sustancias contaminantes al realizar los análisis físicos y químicos para determinar las características.

5.1.1. Resultados de Muestras de Agua del Laboratorio.

El resultado de los análisis físicos – químicos realizados en el laboratorio de la universidad URACCAN, revelan lo siguiente:

El parámetro **Temperatura T°** según las normas CAPRE los valores recomendados son de 18° - 30° y el valor máximo admisible es de $\leq 30^{\circ}$ y según los análisis de laboratorios demuestran que tiene una temperatura promedio de 25.18° y cumple con las normas establecidas.

El parámetro **pH** según las normas CAPRE los valores recomendados son de 6,5 – 8,5 y el valor máximo admisible es $\leq 8,5$ y según los análisis de laboratorios de nuestro muestreo el valor obtenido es 5.58 sin embargo se considera aceptable según los valores de la OMS que equivalen a 5 – 9.

El parámetro **Turbidez** según las normas CAPRE los valores recomendados son ≤ 1 y el valor máximo admisible es de ≤ 3 y según los análisis de laboratorios de nuestro muestreo el valor obtenido es 0.79 cabe mencionar que este valor se considera aceptable.

El parámetro **Oxígeno Disuelto**, según las normas CAPRE los valores recomendados son ≥ 5 y el valor máximo admisible es de ≤ 4 , según los análisis de laboratorios de nuestro muestreo el valor obtenido es 6.5, entonces es aceptable ya que el valor recomendado según CAPRE es de ≥ 5 .

El parámetro **Conductividad** en el punto 5 y 6 sobrepasa la norma CAPRE de los valores admisible con 1337 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en el punto muestreado # 5 y 2.67 ms/cm , en el punto muestreado # 6, lo que significa que se debe realizar los tratamientos para poder potabilizar en esos puntos.

El parámetro **Sólidos Totales Disueltos**, según las normas CAPRE los valores recomendados son ≤ 300 y valor máximo admisible es de 1000, el valor obtenido en los análisis del laboratorio fue de 1361, lo que indica que sobrepasa la norma CAPRE de los valores admisible entonces se debe realizar los tratamientos para poder potabilizar;

Para el parámetro **Salinidad**, los valores recomendados son 0.05 y valor máximo admisible es de 0.5 mientras que en el punto 5 y 6 sobrepasa la norma de los valores admisible con 0.6 en el punto muestreado N° 5 y 1.4 en el punto muestreado N° 6.

En los dos últimos puntos se puede observar que existen alteraciones con los resultados esto es debido la salinidad que presenta el agua por la cercanía que se encuentran estos dos puntos con la desembocadura con el mar, el bajo nivel de agua que presenta por la época del tiempo (verano).

De forma general el agua cruda superficial del río Brakira, según los resultados del análisis realizados en el laboratorio de la universidad URACCAN - Bilwi del municipio de Puerto Cabezas. Reúne las cualidades para el consumo humano, según las normas establecido por la OMS/OPS y CAPRE. Porque algunos de sus parámetros permisibles están dentro de los establecidos para consumo humano

5.2. Parámetros Físicos Químicos

En el Cuadro N° 5 se observan los resultados del análisis físico - químico realizado a las seis muestras de agua de la subcuenca Brakira.

Tabla. 4 Resultados físico-químico por puntos de muestreos.

Sitios de Muestreo #	Valor Recomendable T°(°C)	Valores encontrados T°(°C)	Valor Recomendable pH	Valores encontrados pH
1	18 – 30	25.5	6,5 -8,5	5.2
2	18 – 30	25.7	6,5 -8,5	5.5
3	18 – 30	24.2	6,5 -8,5	6
4	18 – 30	25.4	6,5 -8,5	5.5
5	18 – 30	25.1	6,5 -8,5	5.5
6	18 – 30	25.2	6,5 -8,5	5.8
Promedio		25.18		5.58

Valor Recomendable Turbidez	Valores encontrados Turbidez	Valor Recomendable OD mg/L	Valores encontrados OD mg/L	Observaciones
≤ 1	0.66	≥ 5	6.6	
≤ 1	1.01	≥ 5	6.3	
≤ 1	0.64	≥ 5	6.7	
≤ 1	0.81	≥ 5	6.5	
≤ 1	0.89	≥ 5	6.5	
≤ 1	0.71	≥ 5	6.8	
	0.79		6.5	

Tabla. 4 Resultados físico-químico por puntos de muestreos.

muestreos	Valor Recomendable Conductividad $\mu\text{s/cm}$ - ms/cm	Valores encontrados Conductividad $\mu\text{s/cm}$ - ms/cm	Valor Recomendable Sólidos Totales Disueltos mg/L	Valores encontrados Sólidos Totales Disueltos mg/L
1	>300	36.6 $\mu\text{s/cm}$	≤ 300	16.9
2	>300	37.3 $\mu\text{s/cm}$	≤ 300	17.1
3	>300	32.1 $\mu\text{s/cm}$	≤ 300	15.1
4	>300	38.1 $\mu\text{s/cm}$	≤ 300	17.6
5	>300	1337 $\mu\text{s/cm}$	≤ 300	658
6	>300	2.67 ms/cm	≤ 300	1361
Promedio				

Valor Recomendable Salinidad %	Valores encontrados Salinidad %	Observaciones
0,05%	0	En estos puntos hubo variación con los resultados debido a la presencia de salinidad
0,05%	0	
0,05%	0	
0,05%	0	
0,05%	0.6	
0,05%	1.4	

5.3. Identificar familias de macro invertebrados presentes en la subcuenca Brakira, utilizando la hoja de campo y la guía de identificación de macro-invertebrados más comunes utilizados en Costa Rica.

En la subcuenca del río Brakira no se sabe con exactitud cuántos taxones existen realmente, porque no se han hecho estudios de este tipo, es por eso que se utilizó el índice BMWP más la guía de identificación de macroinvertebrados para poder identificar las diferentes familias en los sitios muestreados con los siguientes resultados.

Se identificaron 10 familias de macroinvertebrados con un total de 20 individuos en donde predominaron las:

Hidrobiosidae: 6 individuos

Guerridae: 3 individuos

Gomphidae: 2 individuos

Libellulidae: 2 individuos

Psephenidae: 2 individuos

Perlidae: 1 individuo

Baetidae: 1 individuo

Elmidae: 1 individuo

Oligoneuridae: 1 individuo

Hidropsychidae: 1 individuo

Tabla. 5 Familias de macroinvertebrados encontrados en la sub cuenca Brakira.

Orden	Familia	Sitios de Muestreo						Cantidad Total
		1	2	3	4	5	6	
PLECOPTERA	Perlidae		1					1
TRICOPTERA	Hidrobiosidae		4		2			6
EPHEMEROPTERA	Baetidae			1				1
ODONATA	Gomphidae				2			2
ODONATA	Libellulidae		2					2
COLEOPTERA	Elmidae			1				1
HEMIPTEROS	Guerridae	2	1					3
EPHEMEROPTERAS	Oligoneuridae				1			1
TRICHOPTERA	Hidropsychidae			1				1
COLEOPTERA	Psephenidae				2			2
TOTAL								20

La distribución de familias encontradas por sitios de muestreo fue de la siguiente manera

Sitio de muestreo # 1 se encontraron 2 individuos de orden *Hemíptera*, familia *guerridae*.

Sitio de muestreo # 2 se encontraron 4 individuos de orden *Trichoptera*, familia *Hidrobiosidae*, 1 individuo de orden *Plecóptera*, familia *Perlidae*, 1 individuo de orden *Hemíptera*, familia *guerridae*, 2 individuos de orden *Odonata*, familia *Libellulidae*

Sitio de muestreo # 3: En este punto se encontraron 1 individuo de orden *Ephemérotos*, familia *Baetidae*, 1 individuo de orden *Coleóptera*, familia *Elmidae* y 1 individuo de orden *Trichoptera*, familia *Hidropsychidae*.

Sitio de muestreo # 4: aquí se encontraron 2 individuos de orden *Odonata*, familia *Gomphidae*, 2 individuos de orden *Trichoptera*, familia *hidrobiosidae*, 1 individuo de orden *Ephemérotos*, familia *Oligoneuridae* y 2 de orden *Coleóptera*, familia *Psephenidae*.

Sitio de muestreo # 5: en este punto no se encontraron macroinvertebrados, solo pescados y camarones que demuestra que el agua estaba salobre lo que se comprobó con la muestra físico – químico, (salinidad).

Sitio de muestreo # 6: en este punto sucedió lo mismo que en el sitio de muestreo # 5, estos dos puntos pertenecen a los balnearios ubicados en la subcuenca.

5.4. Definir mediante el método BMWP la calidad del agua.

A pesar que no se obtuvo gran cantidad de macroinvertebrados se logró obtener algunas familias para determinar la calidad del agua.

Tabla. 6 Valores y puntajes obtenidos de macroinvertebrados encontrados en la subcuenca.

Nº	Orden	Familia	Cantidad	Valor de Índice BMWP – CR	Puntaje
1	PLECOPTERA	PERLIDAE	1	10	10
2	TRICOPTERA	HIDROBIOSIDAE	6	9	9
3	EPHEMEROPTERA	BAETIDAE	1	7	7
4	ODONATA	GOMPHIDAE	2	10	10
5	ODONATA	LIBELLULIDAE	2	6	6
6	COLEOPTERA	ELMIDAE	1	7	7
7	HEMIPTEROS	GUERRIDAE	3	8	8
8	OLIGONEURIDAE	EPHEMEROPTERAS	1	10	10
9	TRICHOPTERA	HIDROPSYCHIDAE	1	8	8
10	COLEOPTERA	Psephenidae	2	10	10
	TOTAL		20		85

La tabla 6. Demuestra que la cantidad de macroinvertebrados encontrados en la subcuenca Brakira fue de 10 familias y el puntaje obtenido de acuerdo al índice de valores del método BMWP (Biological Monitoring Working Party) fue de 85 lo que indica que la calidad de agua está ligeramente contaminada.

La representación cartográfica de la calidad del agua está reflejada en la tabla 7. De acuerdo al puntaje obtenido según el índice BMWP.

Tabla 7. Significados de colores para representaciones cartográficas de la calidad de agua.

CLASES DE CALIDAD DE AGUA, VALORES BMWP/CR, SIGNIFICADO Y COLORES PARA REPRESENTACIONES CARTOGRÁFICAS

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



Gráfico 1. Cartografía de la calidad del agua de acuerdo al método BMWP.

De acuerdo a los resultados del método BMWP esta es la cartografía de la calidad del agua de la subcuenca Brakira lo que indica que la calidad es ligeramente contaminada.

5.5. Comparar los dos métodos utilizados con la finalidad de ir creando pautas para un método propio aplicable en la Costa Caribe Nicaragüense.

Después de hacer las comparaciones de los dos métodos utilizados, los resultados demuestran que el análisis físico – químico cumplen con las normas establecidas por la OMS/OPS y las normas CAPRE que indican que la calidad de agua no difiere significativamente con los resultados obtenidos con el método BMWP, lo cual indica en los dos casos que el agua es apto para el consumo humano y nos da una pauta para ir creando un método propio, esto sería posible con el seguimiento de este estudio y completándolo en las dos épocas del tiempo que presenta la región (invierno y verano).

Así podemos dejar establecido un método propio aplicable a esta región tomando en cuenta que otros países centroamericanos lo han hecho ya con este mismo método. BMWP (Biological Monitoring Working Party)

VI. CONCLUSIONES

En nuestra región contamos con muchas fuentes de agua, aunque muchos de ellos están contaminadas y algunas están desapareciendo por un sin número de razones, solo por mencionar algunos de estas razones tenemos, la deforestación, las quemas indiscriminadas, depósitos clandestinos de basura a orilla de los ríos, esto nos trae un gran problema de agua, por lo que tenemos que buscar soluciones. En los levantamientos de muestras pudimos observar que cerca de los sitios de muestreos había presencia de varios vertederos de basura, aunque al realizar los análisis físico – químico no se vio alteración de contaminantes en los resultados, quizás porque no había llovido y los contaminantes de la basura no habían sido arrastrados hasta el río o porque la corriente ya lo había arrastrado.

En los análisis físicos – químicos de agua realizados en la subcuenca Brakira 4 de los 6 puntos muestreados cumplen con los valores permisibles de las normas establecidas por CAPRE, y la OMS/OPS que dan un margen de valor más amplio que las normas de la primera, esto nos indica que son aguas aptas para el consumo humano. En los dos últimos puntos se puede observar que existen alteraciones con los resultados en los parámetros conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad esto es debido a la salinidad que presenta el agua por la cercanía que se encuentran estos dos puntos con la desembocadura con el mar y por el bajo nivel de agua que presenta en esta época del tiempo (verano).

Los muestreos realizados en la subcuenca Brakira utilizando la guía de identificación de macroinvertebrados, facilitó identificar a las familias colectadas, lo cual representa un considerable ahorro de trabajo taxonómico y la posibilidad de ser utilizada por personal sin gran experiencia en dicho aspecto.

En algunos de los sitios muestreados no se encontró cantidad de familias de macroinvertebrados esto nos hace concluir que puede ser debido al tipo de micro hábitat que presentaban estos sitios, en el primer sitio fue muy poca la presencia de familias, encontramos que es un área que presenta mucha vegetación herbácea, en el agua alrededor es puro llano y presenta muchas zonas pantanosas debido a esto concluimos la poca presencia de macroinvertebrados. En los sitios 2, 3 y 4 se encontraron la mayor cantidad de familias, el microhábitat era diferente ya que presentaba a la orilla del río bosque de galería en el fondo había arena y piedras más raíces de los árboles.

En los dos últimos sitios no se encontraron macroinvertebrados debido a que son organismos pertenecientes al grupo macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas y en estos dos puntos el agua no presenta las condiciones que necesitan los macroinvertebrados indicadores de calidad de agua para vivir, estos sitios se encuentran después de la presa de donde se obtiene el agua potable, pertenece a los balnearios.

Los resultados obtenidos en nuestro monitoreo nos reflejó una ligera contaminación en la calidad de agua aplicando el método BMWP (**Biological Monitoring Working Party**), aplicado a Costa Rica, se pudo haber obtenido mejores resultados pero el factor tiempo no

nos permitió culminar nuestra investigación como estaba propuesto utilizando las dos estaciones del tiempo, (invierno y verano), debido a la variación del clima y se debe hacer un monitoreo permanente y constante para así poder determinar la calidad de agua con más exactitud y tener mejores resultados.

Después de hacer la comparación con los resultados de los dos métodos utilizados, demuestran que la calidad de agua no difiere significativamente con los resultados obtenidos, esto nos da una pauta para ir creando un método propio, pero para lograr esto debemos darle seguimiento a este estudio y completarlo en las dos épocas del tiempo que presenta la región (invierno y verano).

El estudio del método BMWP (Biological Monitoring Working Party) para adaptarlo a determinada región es muy importante, tiene muchas ventajas es muy eficaz además, es de bajo costo, se ha hecho en otros países. Con esta investigación ya se tiene una pauta que la universidad URACCAN podría impulsar y darle seguimiento para adaptarlo a nuestra región y establecerlo como un método propio debido que en Nicaragua todavía no existe se han hecho estudios en algunos lugares pero aún no está establecido un método propio.

VII. RECOMENDACIONES

Trabajamos en esta investigación para ver de qué manera podemos resolver algunos de los problemas de los recursos hídricos con los que contamos todavía y es de mucha importancia para nuestra población, recomendamos lo siguiente:

Coordinar con las entidades responsables, GRAAN, Alcaldía Municipal, INAFOR, MARENA, MINSA, ENACAL, para hacer campañas de sensibilización rotular el área afectada para que las personas que botan basura, deforesten, y realizan quemas indiscriminadas a la orilla del río ya no lo hagan y las que irrespeten la ley se les apliquen multas y sanciones.

Darle tratamiento al agua y buscar o crear un proyecto piloto de restauración y manejo forestal para producción de agua potable que sea de uso para consumo humano.

Seguir utilizando la guía de identificación de macroinvertebrados hasta completar una guía que se ajuste a nuevas especies que se vayan encontrando en nuestra zona y utilizarlo como una guía propia aplicada a nuestra región.

Buscar proyectos con ONG's y el estado para reforestación de la parte alta de la subcuenca y darle manejo y conservación para la producción de agua de consumo humano.

Delimitar las zonas de la subcuenca donde el agua presenta condiciones para el desarrollo de estos macroinvertebrados, para poder determinar la calidad del

agua de consumo humano mientras se le da tratamiento y manejo a la parte que no presentan las condiciones.

Darle seguimiento a este trabajo investigativo ya que nosotros no pudimos hacer los muestreos en las dos estaciones del tiempo (invierno y verano) a como se tenía propuesto, para obtener mejores resultados por el factor tiempo que fue una de las dificultades que se nos presentó.

De acuerdo a las comparaciones y los resultados obtenidos con las conclusiones se recomienda concluir la investigación para poder crear un método propio aplicable en la Costa Caribe Nicaragüense ya que las pautas ya las tenemos con esta investigación. También se recomienda que los muestreos sean cada tres meses para más efectividad en los resultados.

En síntesis recomendamos que la universidad URACCAN retome este trabajo y le dé seguimiento para adaptarlo a nuestra región y establecerlo como un método propio en Nicaragua ya que todavía no existe se han hecho estudios en algunos lugares, pero no está establecido aun.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Charpentier, S.R; Caraco, N.F; Correl, D. L. Howarth, F W. Sharpley, A: N. Smith, V. H. 1998. Nonpoint pollutes waters with phosphorus and Nitrogenous. Ecological applications 8: 559-568p.

CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua potable y saneamiento de Centroamerica, Panamá y república Dominicana) 1994 Norma Regional de Calidad de agua. S I.

FAO 1993, Prevención de la contaminación de agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos 1 Santiago, Chile 385P.

Faustino, J. 2007. Curso protección de fuentes de agua: documento técnico para el curso. Organización por la Oficina Técnica Nacional del CATIE. Managua, NI. 98 p.

Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O., 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 75:275-285p.

Jiménez, F. 2007. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas: material de referencia en curso de maestría en manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 20 p.

Mendoza, M 1996 Impacto de la Tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río sabalos, cuenca del río San Juan Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE 81p.

OPS 1999, (Organización Panamericana de la Salud). 1999. Guía para la calidad del agua potable: Criterios relativos a la salud y otra información de base, Volumen 2.OPS, Washington, D.C. 1999.350P.

OMS 1999, (Organización Mundial de la Salud).1999.Guías para la calidad del agua potable: Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Segunda edición. Volumen 3.OMS, Ginebra, 1999.225P.

Ongley, E.D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Roma, Italia. Estudio FAO Riego y Drenaje 55, 1997. 116 p.

Randulovich. 1997, Sostenibilidad en el uso del agua en América Latina. Revista Forestal Centroamericana 18:15-20p.

Raz, G. A. 2000. Crustáceos y Poliquetos. p. 265-307. En: Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. 633 pp.

Roldan Pérez, Gabriel; Bioindicación de la calidad de agua en Colombia; Editorial Universidad col, 32: 302-314p.

Rodríguez-capitulo, A. 1999. Los macroinvertebrados considerados los mejores indicadores de calidad de agua Rev. Soc. Entomol.Argent.58:208-217p.

Saenz, F; Shultz, S; Hyman, G. 1997. Uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la identificación de

degradación de tierras y recursos hídricos. *Revista Forestal Centroamericana* no. 18:18-22p.

Toro, J; Schuste, J; Kurosawa, J; Avaya, E. y Contreras, M. 2003. Diagnostico de lka calidad del agua en sistemas bióticos utilizando macroinvertebrados (Santiago de Chile). 1-11P.

Watler, W 2009a. Programa de clases de cuencas hidrográficas, unidad I: bases conceptuales del manejo, gestión y cogestión de cuencas hidrográficas. URACCAN, kamla, Puerto Cabezas, RAAN, NI. 22 p.

IX. ANEXOS

Nombre: _____ Fecha _____

ACTIVIDAD Hoja de Trabajo para Recopilar Datos

Nombre del Río, riachuelo, _____

Comunidad: _____

Latitud _____ Longitud _____

Hora _____ Altitud _____

Dirección del Viento: N-NE-E-SE-S-SO-O-NO

(Encierre uno)

Tiempo actual: CLARO-PARCIALMENTE NUBLADO-
NEBLINA-NUBLADO-LLUVIOSO

(Encierre uno)

Condiciones climáticas recientes: _____

(Ej.: día después de una tormenta, etc.)

Condiciones de la superficie: CALMA-POCA AGITACION-
OLEADAS

(Encierre uno)

Descripción del Área Adyacente:

(Ej. Desarrollo residencial, marina, humedal, etc.)

Condiciones del río, caño, laguna o pozo: (ej. ¿Parece estar
contaminado con desechos o materia orgánica? ¿Hay peces o
Plantas en el agua? ¿Hay muchas algas ahí?
etc.) _____

Color y Olor del agua: _____

Claridad o cantidad de materia suspendida en el agua:

Ej. ¿Está el agua clara, turbia o lodosa? ¿Puede ver muchas partículas suspendidas flotando en el agua?, etc.

















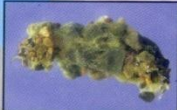




Observaciones sobre la vida silvestre:

(Ej. ¿Hay una manada de venados cerca? ¿Puede ver otros animales o reptiles?, etc.)

Otras Observaciones que considera interesantes o importante: _____

Guía de identificación de macro-invertebrados

Indicadores de excelente a muy buena calidad de agua

				
Baetidae E,5	Baetidae E,5	Leptophlebiidae E,8	Leptophlebiidae E,8	Heptageniidae E,10
				
Polythoridae O,10	Perilestidae O,10	Aeshnidae O,8	Perlidae P,10	
				
Elmidae C,5	Elmidae C,5	Ptilodactylidae C,7	Blaberidae B,8	
				
Lutrochidae C,7	Lutrochidae C,7	Calamoceratidae T,8	Glossosomatidae T,8	
				
Leptoceridae T,8	Leptoceridae T,8	Leptoceridae T,8	Leptoceridae T,8	



Polycentropodidae T,6 🐛

Hydroptilidae T,6 🐛

Hydrobiosidae T,10 🐛

Blephariceridae D,10 🐛

Instrucciones de uso

- La letra mayúscula después del nombre corresponde al orden (según las iniciales de los nombres de la página 1)
- El número corresponde al valor del Índice BMWP'-CR (según página 6)
- El tamaño del organismo se indica según el siguiente símbolo:

🐛 < 5mm 🐛 < 15mm 🐛 > 15mm

(los organismos grandes y medianos pueden tener un tamaño menor cuando son muy jóvenes)

OJO: Todos los organismos indicadores pertenecientes a una categoría específica también pueden vivir en aguas de calidad superior

Indicadores de aguas de calidad buena a regular



Baetidae E,5 🐛

Leptohyphidae E,5 🐛



Gomphidae O,7 🐛

Libellulidae O,6 🐛

Coenagrionidae O,4 🐛



Indicadores de aguas de calidad regular a mala



Calopterygidae O,4



Coenagrionidae O,4



Caenidae E,4



Staphylinidae C,4



Noteridae C,4



Belostomatidae H,4



Naucoridae H,4



Notonectidae H,4



Planariidae 5



Thiaridae Mo,3



Hydrobiidae Mo,3



Hydrophilidae C,3



Dytiscidae C,4



Chironomidae D,2

Indicadores de aguas de calidad mala a muy mala



Chironomidae D,2



Culicidae D,2



Syrphidae D,1



Oligochaeta A,1



Tubifex A,1



Fotos recolectando muestras de bioindicadores en la subcuenca Brakira.



Basurero clandestino a orilla del rio Brakira