

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua  
UNAN-Managua  
Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Departamento de Biología



Trabajo monográfico para optar al título de Licenciada en Biología  
con mención en Educación Ambiental

### **Título**

**Uso de macroinvertebrados dulceacuícolas para diagnosticar la  
calidad del agua del río Jesús, Municipio San Rafael del Sur,  
Departamento de Managua**

Elaborado por:

Br. Marbel Vadeska Aguilar Baltodano

Tutor: MSc. Erick Mauricio Lacayo Escobar

Asesor metodológico: Lic. Rafael Ernesto Varela Urbina

Managua, 17 de Junio 2016

## Contenido general

|   |       |
|---|-------|
| Índice de contenido .....   | ii    |
| Índice de tablas .....  | iv    |
| Índice de gráficos .....  | iv    |
| Dedicatoria .....   | v     |
| Agradecimientos .....   | vi    |
| Anexos .....  | vii   |
| Anexo 1. Diagrama de procesos .....                                 | viii  |
| Anexo 2. Mapas del río Jesús .....                                  | ix    |
| Anexo 3. Situación ambiental en la microcuenca del río Jesús.....   | xii   |
| Anexo 4. Protocolo de campo .....                                   | xv    |
| Anexo 5. Recolección de muestras e instrumentos de laboratorio..... | xvii  |
| Anexo 6. Macroinvertebrados acuáticos del Río Jesús .....           | xviii |
| Anexo 7. Glosario.....  | xxi   |

## ÍNDICE CONTENIDO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>I.</b>    | <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1  |
| <b>II.</b>   | <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....   | 2  |
| <b>III.</b>  | <b>ANTECEDENTES</b> .....   | 3  |
| <b>IV.</b>   | <b>JUSTIFICACIÓN</b> .....  | 5  |
| <b>V.</b>    | <b>OBJETIVOS</b> .....  | 6  |
| <b>VI.</b>   | <b>MARCO TEÓRICO</b> .....  | 7  |
| 6.1.         | Caracterización de la microcuenca del río Jesús .....   | 7  |
| 6.2.         | Los ríos .....  | 8  |
| 6.2.1.       | Factores relevantes en la unidad hídrica sobre la calidad del agua ....                       | 8  |
| 6.2.2.       | Características de los ríos vinculados con los procesos originados en la unidad hídrica ..... | 9  |
| 6.3.         | Concepto de calidad del agua .....  | 11 |
| 6.4.         | Indicadores de calidad del agua .....   | 12 |
| 6.5.         | Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores .....                           | 13 |
| 6.5.1.       | Principales grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas .....                                 | 14 |
| 6.5.1.1.     | Filo Platyhelminthes .....  | 14 |
| 6.5.1.2.     | Filo Annelida .....   | 14 |
| 6.5.1.3.     | Filo Mollusca .....   | 15 |
| 6.5.1.4.     | Filo Arthropoda .....   | 16 |
| 6.5.2.       | Técnicas para la recolección de macroinvertebrados acuáticos .....                            | 20 |
| 6.6.         | Sistemas de bioindicación .....   | 21 |
| 6.7.         | El Índice Biológico a Nivel de Familias (IBF-SV-2010) .....                                   | 22 |
| <b>VII.</b>  | <b>HIPÓTESIS</b> .....  | 24 |
| <b>VIII.</b> | <b>DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....  | 25 |
| 8.1.         | Descripción del área de estudio .....   | 25 |
| 8.2.         | Tipo de estudio .....   | 25 |
| 8.3.         | Universo del estudio .....  | 25 |
| 8.4.         | Población del estudio .....   | 25 |
| 8.5.         | Muestra del estudio .....   | 26 |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 8.5.1.       | Metodología para la obtención de muestra del estudio .....   | 26        |
| 8.5.2.       | Criterios para la selección y delimitación de los sitios para la toma<br>de muestras .....   | 27        |
| 8.6.         | Variables del estudio .....  | 28        |
| 8.7.         | Materiales.....  | 28        |
| 8.8.         | Métodos .....  | 29        |
| 8.8.1.       | Recolección de datos directos .....  | 29        |
| 8.8.2.       | Recolección de datos indirectos.....   | 29        |
| 8.8.3.       | Método de muestreo del estudio .....   | 29        |
| 8.8.4.       | Metodología para la recolección de muestras en campo .....   | 29        |
| 8.8.5.       | Metodología para el análisis de muestras en laboratorio .....  | 32        |
| 8.8.6.       | Método para el cálculo del Índice Biológico a nivel de Familias (IBF-<br>SV-2010) .....  | 34        |
| <b>IX.</b>   | <b>RESULTADOS</b> .....  | <b>36</b> |
| 9.1.         | Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados<br>acuáticos encontrados en el río Jesús .....  | 36        |
| 9.1.1.       | Riqueza de familias identificadas en el río Jesús.....   | 39        |
| 9.1.2.       | Abundancia poblacional de macroinvertebrados acuáticos en el río<br>Jesús.....   | 42        |
| 9.2.         | Resultados obtenidos mediante el IBF-SV-2010 de acuerdo a la<br>composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en<br>invierno (2015) y verano (2016) ..... | 45        |
| <b>X.</b>    | <b>ANÁLISIS O DISCUSIÓN</b> .....  | <b>48</b> |
| 10.1.        | Análisis de los valores de Temperatura, Conductividad eléctrica, pH<br>y Caudal del río Jesús.....   | 48        |
| 10.2.        | Análisis de información biológica obtenida en septiembre (2015) y<br>enero (2016).....   | 49        |
| <b>XI.</b>   | <b>CONCLUSIONES</b> .....  | <b>51</b> |
| <b>XII.</b>  | <b>RECOMENDACIONES</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>XIII.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | <b>54</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Coordenadas UTM de los sitios de muestreo .....   | 30 |
| Tabla 2. Variables de estudio .....  | 29 |
| Tabla 3. Tabla demostrativa para el cálculo del Índice Biológico a nivel de familia (IBF-SV-2010) .....  | 36 |
| Tabla 4. Categorías de la calidad del agua según el resultado del IBF-SV-2010 .  | 36 |
| Tabla 5. Grupos taxonómicos identificados y el estado del agua al que pertenecen los organismos. ....  | 38 |
| Tabla 6. Familias dominantes en cada sitio de muestreo en septiembre (2015) ..   | 45 |
| Tabla 7. Familias dominantes en los sitios de muestreo en enero (2016) .....   | 46 |
| Tabla 8. Valores de abundancia, riqueza taxonómica y calidad del agua según el IBF-SV-2010 en los 3 sitios de muestreo en septiembre 2015..... | 46 |
| Tabla 9. Valores de abundancia, riqueza taxonómica y calidad del agua según el IBF-SV-2010 en los 3 puntos de muestreo en Enero 2016 .....     | 47 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Grafico 1. Riqueza de familias de macroinvertebrados acuáticos en el río Jesús en la parte alta, media y baja en Septiembre (2015)..... | 40 |
| Grafico 2. Abundancia poblacional de macroinvertebrados acuáticos del río Jesús en la parte alta, media y baja en enero (2016).....     | 43 |

## DEDICATORIA

**A Dios** por el regalo de la vida, así como poner en mí el interés para querer y poder ingresar a la universidad, además de colocar en el transcurso de mi vida a personas que han servido de inspiración, apoyo físico y moral para poder sostener la virtud de la paciencia, fuerza de voluntad, más la constancia en el día a día para alcanzar cada uno de los objetivos personales propuestos. *Sin la ayuda de Dios, nada sería posible.*

**A mi madre Emma Leticia Baltodano Sánchez y tía Josefa Baltodano Sánchez**, por ser las principales formadoras de mis principios y valores morales que me han guiado por un buen camino, además por ser las impulsadoras para animar y sembrar en mí el deseo de superación personal, desde el seno de nuestra primera escuela que es nuestro hogar.

**A Miguel Valle Salguera**, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, por todo el cariño, el optimismo, la paciencia, la solidez y sostén en todo el transcurso de la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Alcaldía del Municipio de San Rafael del Sur** por haber brindado el apoyo para desplazarme y poder realizar las diligencias relacionadas en la obtención y recolección de información en el sitio de estudio.

**Al Departamento de Biología de la UNAN-Managua** y al personal encargado del mismo por haberme otorgado el espacio e instrumentos para poder desarrollar la etapa de revisión y análisis de las muestras recolectadas.

**Al MSc. Mauricio Lacayo Escobar** por contribuir con información y conocimiento profesional como tutor de la investigación, de igual manera agradeciéndole su ayuda para desarrollar en comodidad la monografía.

**Al Lic. Rafael Varela Urbina** (CIRA/UNAN-Managua) por ser una de las personas fundamentales para iniciar y desarrollar con éxito la investigación, también se aprecia su tiempo y paciencia para concederme información, conocimientos, criterios y experiencias sobre el tema seleccionado.

A todas las personas que colaboraron directa e indirectamente para finalizar esta etapa importante de mi vida.

## I. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 15% del territorio Nicaragüense está compuesta por ríos, lagos y lagunas (ENACAL, 2006). El agua es un recurso renovable importante y frágil que está siendo afectado por la contaminación debido actividades antropogenicas desarrolladas en la cuenca que lo rodea. La polución de las aguas superficiales se ha convertido en una amenaza para el buen funcionamiento de los ecosistemas y los individuos que se benefician del recurso.

El río Jesús ubicado en el Municipio de San Rafael del Sur, Managua, es una importante fuente de agua que favorece a los pobladores del municipio. El aprovechamiento del vital líquido ha provocado alteraciones en las condiciones naturales del ecosistema.

Cuando los ríos han sufrido contaminación, algunos organismos como las comunidades de invertebrados acuáticos son el mejor ejemplo para reflejar la perturbación en el ecosistema (Roldán, 2008). La información producida por la comunidad biológica puede expresarse por medio de índices bióticos que califican la calidad del agua mediante escalas numéricas (Velásquez et al. 2006).

La presente investigación expresa el deterioro en la calidad del recurso hídrico en estudio basándose en la composición de la fauna béntica y la aplicación del índice biológico (IBF-SV-2010). Esta metódica se considera eficaz para generar información de la calidad ambiental, con la finalidad de proporcionar información válida para ser aplicada a largo plazo por medio de biomonitoreos en diferentes ecosistemas acuáticos del Municipio de San Rafael del Sur.



## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Jesús es uno de los principales recursos hídricos de la localidad el cual provee agua a los pobladores asentados en la unidad hídrica, los mismo utilizan el recurso para actividades domésticas como el lavado, baño y vertido de aguas residuales domesticas.

De igual manera se utiliza como un importante medio para la producción agrícola de granos básicos para consumo y comercialización. El río es utilizado como abrevadero para la mantención del ganado de los productores que poseen fincas agropecuarias en la microcuenca.

Tambien el recurso es aprovechado con fines recreativos donde veraneantes de distintas partes del país y locales gozan del vital líquido, además se realiza el uso industrial indebido por parte de la empresa cementera ya que utilizan el sistema fluvial para descarga de aguas residuales e incluso el vertido de residuos sólidos generados por la producción calera.

Todas las fuentes de contaminación puntuales y difusas expuestas anteriormente, producen efectos adversos en las condiciones naturales de cuerpo de agua en estudio.

La contaminación hídrica genera cambios en la composición de las comunidades acuáticas, algunos organismos como los macrozoobentos se usan como indicadores biológicos para determinar la calidad del agua por el hecho de que ocupan un hábitat con exigencias ambientales, algunos de estos individuos pueden ser sensibles o tolerantes a la contaminación, por lo que cualquier alteración en las condiciones ambientales se verá reflejado en las estructuras de las comunidades que allí habitan (Roldán G., 2008).

### III. ANTECEDENTES

En el sitio de estudio se han realizado análisis para conocer la calidad del agua y poder ejecutar la extracción de aguas subterráneas. Pero los estudios realizados por parte de las autoridades encargadas de administrar el recurso (ENACAL, 2006), no se relacionan con el uso macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos para determinar la calidad de los recursos hídricos superficiales en la microcuenca.

El uso de organismos acuáticos para diagnosticar la calidad del agua inicio con estudios realizados en Alemania por Kolkwitz & Marsson (1909). Estos científicos dieron origen a la base del Sistema Saprobico (índice biótico) que hace referencia a la capacidad de ciertos organismos para tolerar determinados niveles de contaminación en el agua. De allí se fundamentó el desarrollo de nuevos índices biológicos con modificaciones (Roldán 1999).

A nivel regional Costa Rica y El Salvador han realizado estudios para modificar índices biológicos provenientes de Europa y Estados Unidos con la finalidad de generar guías estandarizadas usando macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad ambiental en los ríos y además que estas puedan ser aplicadas a nivel centroamericano.

En Nicaragua se han realizado diversos proyectos a cargo del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) donde incluyen el uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad ambiental de las aguas superficiales, a nivel de subcuencas y microcuencas.

Dentro de los más destacados está el proyecto realizado en la subcuenca del río Ochomogo (2007), en este estudio se destinó un capítulo que contiene el uso de macroinvertebrados acuáticos para conocer la calidad ambiental por medio de la diversidad de la comunidad béntica.

También se destacan los estudios realizados en la subcuenca del río Gil González en el río Oro en 2012 y en la subcuenca del río Viejo (2013) estas investigaciones destinaron una sección para comprobar el nivel de contaminación orgánica aplicando el índice BMWP a la comunidad acuática.

Igualmente existen estudios efectuados en tres microcuencas del Municipio de Tolas, Rivas (2014) que consistieron en aplicar el IBF-SV-2010 a los macrozoobentos, para interpretar el grado de contaminación orgánica de los ecosistemas fluviales analizados.

Los macrozoobentos acuáticos de la misma manera se incluyen en estudios de impacto ambiental, precisamente fueron utilizados como indicadores biológicos en la valoración de impactos ambientales causados por la Ruta Juan Rafael Mora Porras en la parte baja de la cuenca del Río San Juan de Nicaragua (2012).

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

Los servicios ambientales que proporciona el río Jesús están fuertemente amenazados por acciones locales, lo cual provoca un efecto sobre la calidad y cantidad de agua.

La mala calidad del agua incide en la disponibilidad de agua utilizable, una vez degradado el ecosistema hídrico generará perjuicios económicos por ejemplificar: se generarían costos para suministrar agua para uso domestico y agropecuario, además de perjuicios sociales como deterioro en la salud de los pobladores que se benefician del vital líquido y ambientales como la perdida de la diversidad biológica que necesitan el medio acuático para sobrevivir.

El estudio orienta a conocer la calidad del agua mediante la identificación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos existentes en el río. La composición de las poblaciones acuáticas puede utilizarse como una alternativa que proporciona información rápida, eficaz y de bajos costos para detectar distintos niveles de contaminación orgánica que no son detectables por medio de los métodos fisicoquímicos tradicionales.

Los resultados de la investigación contribuyen al conocimiento de la condición actual del río para dar inicio un seguimiento ambiental a través de biomonitoreos que podrían ser utilizados a nivel municipal.

## V. OBJETIVOS

### 5.1. General:

- Diagnosticar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados dulceacuícolas como bioindicadores para interpretar el grado de contaminación orgánica.

### 5.2. Específicos:

- Evidenciar las condiciones del agua por medio de la composición comunitaria de macroinvertebrados bentónicos que indican las situaciones que prevalecen en su hábitat y el entorno en época lluviosa y seca.
- Determinar los valores de pH, temperatura, conductividad eléctrica y caudal para estimar la aptitud del agua en hospedar a los macroinvertebrados acuáticos.
- Determinar el estado actual del recurso hídrico mediante la aplicación del índice biológico a nivel de familia (IBF-SV-2010) que categoriza el grado de contaminación orgánica que posee el río.
- Otorgar información y registro sobre la condición actual de la calidad biológica del agua en el río Jesús.

## **VI. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. Caracterización de la microcuenca del río Jesús**

La ficha Municipal de San Rafael del Sur (1990) describe que el Municipio se encuentra ubicado a 47 Km, de Managua capital de la república y tiene una extensión territorial de 357.3 Km<sup>2</sup>.

Dentro del municipio de San Rafael del sur se ubica la microcuenca del río Jesús la cual cuenta con aproximadamente 250 hectáreas pobladas, las cuales habitan más de 10,000 personas (censo 2005) distribuidas en 52.94 km<sup>2</sup> que es el área total de la microcuenca.

El río Jesús es un cuerpo de agua superficial que ha formado parte importante para la formación de agrupaciones habitacionales, puesto que los habitantes hacen uso de este recurso hídrico principalmente para su consumo doméstico.

En 1936, se realizaron estudios de factibilidad y prospección geológica que determinaron que el área de San Rafael del Sur era un sitio apropiado para la explotación de los yacimientos de calizas y margaras calcáreas.

En 1942 se instaló en el poblado El Salto la compañía nacional productora de cemento (CANAL), actualmente llamada CEMEX. Así mismo la presencia de minas de piedras caliza permitió establecer los hornos para procesar cal de manera artesanal.

Los suelos de la microcuenca del río Jesús son territorios que pertenecen a la clasificación de molisoles y alfisoles, además de poseer pendientes entre 15-30%, estas características crean disponibilidad para cultivos perennes, semiperennes y pastoreo extensivo (Marín, E. 1992).

Como expone la mapa 1 (anexo 2: Uso actual de suelos de la microcuenca del río Jesús) que cerca del 44% del territorio de la unidad hídrica se encuentra intervenida por acciones antropogénicas. En esta microcuenca los pobladores producen cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar, ajonjolí, yuca, arroz, plátano,

café y pastos. La Ganadería es utilizada con el propósito de producir leche y carne para el consumo y comercialización local.

## **6.2. Los ríos**

Un río es un ecosistema fluvial constituido por dos componentes: el componente biótico conformado por los seres vivos y el componente abiótico que es el soporte físico, estos dos elementos constituyen una unidad funcional por su continua interacción (Vicuña, 1983).

La modificación en las condiciones fisicoquímicas provoca trastornos que influyen en la estructura de las comunidades biológicas. La perturbación puede ser causadas por efecto natural o antropógeno (Vicuña, 1983).

Los ríos son elementos fundamentales para el desarrollo de la sociedad porque generan bienes y servicios ambientales primordiales para llevar a cabo las actividades habituales de los individuos que se benefician del recurso hídrico (Allan, 2004).

### **6.2.1. Factores relevantes de la unidad hídrica sobre los ríos**

Existen factores o procesos que provocan una variabilidad en el agua de los ríos, estos procesos provienen de la microcuenca que rodea el ecosistema acuático. La estructura y el funcionamiento de la cuenca hídrica es un conjunto de amplios factores geológicos, topográficos, climáticos y biológicos (Pozo & Elozegi, 2009).

Según Heathcote (1998) describe que existen factores que tienen especial relevancia sobre los ecosistemas fluviales y puntualiza como un inventario de la cuenca los siguientes aspectos:

- ❖ **Clima:** de este factor dependerá la disponibilidad de las precipitaciones y escorrentías, además determina la erosión y modelado del paisaje y el tipo de vegetación o tipo de bosque.
- ❖ **Geología:** este elemento determina el tipo de suelo y la composición química del agua ya que por el ciclo hidrológico las escorrentías transportan

material lixiviado de la cuenca hacia los cuerpos de agua. La estructura del suelo condiciona la distribución del agua (superficial o subterránea).

La litología del terreno abarca la naturaleza del lecho de los ríos, el sustrato tiene una influencia sobre los ríos porque determina la abundancia y diversidad de los organismos como la fauna bentónica (Allan, 1995).

- ❖ Vegetación: el bosque de la ribera influye en la cantidad de agua ya que interviene en el régimen hidrológico por ejemplificar: la falta o reducción de la vegetación incide en el caudal por la rápida evaporación del agua. Además el bosque ribereño proporciona sombra y ayuda a regular la temperatura. También estabiliza los márgenes del río haciéndolos más compactos y limitan la erosión así como favorece a la diversidad de hábitats para los organismos lóticos (Elosegi & Diez, 2009).

También proporciona entrada de materia orgánica para los organismos acuáticos y sirve como filtro verde ya que retiene partículas y nutrientes que llegan por las escorrentías por lo que tienen un efecto directo sobre la calidad del agua (Elosegi & Diez, 2009).

- ❖ Caudal: el régimen hidrológico influye sobre las comunidades acuáticas, ya que interviene en la dinámica fluvial, el transporte de nutrientes y los procesos metabólicos fluviales.

La variabilidad estacional del caudal en épocas lluviosas provocan modificaciones en las comunidades acuáticas ya que las poblaciones bentónicas a través de la evolución se adaptan al hábitat físico, por ejemplo numerosas especies se adaptan sus ciclos vitales al ciclo hidrológico.

- ❖ La velocidad de corriente es un elemento que determina la distribución de los organismos la respiración de los mismos y la asimilación de los nutrientes. Los organismos se adaptan anatómicamente y fisiológicamente en relación a la corriente.

La velocidad del flujo acuoso se ve afectado por los materiales que transporta sean disueltos o suspendidos, por la naturaleza del sustrato y por la vegetación localizada a lo largo del cauce (Roldán, 2008).



- ❖ Aguas subterráneas: contribuye al mantenimiento de un caudal basal. Las corrientes permanentes se alimentan por flujo subterráneo (Roldán 2008).
- ❖ La estética y características singulares: la estética de la cuenca influye en la atracción para actividades turísticas naturales y recreativas en los ríos, ya sea por elementos geológicos o históricos.
- ❖ Sistemas sociales y económicos: el crecimiento demográfico y por consiguiente el consumo, el desarrollo de infraestructuras, conversión de terrenos, excesos de cosechas y explotación de tierras influyen y afectan la salud de los ríos.

### **6.2.2 Características de los ríos vinculados con los procesos originados en la unidad hídrica**

Desde el punto de vista ecológico Heathcote (1998) afirma que existen características en los ríos que son esenciales para las comunidades acuáticas pero que podrían ser afectados por procesos originados en la unidad hídrica. Por ejemplo:

La temperatura del agua es un factor que determina la distribución de los organismos, este factor varía dependiendo de la cobertura vegetal y la variación estacional.

El oxígeno disuelto es un factor que la mayoría de los organismos acuáticos necesitan para sobrevivir, la solubilidad de oxígeno depende de la temperatura y la presión atmosférica.

El pH refleja el tipo de sustrato geológico y por consiguiente la actividad biológica. Aumenta cuando las tasas fotosintéticas crecen, mientras que disminuye en condiciones de intensa descomposición.

Los nutrientes son elementos esenciales para los organismos acuáticos, cuando la cantidad de minerales como los nitratos y fosfatos aumentan por origen de las actividades antropogénicas realizadas en cuenca se origina el fenómeno conocido como eutrofización cultural.

La carga de materiales inorgánicos disueltos se refiere a materia inorgánica en forma iónica, esta varía según el clima y la geología del terreno o de la cuenca así como las actividades antropogénicas el aumento de los sólidos disueltos aumenta la conductividad, la dureza y la alcalinidad en esta situación se establece el término como mineralización del agua.

Los sólidos en suspensión provienen de restos de materia orgánica como detritus o de origen aluvial, restos de rocas, arcilla, arena, son elementos que se pueden ver a simple vista como pequeñas partículas y provocan turbiedad en el agua lo que impide el paso de la luz solar y también afecta el intercambio gaseoso en los individuos acuáticos (Roldán, 2008).

Los productores primarios conocidos en el medio acuático como macrófitos y perifiton están condicionados por la cantidad de luz, velocidad de la corriente, nutrientes y sustratos.

La comunidad bentónica es un factor de relevancia en los ríos puesto que los organismos se estructuran y funcionan de acuerdo a las condiciones exteriores del ecosistema fluvial.

### **6.3. Concepto de calidad del agua**

Conforme lo escrito por Herbas et al. (2006, citado en Alba- Tercedor, 1996) en términos generales la calidad del agua es de difícil la definición específica, puesto que la calidad depende del destino final del recurso (p. 2).

De igual manera Roldán (2008) confirma que la calidad del agua es la aptitud para los distintos usos beneficiosos por ejemplo bebida del ser humano y animales, como soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y recreación mientras que desde el punto de vista ecológico Roldán asegura que la calidad del agua depende de los aportes naturales dado por las lluvias y la naturaleza geoquímica del terreno. (p.362).

Mientras que Zamora H. (2001) afirma que la calidad del agua está definida por características, cualidades o nivel de excelencia de sus componentes abióticos y bióticos los cuales permiten de alguna forma evaluarlos. Zamora plantea que la calidad biológica del agua está definida por la dominancia de población de organismos adaptados a la contaminación o pureza del agua, los cuales son utilizados como indicadores biológicos.

La calidad del agua se ve estropeada por la introducción de sustancias que disminuyen la pureza del agua. Los efectos ecológicos de la introducción de sustancias extrañas implican transformación del medio ambiente imposibilitando el desarrollo adecuado de las poblaciones acuáticas a esto se denomina como polución (Roldán 2008, citado en Branco, 1984) también se puede utilizar el término contaminación para referirse a una modificación en la calidad del agua provocada por el hombre, haciéndola impropia para consumo humano, agrícola, industrial, pesquero, recreativo y hasta para la vida natural (carta del agua, 1968). Muchos de los problemas de acceso al agua se relacionan a los niveles de contaminación.

#### **6.4. Indicadores de la calidad del agua**

La calidad del agua se puede determinar por medio de métodos físico-químicos y biológicos. El método biológico es una herramienta donde se utilizan indicadores biológicos para evaluar la calidad ambiental de las aguas en los ecosistemas acuáticos, por medio de la presencia o ausencia de una o más especie animal o vegetal se puede determinar las condiciones ambientales de un sitio determinado.

Según Odum (1972) se le conocen como bioindicadores de la calidad de agua aquellos organismos que por la presencia de algunas especies en particular, demuestran la existencia de ciertas condiciones en el medio. Se interpreta que un organismo indicador se refiere a una especie seleccionada por su sensibilidad o su tolerancia (principalmente a su grado de sensibilidad).

Roldán (1999, citado en Prat 1998) resalta que dentro de los organismos indicadores de la calidad del agua se encuentran las bacterias, protozoos, fitoplancton, macrófitas, peces y macroinvertebrados, siendo este último los que ofrecen métodos más simples, baratos y sensitivos (p.379).

### **6.5. Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores**

Los macroinvertebrados acuáticos son los organismos que habitan en los sedimentos e interfase agua y sedimento también habitan en hojas y ramas sumergidas en cualquier ecosistema acuático. Son organismos relativamente grandes que se pueden ver a simple vista, su tamaño varía desde 0,5 - 3 mm.

El uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua se basa en el hecho de que dichos organismos se encuentran adaptados a un hábitat con exigencias ambientales y un cambio en las condiciones ambientales se ve reflejado en la estructura comunitaria que habitan en un determinado ecosistema acuático (Roldán, 2008).

Los macroinvertebrados bentónicos se utilizan como indicadores de la calidad del agua, ya que poseen características ideales de un bioindicador, las cuales que se citan a continuación (Roldán-Pérez 2003, Segnini 2003, Bonada *et al.* 2006):

- Son abundantes de amplia distribución geográfica.
- Son relativamente sedentarios en su mayoría, por lo tanto representativos del área donde son colectados (extensión espacial de la contaminación).
- Son apreciables a simple vista.
- Son relativamente fáciles de identificar (por lo menos a nivel de familia o género) en comparación con otros grupos de organismos como los virus y bacterias.
- Responden rápidamente a tensiones ambientales.
- Sus ciclos vitales son relativamente cortos y algunos largos los cuales presentan un cambio en la estructura de las poblaciones y comunidades.
- Se encuentran en una amplia variedad de ambientes acuáticos.

### **6.5.1. Principales grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas**

En general existen características de los macroinvertebrados bentónicos que enuncian que existe una relación entre los grupos de organismos acuáticos con las condiciones de los hábitats en los que estos individuos habitan.

Varios grupos contienen familias y géneros que representan una respuesta a la contaminación, esto permite conocer los cambios paulatinos en los cuerpos de agua loticos dado a la presencia/ausencia y los cambios en la abundancia numérica de estas especies.

Los grupos taxonómicos de invertebrados de agua dulce más comunes lo integran los platelmintos, oligoquetos, hirudíneos, moluscos y con mayor frecuencia se pueden encontrar insectos, arácnidos y crustáceos.

#### **6.5.1.1 Filo platyhelminthes**

Los platelmintos se le conoce como gusanos planos, representado por tricládidos en su mayoría son organismos bentónicos y viven bajo piedras, troncos, ramas, hojas en aguas poco profundas, se pueden encontrar en ambientes tanto lénticos como lóticos. La mayoría viven en aguas bien oxigenadas, pero otros grupos de este mismo filo pueden soportar altos grados de contaminación orgánica (Roldán, 2008).

#### **6.5.1.2 Filo annelida**

A este filo pertenecen las clases oligochaetas e hirudíneas que se consideran de agua dulce.

##### **❖ Clase oligochaetas**

Los oligoquetos acuáticos tienen la misma morfología que los terrestres. Viven en aguas con mucha materia orgánica en descomposición y bajos niveles de oxígeno, por lo que se les considera indicadores de la contaminación (Roldán 2008).

La familia mejor conocida es la de Tubificidae, son conocidas como lombrices de agua a este grupo pertenece el género Tubifex, el cual es un indicador de aguas de extrema contaminación acuática.

#### ❖ **Clase hirudinea**

Los hirudineos o comúnmente conocidos como sanguijuelas viven en aguas quietas o ríos de poco movimiento adheridos a la vegetación, troncos y a cualquier tipo de sustratos que encuentren a su alrededor. Se alimentan de residuos orgánicos incluso caracoles y toleran bajas concentraciones de oxígeno, en lugares afectados por contaminación orgánica y zonas de ríos en vías de recuperación.

#### **6.5.1.3 Filo mollusca**

Los moluscos se representan en dos grupos importantes que habitan en ecosistemas dulceacuícolas como lo son los gasterópodos y bivalvos.

#### ❖ **Clase gastropoda**

Los gasterópodos son están representados por los caracoles, poseen una concha enrollada en espiral. Viven por lo general en aguas carbonatadas, necesario para la construcción de su concha, están asociados a lugares con mucha vegetación acuáticas y materia orgánica en descomposición, ellos viven en aguas con alta dureza, alcalinidad y abundante materia orgánica en descomposición, por lo tanto son indicadores de aguas contaminadas con abundantes materias orgánica.

#### ❖ **Clase bivalvia**

Es frecuente encontrar bivalvos enterrados en el sustrato o fijados en la vegetación acuática, son considerados que indican ambientes acuáticos de agua limpia o recientemente contaminada.

#### **6.5.1.4 Filo artrhopoda**

Los artrópodos son el filo más numeroso y diverso del reino animal, el término incluye animales invertebrados dotados de esqueleto externo, y apéndices articulados y distintas partes del cuerpo formado por varios segmentos unidos entre sí por medio de articulaciones.

##### **➤ Subfilo crustáceo**

El 90% de los crustáceos son marinos pero existen varias especies dulceacuícolas y muy pocas terrestres. Una de las más representativas en Centroamérica que se pueden encontrar en agua dulce son los grupos taxonómicos como Ostrácodos, gran parte de este grupo viven en el fondo del agua y mucha son filtradoras.

Y los decápodos dentro de este grupo podemos encontrar los cangrejos y los camarones de río, por ejemplificar el género *Macrobrachium* los cuales tienen una etapa larval muy corta lo que le permite completar su ciclo de vida en aguas dulces, pero otras especies tienden a emigrar a lo largo de los cauces del río para terminar su ciclo de vida en aguas salobres.

Mientras que los cangrejos dulceacuícolas verdaderos tienen sus huevos grandes y de estos eclosionan directamente cangrejos pequeños (no existe larva) y otras especies que pueden vivir en aguas dulces y su etapa larval en aguas marinas.

##### **➤ Subfilo hexápodo**

- **Clase insecta**

Los insectos son los grupos más dominantes por que presentan propiedades de que se esperan de un buen indicador, dentro de estas agrupaciones resaltan diferentes taxones tales como:

### ❖ Orden plec6ptera

El lat6n plec6ptera es una palabra con 6rdenes griegos como plekein: plegar o entrelazar, pteron: ala, que significa “alas plegadas o entrelazadas”. Estos insectos son denominados as6 por la posici6n de sus alas cuando un adulto se encuentra en reposo, generalmente las acomoda plegadas sobre el abdomen como un abanico. Se caracteriza por presentar dos cercos terminales y branquias tor6cicas, sus ninfas son totalmente acu6ticas, su alimentaci6n var6an desde herb6voros, detrit6voros y carn6voros (Hanson, 2010).

Los plec6pteros son insectos hemimet6bolos porque pasan por un desarrollo directo: huevo, ninfa o n6yade, adulto. Las ninfas viven en aguas r6pidas, turbulentas y fr6as y altamente oxigenadas, por esta raz6n estos organismos dan se6al de una buena calidad del sistema fluvial.

### ❖ Orden ephemeroptera

El vocablo griego *ephemeros* significa “lo que dura solo un d6a” y pteron: alas. As6 fue denominado los adultos pertenecientes a este orden solo viven pocas horas lo suficiente para lograr reproducirse y morir al momento en que la hembra acaba de depositar sus huevos.

Las ninfas de los efemer6pteros por lo general se encuentran en aguas muy limpias, por lo que se considera que son organismos indicadores de una buena calidad del agua, aunque existen especies de este mismo orden que son capaces de tolerar ciertos niveles de contaminaci6n org6nica. La mayor diversidad la encuentra en aguas con corrientes.

### ❖ Orden trichoptera

El lat6n trichoptera es un t6rmino que proviene de dos ra6ces griegas trichos: pelo, pteron: alas, literalmente se traduce como alas con pelos.

Los tric6pteros son insectos holomet6bolos lo que quiere decir que pasan por un desarrollo indirecto con una metamorfosis completa, compuesta por las etapas de



huevo, larva, pupa y adulto. En su forma larvaria son organismos que se caracterizan por construir casas o refugios portátiles a base de una especie de seda que secretan de la boca que le sirve para adherir piedritas, arena, hojas de arboles, y así construir refugios le sirven como hábitat y protección ante cualquier amenaza, viven en condiciones limpias y bien oxigenadas. Si se encuentran ligados a poblaciones de ephemeropteros y plecópteros son indicadores de aguas claras y limpias.

#### ❖ **Orden odonata**

Los odonatos (odon: dientes, atos: dotado, significa que posee dientes) comúnmente se les llama libélulas, son insectos hemimetábolos, en estado inmaduro y adultos son grandes depredadores por el hecho de poseer un labio protráctil altamente modificado esta pieza la extiende hacia adelante para lograr atrapar a la presa que ha detectado (Roldán, 2008).

Se encuentran en aguas oligomesotróficas común en ecosistemas de poca corriente pero son poco resistentes a la contaminación orgánica (Roldán 2008), se considera que son capaces de indicar aguas limpias y medianamente contaminada con materia orgánica, sin embargo este orden abarca especies que soportan altos niveles de contaminación.

#### ❖ **Orden hemíptera**

Los hemípteros (hemi: mitad, opteron: alas) son insectos hemimetábolos, este orden incluye los chinches de agua, las especies de este grupos taxonómico se identifica por las piezas bucales en forma de pico chupador lo que hace que estas especies acuáticas sean excelentes depredadores. Viven en lugares con abundante vegetación sus hábitats son similares a la de odonatos y tienen los mismos requerimientos ecológicos. Se les considera que indican el mismo tipo de calidad de agua que los odonatos.

### ❖ Orden coleóptera

Los coleópteros (Koleos: estuche, pteron: alas) son un orden de insectos que se identifican por tener el primer par de alas modificadas en forma de élitros que es una especie de estuches que cubre sus segundo par de alas membranosas.

Los coleópteros son insectos holometábolos y viven en troncos y hojas en descomposición, grava y piedras. Las zonas más abundantes para estos organismos son las aguas someras con velocidad moderada, aguas limpias, con alta concentración de oxígeno dependiendo de cada familia, la mayoría de las familias de este taxón indican aguas limpias, pero también existen individuos que son capaces de soportar ciertos niveles de contaminación orgánica.

### ❖ Orden díptera

Los dípteros (di: dos, pteron: alas) se caracterizan por poseer dos alas en estado adulto, también se considera que son uno de los grupos más diversos, complejos y ampliamente distribuidos en el mundo. Las larvas y a menudo las pupas tienen estadios acuáticos, las larvas son muy variables en su morfología aunque nunca poseen patas verdaderas (Hanson, 2010).

La mayoría de las familias de este orden son indicadoras de aguas contaminadas como es el caso de las familias Chironomidae, que soporten mayores niveles de contaminación y otras familias como los Simúlidos que requieren habitar en aguas claras y limpias.

### ❖ Orden megaloptera

Los Megalópteros (del griego megale: grande, pteron: alas, literalmente se define como “de alas grandes”) son insectos holometábolos, los adultos poseen grandes alas con venación ornamentada. Las larvas son depredadores de otros insectos y sus estadios larvales son de vida larga, pueden llegar a tolerar niveles intermedios de contaminación orgánica.

- **Clase arachnoidea**

Dentro de esta clase se encuentran los llamados ácaros de agua (Hidracarina) que son aracnoideos verdaderamente acuáticos, este grupo se observa en muchos hábitats dulceacuícolas. En etapa larval los ácaros tienen 6 patas mientras que las ninfas y adultos tienen 8, lo que los hace diferenciar de las seis patas de los insectos es su cuerpo redondeado y su ausencia de antenas.

### **6.5.2 Técnicas para recolectar macroinvertebrados acuáticos**

Ramírez (2010) afirma que existen muchos procedimientos para la recolección de macroinvertebrados de agua dulce, según el autor se toma en cuenta el tipo de estudio puede ser cualitativo o cuantitativo, también con base a qué tipo de cuerpo de agua puede ser en aguas poco profundas y en aguas profundas igualmente se toma en cuenta las facilidades del medio, evitando poner en riesgo al equipo técnico de campo (Alba-Tercedor, 2005), Ramírez también incluye que hay que considerar el tipo de sustrato (pedregosos, arcilloso) y hasta el presupuesto disponible. En general cada procedimiento tiene sus ventajas y desventajas pero no se define en lo absoluto cuál es el mejor método para muestrear (p.41).

La Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (UNSM, 2014) establece de la misma manera que existen varias técnicas de recolección, pero los más utilizados se describen a continuación (p.39-41):

a) Técnica de recolección cualitativa:

- Red tipo D: es una red que tiene una forma similar a la de una "D". Esta red se utiliza poniendo la red en contra de la corriente para que por medio de la remoción de sustratos se suspendan los organismos y se almacenen dentro de la red. En este método también es útil los coladores de cocina.
- Recolección manual o directa: consiste en depositar en un recipiente rocas, hojas, ramas, troncos sumergidos ya que en la superficie de estos se encuentran fuertemente adheridos numerosos organismos, los cuales deben

ser retirados con pinzas entomológicas o con ayuda de una pizeta para no dañar los organismos.

- Red de mano o pantalla: es una red que está compuesta por una malla de 500  $\mu\text{m}$  sujeta a dos tubos de aluminio. Este método consiste en que una persona se coloca en contra de la corriente con la red en mano, mientras tanto la otra persona se coloca a favor de la corriente y realiza movimientos con los pies o con las manos para remover los organismos del sustrato.
- b) Técnicas de recolección cuantitativa:
- Red Surber: es un marco metálico construido de 30x30 cm, que sujeta una malla (500  $\mu\text{m}$ ) de 80 cm de longitud. El tamaño de la red define calcular los organismos por metro cuadrado. El marco se coloca en el fondo y en contra de la corriente para después remover con las manos el sustrato para que los organismos queden atrapados dentro de la red. Esto se repite por lo menos tres veces en cada estación de muestreo.
  - Draga Eckman: consiste en dos estructuras en forma de pala (toman un área de 225  $\text{m}^2$ ) que se cierra mediante el envío de un mensajero o plomada, a través de una cuerda. Se utilizan para tomar muestras en fondos blandos.
  - Sustratos artificiales: consiste en sumergir en el cuerpo de agua durante 28 días una canasta con rocas u hojas para que este material sea colonizado por la fauna béntica. Este método puede expresar los resultados en número por área dependiendo de la cantidad de rocas introducidas en la canasta o en el caso de las hojas refleja resultados en gramos sustituyendo el área.

## **6.6 Sistemas de bioindicación**

Según Roldán (1999, citado en Metcalf, 1989), asegura que existen tres enfoques para analizar las respuestas de las comunidades de macroinvertebrados a la contaminación.

El enfoque saprobico: se le asigna a los organismos indicadores, un nivel de tolerancia a la contaminación orgánica. Se desarrolló para dar un índice numérico que lo nombraron índice Saprobito.

El enfoque de diversidad: en este enfoque se conoce riqueza, uniformidad y abundancia para lograr conocer la estructura comunitaria. La diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua del río.

El enfoque biótico: incluye el aspecto cualitativo de la saprobiedad porque se asigna el puntaje a la sensibilidad ecológica de los organismos, además de combinar la medida cuantitativa de la diversidad de especies encontradas.

### **6.7 El índice biológico a nivel de familia (IBF-SV-2010)**

El índice biótico a nivel de familia o índice de Hilsenhoff (1977) se origina del índice saprobico de Pantle y Buck (1955) en Alemania y del índice de Chutter (1972) en Sudáfrica (Sermeño et al, 2010).

Hilsenhoff en 1977 desarrolló este índice realizando modificaciones a los estudios de Europa y África anteriormente mencionados con el propósito de evaluar la reducción de oxígeno disuelto debido a la carga orgánica en los ríos de Norte América. Para calcular el índice biótico son utilizados organismos que usan el oxígeno disuelto como recurso vital, estos individuos se le agrupan en familias donde se les asigna a cada familia el valor de tolerancia a la contaminación.

el proyecto que originó el Índice Biológico a Nivel de Familia modificado para El Salvador (IBF-SV-2010) realizó cambios del índice original (Índice de Hilsenhoff) adaptándolo a las condiciones de la región, este se convirtió en una medida de la contaminación orgánica y debida a nutrientes que causa el descenso de oxígeno disuelto y que afecta la capacidad de los organismos acuáticos para sobrevivir (Sermeño et al 2010).

En el IBF (Índice Biológico a Nivel de Familia) los individuos sensibles a la contaminación orgánica se les asigna valores bajos de tolerancia mientras que

organismos tolerantes se les asigna valores altos que van desde 0 a 10. Por consiguiente se realiza un promedio de los valores de tolerancia para todos los individuos recolectados de un sitio de muestreo posteriormente se pondera la abundancia relativa de los taxas encontrados en cada sitio de muestreo (Sermeño et al 2010).

El IBF-SV tiene como componentes principales: el puntaje o valor de tolerancia que se determinó usando variables fisicoquímicas, el puntaje que fue dispuesto como resultados de la observación de la composición de la comunidad de invertebrados mediante distribución de la abundancia de cada grupo taxonómico por sitio de muestreo que se relacionaban con la variación de los parámetros como la altitud, temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, fosfatos y total de sólidos disueltos (Sermeño et al 2010).

El otro componente fundamental en este índice es la abundancia relativa de los organismos ya que esta es una característica propia de cada sitio y además se emplea como indicador del nivel de perturbación (Sermeño et al 2010).

En la estructura de la comunidad de invertebrados acuáticos la abundancia en conjunto con la presencia de los organismos indican perturbación, por ejemplo la estructura comunitaria en un ecosistema en condiciones naturales contiene alta diversidad de especies, con bajo números de los individuos, ejemplificando que el predominio de Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Megaloptera, algunos, Coleóptera, Hemiptera, Díptera como Simuliidae y algunos Odonatos indican buena calidad en el ecosistema acuático; Mientras que en una comunidad alterada o contaminada se define como la disminución en la diversidad de especies y el aumento de la cantidad de organismos por dar un ejemplo la dominancia de oligoquetos, Hirudineos, Dípteros como quironómidos y moluscos indican un fuerte deterioro (Roldán 2008).

## **VII. HIPÓTESIS**

La composición comunitaria de macroinvertebrados acuáticos puede determinar la calidad del agua del río Jesús, basándose en la presencia y abundancia relativa de los organismos para indicar la condición de actual del agua.

## **VIII. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **8.1. Descripción del área de estudio**

El río Jesús se localiza en el Municipio de San Rafael del Sur, Managua. Posee aproximadamente 20 Km de longitud, este río nace en el Crucero en un lugar llamados los Fierros con coordenadas (UTM-WSG-84) 16P 569943 O 1317813 N y desemboca en el río Montelimar (Océano pacífico) el mismo está ubicado en las coordenadas (UTM-WSG- 84) 16P 558548 O 1310063 N.

### **8.2. Tipo de estudio**

La presente investigación posee un enfoque cualitativo, según el diseño metodológico el tipo de estudio es descriptivo, de acuerdo con la ocurrencia de los hechos y el registro de la información el estudio abarca datos retrospectivos y por el periodo de secuencia del estudio es transversal el cual fue realizado en la estación lluviosa (septiembre 2015) y seca (enero 2016).

### **8.3. Universo de estudio**

El universo el estudio consiste en la totalidad del área que abarca el ecosistema hídrico nombrado como río Jesús en el municipio de San Rafael del Sur, el cual comprende desde el inicio de la parte alta de la unidad hídrica con el mismo nombre hasta su desembocadura en el río Montelimar.

### **8.4. Población de estudio**

La población del estudio está conformada por el número total de individuos de la comunidad de macroinvertebrados de agua dulce que pertenecen al río Jesús.



## **8.5. Muestra de estudio**

La muestra del estudio la conforman la cantidad total de grupos taxonómicos representantes de la comunidad béntica, los cuales son indicadores de calidad biológica del agua en los tres sitios de muestreo seleccionados.

### **8.5.1. Metodología para la obtención de la muestra del estudio**

Las unidades de muestreo fueron seleccionadas por conveniencia basándose en la teoría analizada en las diversas metodologías estandarizadas las mismas establecen criterios para la selección de sitios de muestreo donde informan que se tiene que considerar los puntos con mayor representatividad en el río, también realizando la observación de los impactos que tienen los sitios seleccionados (Anexo 2: Mapa de sitios de muestreo) y por consiguiente cada unidad de muestreo generó resultados propios de la calidad del agua.

En el anexo 1 (diagrama de procesos) se describen los procesos que se llevaron a cabo para lograr obtener información de la calidad del agua en los sitios analizados.

Se seleccionaron tres sitios para el levantamiento de muestras donde el primer punto nombrado como la comunidad cercana “El Chilamatillo” se seleccionó por ser uno de los puntos de la parte alta del río Jesús relativamente con menor intervención antrópica con relación a los puntos más bajos. El sitio presenta puntos cercanos donde se realiza extracción de agua por medio de bombas eléctricas que sirven para el consumo de agua potable y para agua de riego en los sembradíos de granos básicos en fincas agropecuarias cercanas al río.

La segunda estación conocida como La Cementera (ubicado en las cercanías a la planta cementera) se seleccionó como un lugar ubicado en la parte media del río donde existe un aumento en la influencia de los habitantes del municipio. Además cercano a esta estación en estudio se realizan actividades turísticas y extracción de agua potable para el uso doméstico, industrial y agropecuario.

El tercer sitio nombrado como Los Jara se eligió por ser el punto con mayor influencia por las actividades de la cabecera departamental del municipio, es donde se encuentra mayor focos de contaminación puntual río arriba, como es el caso de mayor cantidad de lavaderos, hornos artesanales de cal y además de contener mayor cantidad de desechos sólidos.

**Tabla 1.** Coordenadas (UTM-WSG- 84) de los sitios de muestreo.

| <b>Puntos</b> | <b>Sitios de muestreo</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Precisión (m)</b> | <b>Elevación (m.s.n.m.)</b> |
|---------------|---------------------------|----------|----------|----------------------|-----------------------------|
| <b>1</b>      | El Chilamatillo           | 565327   | 1313750  | 7                    | 201                         |
| <b>2</b>      | La Cementera              | 562951   | 1311077  | 5                    | 190                         |
| <b>3</b>      | Los Jara                  | 559960   | 1309904  | 4                    | 103                         |

### **8.5.2. Criterios para la selección y delimitación de los sitios para toma de muestra del estudio**

En la presente investigación se tomaron como referencia (Alba-Tercedor, 2005 y Sermeño, 2010) los siguientes criterios para seleccionar y delimitar los sitios de muestreo:

- La cobertura vegetal fue una característica importante por ello los sitios muestreados se seleccionaron por poseer sombra proporcionada por arboles medianos, grandes y espacios soleados.
- Se identificó mayor cantidad de hábitats disponibles (piedras, ramas y hojas sumergidas, vegetación en las orillas y macrófitos sumergidos), para localizar mayor diversidad de organismos.
- Se determinaron secciones de corrientes rápidas y lentas.
- Se evitaron zonas inmediatas a puentes o puntos de descargas que afectan directamente la calidad del agua.

## 8.6. Variables del estudio

La tabla 2 exhibe los parámetros analizados en las tres estaciones de muestreo, por lo que las medidas se seleccionaron para conocer la información de la condición actual en cuanto a la cantidad y calidad del recurso hídrico.

**Tabla 2.** Variables del estudio

| <b>Variables</b>              | <b>Sub-variables</b>                               | <b>Indicador</b>                        |
|-------------------------------|--|---|
| Parámetros biológicos         | Riqueza y abundancia relativa de los organismos    | Agua de calidad excelente a contaminada |
| Parámetros físicos y químicos | pH<br>Temperatura<br>Conductividad eléctrica       | Nivel de excelencia del agua.           |
| Parámetros hidrológicos       | Caudal<br>Velocidad de la corriente<br>Profundidad | Variación en invierno y verano          |

## 8.7. Materiales

A continuación se presenta la tabla de los materiales, utilizados como herramientas para la debida recolección y análisis de muestras en los sitios previamente establecidos.

| <b>Material de campo</b>  | <b>Material de laboratorio</b>   |
|---|--|
| Alcohol 70% (2 litros)<br>Cámara digital<br>Cepillo cerda suave<br>Colador<br>Cinta métrica (30 metros)<br>Cronómetro<br>Cubeta<br>Fascos plásticos (500 ml)<br>GPS<br>Pizeta<br>Termómetro | Alcohol 95% (2 litros)<br>Claves taxonómicas<br>Estereoscopio (American optical)<br>Fascos plásticos (100ml)<br>Gotero<br>Papel vegetal<br>Pinzas<br>Plato petri |

## **8.8. Métodos**

### **8.8.1. Recolección de datos directos**

La recolección de datos directa consistió en realizar cuatro visitas exploratorias al sitio de estudio, la primera (agosto 2015) consistió en una fase de reconocimiento en el área de estudio, con la finalidad de localizar y observar las principales actividades antropogénicas.

En la segunda visita (agosto 2015) conllevó la recolección de información mediante entrevistas semiestructuradas, además se establecieron las estaciones de muestreo para la posterior visita que consistió en la recolección de muestras en septiembre (2015) y enero (2016).

### **8.8.2. Recolección de datos indirectos**

Los datos indirectos lo conformó la información cualitativa expresada en mapas que reflejan representatividad del área delimitando los sitios de poca perturbación y mayor perturbación, los caminos con mayor accesibilidad a los sitios de muestreo además de incluir mapas de uso de suelos de las zonas aledañas en la unidad hídrica y como la explotación de este recurso interviene en la calidad del agua del río Jesús.

### **8.8.3. Método de muestreo del estudio**

El método que se utilizó para la recolecta de los invertebrados acuáticos en la presente investigación fue el método de muestreo recolección manual de multi-hábitats y lavado de piedras, manteniendo constante 30 minutos preestablecidos, realizando siempre el mismo esfuerzo de muestreo en cada sitio de recolección pero en distintas estaciones del año (estación lluviosa y seca).

### **8.8.4. Metodología para la recolección de muestras en el campo**

Los procedimientos que se llevaron a cabo el muestreo se basa en protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos, realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (Alba-Tercedor, 2005) y la guía estandarizada de muestreo

multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos en ríos de El Salvador (Sermeño, 2010).

Las secciones del río escogidas como sitios de muestreos poseían representatividad e igualmente mayor cantidad de hábitat posibles considerados los más propicios para el desarrollo y la diversidad de los invertebrados acuáticos como son: las zonas con corriente suave, corriente fuerte, sustrato duro, sustrato suave, vegetación acuática en sus orillas y también las sumergidas, presencia de materia orgánica en descomposición como hojarasca y madera (Sermeño 2010).

El inicio de la recolección de muestra consistió en cronometrar 30 minutos en cuenta regresiva. Dentro de una cubeta se recolectaron las piedras, grava, hojarasca y ramas en estado de descomposición, macrófitos sumergidos y raíces sumergidas donde se frotó con la mano para liberar los organismos que allí habitan y que estos se depositaran en el colador, las cantidades o porciones de cada hábitat recolectado fueron aproximadas y de igual manera se ejecutaron los mismos procedimientos en los tres sitios de muestreo (Alba- Tercedor, 2005).

Al finalizar los 30 minutos programados se procedió a cepillar y enjuagar el material obtenido dentro de la cubeta (Carrera y Fierro, 2001), luego, los restos de materia orgánica donde se encontraban los organismos se traspasaron por el colador para eliminar cualquier exceso de material y al finalizar fueron colocados en un frasco de 500 ml debidamente rotulados previamente preparados con alcohol en una concentración al 70-80%, esto para evitar que los macrozoobentos fuesen dañados en el proceso de preservación y luego se trasladaron al laboratorio para el análisis de dichos organismos (Sermeño 2010).

También se registró en un formulario previamente estructurado la georreferenciación, temperatura del agua, pH (por medio de cita pH en Septiembre 2015 y pHmetro en enero 2016), el ancho y profundidad así mismo se obtuvo la velocidad de la corriente por medio de flotadores y mediante estos datos se logró obtener el caudal del río (Basan, 2008), incluso se tomaron fotografías de situaciones relevantes cercanas a la estaciones de muestreo.

Los procedimientos para obtener el valor de conductividad eléctrica y pH, se basaron en guías estandarizadas para recolectar y preservar muestras de estos parámetros. Estas guías estipulan los siguientes procedimientos:

Antes de llenar el envase con la muestra se procedió a enjuagar dos o tres veces con el agua del río, luego se sumergieron los envases (con una abertura de aproximadamente 35 mm de diámetro, con una capacidad de 100 ml) en la columna de agua sin remover el fondo. El líquido obtenido por la sumersión se almacenaba en un recipiente 500 ml haciendo esto tres veces cada cinco minutos de inmediato se mezcló y depositó el agua en el envase de 100 ml dejando un espacio del 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica del liquido.

Una vez concluida la toma de muestras de agua superficial, los recipientes fueron sellados y rotulados con el nombre y número de la estación de muestreo, los mismos se almacenaron en un termo con hielo para mantener una temperatura cercana a 20 °C para su posterior traslado al laboratorio.

La metodología para la obtención del caudal fue la siguiente técnica:

El aforo de la corriente del río se obtuvo por medio de flotadores (Naranja) donde se seleccionó un tramo recto y uniforme libre de obstáculos (ramas, plantas acuáticas y piedras) que pudieran frenar los mismos, la longitud no podría ser menor a seis veces el ancho del cauce (Basan 2008).

Una vez tomada la longitud de la sección de aforo se divide el ancho del río en tres secciones con sus respectivas profundidades ( $h_1=0$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$ ,  $h_5=0$ ) para lanzar los flotadores en las dos extremos y en el centro del cauce. Estas secciones están conformadas por las siguientes distancias:

Distancia 1:0

Distancia 2: comprendida entre la orilla (1) y el primer flotador.

Distancia 3: comprendida entre la orilla (1) y el segundo flotador.

Distancia 4: comprendida entre la orilla (1) y el tercer flotador.

Distancia 5: comprendida entre la orilla (1) y la orilla (5), que es el ancho del cauce.

Para obtener las velocidades se delimita una sección de entrada y una sección de salida con la longitud que les separa, de esta manera se toma el flotador se lanza aproximadamente 1 metro aguas arriba de la sección inicial, cuando el objeto traspasa la sección inicial se pone en marcha el cronometro ( $t_0 = 0$ ) deteniéndolo cuando pasa la sección final ( $t_1$ ).

Luego de tomar las velocidades superficiales se promediaron, para obtener los resultados de la división de la longitud de la sección entre el tiempo promedio. Este procedimiento determinó la velocidad máxima superficial del tramo y por consiguiente, se afecto este valor con el coeficiente 0.85 para obtener la velocidad media vertical.

Según Basan (2008) el cálculo del caudal se realiza mediante la siguiente ecuación para determinar la velocidad media entre dos flotadores:

Velocidad  $_{\text{media vertical 1}} = 0$

Velocidad  $_{\text{media vertical 5}} = 0$ .

Velocidad  $_{\text{media 2-3}} = (V_{\text{media vertical 2}} + V_{\text{media vertical 3}}) / 2$

La sección entre esos dos flotadores es:

Sección  $_{2-3} = (d_3 - d_2) \times (h_2 + h_3) / 2$

Por lo tanto, el caudal que pasa entre 2 y 3 es:

$Q_{2-3} = \text{Velocidad}_{\text{media 2-3}} \times \text{Sección}_{2-3}$ .

#### **8.8.5. Metodología para el análisis de las muestras en el laboratorio**

La metodología para la obtención de pH en laboratorio se determinó mediante el siguiente método preestablecido:

Antes de medir el pH se procede a la calibrar del pHmetro mediante el uso de patrones de calibración conocidos como solución 4,0 y 7,0. Una vez calibrado el aparato se procede a la medida de pH de las muestras.

Se introdujo el electrodo de medida en el recipiente (vaso de precipitado) que contiene la muestra, removiendo continuamente hasta conseguir una medida constante de esta manera el aparato refleja las unidades de pH que contenían las muestras.

De igual manera se realiza los mismos procedimientos estipulados para obtener el valor de la conductividad eléctrica de las muestras recolectadas:

Se tomó la muestra de agua colectada y se vació en un vaso de precipitado después se introdujo el conductímetro en el recipiente que contenía el líquido acuoso y se mantuvo constante hasta conseguir la medida del valor la conductividad eléctrica para cada sitio muestreo.

Para analizar las muestras del material biológico se procedió a las siguientes operaciones:

El material biológico obtenido en los recipientes fue examinado con la ayuda de un estereoscopio con muy buena iluminación, un plato petri, una cuchara y pinzas entomológicas, se tomó de los frascos parte del material, sin colocar demasiado y de esta forma se dio inicio la búsqueda detenida de los especímenes.

Los especímenes encontrados se almacenaron por separado en un recipiente de 100 ml, estos contenían alcohol al 95%, también se plasmó en papel vegetal, la fecha del muestreo (D/M/A), tipo de muestreo, nombre del río en el que se tomó la muestra. Por consiguiente los organismos encontrados se identificaron mediante claves taxonómicas (Springer et al, 2010), en este paso se clasificó los individuos a nivel de orden, para posteriormente separarlos hasta nivel de familia y por último se cuantificó la abundancia relativa y riqueza de los especímenes.

Los datos numéricos que se obtuvieron en el conteo de los organismos encontrados, se procesaron mediante el programa Microsoft Office Excel donde se realizaron tablas y gráficos con el contenido informativo de los hallazgos en campo, para posteriormente interpretación y registro de la información en Microsoft Office Word.



Al concluir con el análisis cuantitativo de los grupos taxonómicos, se aplicó el Índice Biológico a Nivel de Familias modificado para El Salvador (IBF-SV-2010), por medio del mismo se les asignará a cada familia un valor de tolerancia o sensibilidad, y el resultado de la valoración determinará la calidad del agua y a su vez interpretará el grado de contaminación que poseen actualmente el cuerpo de agua.

#### **8.8.6. Método para el cálculo del índice biológico a nivel de familia (IBF-SV-2010)**

Para calcular el índice se anota en una columna los grupos taxonómicos encontrados en cada sitio de muestreo, en la segunda columna se expresa la abundancia numérica de especímenes identificados y en la tercera columna, el puntaje asignado que van desde 0-10 los organismos que son intolerantes a la contaminación obtienen valores bajos y los valores altos se le asignan a organismos muy tolerantes a la contaminación orgánica.








En seguida se multiplica la abundancia de cada grupo taxonómico por el puntaje asignado para cada familia ( $\text{Abundancia} \times \text{Puntaje}$ ) este valor posteriormente se divide entre el número total de individuos recolectados en la estación de muestreo ( $\text{Abundancia total}$ ). El valor del Índice Biológico a nivel de Familia se obtiene sumando estos valores y posteriormente ubicarlo dentro de los rangos de las categorías del índice y así definir qué nivel de contaminación orgánica posee el río Sermeño et al 2010.

**Tabla 3.** Demostración para obtener el valor IBF-SV-2010.

| Grupos taxonómicos sitio 1 (Verano) |                 | Abundanc.  | Ptj. IBF | Abundanc.*Ptj. | (Abund.*Ptj.)/Total. Indv. |
|-------------------------------------|-----------------|------------|----------|----------------|----------------------------|
| Clase Gastropoda                    | Hidrobiidae     | 43         | 4        | 172            | 0.34                       |
|                                     | Physidae        | 20         | 9        | 180            | 0.36                       |
| Clase Bivalvia                      | Sphaeriidae     | 4          | 4        | 16             | 0.03                       |
| Trichoptera                         | Helicopsychidae | 38         | 5        | 190            | 0.38                       |
|                                     | Hydropsychidae  | 21         | 5        | 105            | 0.21                       |
|                                     | Hidroptilidae   | 3          | 4        | 12             | 0.02                       |
|                                     | Leptoceridae    | 2          | 4        | 8              | 0.02                       |
|                                     | Philopotamidae  | 2          | 5        | 10             | 0.02                       |
| Odonata                             | Calopterygidae  | 8          | 7        | 56             | 0.11                       |
|                                     | Coenagrionidae  | 11         | 9        | 99             | 0.20                       |
|                                     | Gomphidae       | 8          | 7        | 56             | 0.11                       |
|                                     | Elmidae         | 181        | 4        | 724            | 1.44                       |
| Diptera                             | Ceratopogonidae | 7          | 8        | 56             | 0.11                       |
|                                     | Chironomidae    | 51         | 8        | 408            | 0.81                       |
|                                     | Simuliidae      | 17         | 6        | 102            | 0.20                       |
|                                     | Stratiomyidae   | 1          | 6        | 6              | 0.01                       |
|                                     | Tabanidae       | 1          | 6        | 6              | 0.01                       |
| Ephemeroptera                       | Leptohyphidae   | 76         | 6        | 456            | 0.91                       |
|                                     | Leptophlebiidae | 1          | 5        | 5              | 0.01                       |
| Megaloptera                         | Corydalidae     | 7          | 7        | 49             | 0.10                       |
| TOTAL                               | familias:20     | <b>502</b> |          |                | <b>5.41</b>                |

Fuente: Aguilar, M. (2016). Elaboración propia.

**Tabla 4.** Categorías de calidad del agua según el resultado del cálculo del IBF-SV-2010.

| Valor IBF-SV-2010 | Categoría   | Calidad del agua | Interpretación del grado de contaminación orgánica     |
|-------------------|---|------------------|--|
| 0.00–3.75         |  1 | Excelente        | Contaminación orgánica improbable                      |
| 3.76–4.25         |  2 | Muy buena        | Contaminación orgánica leve posible                    |
| 4.26–5.00         |  3 | Buena            | Contaminación orgánica probable                        |
| 5.01–5.75         |  4 | Regular          | Contaminación orgánica bastante sustancial es probable |
| 5.76–6.50         |  5 | Regular pobre    | Contaminación orgánica sustancial probable             |
| 6.51–7.25         |  6 | Pobre            | Contaminación orgánica muy sustancial probable         |
| 7.26–10.00        |  7 | Muy pobre        | Contaminación orgánica severa probable                 |

Fuente: Sermeño et al. (2010).

## IX. RESULTADOS

### 9.1. Composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca del río Jesús

En las dos campañas de muestreo realizadas en los tres sitios analizados en Septiembre 2015 y Enero 2016, se logró identificar la presencia de 28 taxa pertenecientes a la microcuenca del río Jesús donde prevaleció el Phylum Arthropoda conformado por 24 familias de la clase insecta encontrando mayor frecuencia el orden Coleoptera, Ephemeroptera y Trichoptera así mismo se encontró el Phylum Mollusca con 3 representantes: Clase Bivalvia (1) y Gastropoda (2) y en menor cantidad se identificó el Phylum Annelida representado por la Clase Hirudinea (1).

Entre los organismos recolectados se detectó con mayor cantidad y variedad de familias el orden Díptera conformado por las siguientes familias Ceratopogonidae, Chironomidae, Simuliidae, Stratiomyidae, Tabanidae, Tipulidae. Estos grupos taxonómicos son considerados los taxa con mejor capacidad para adaptarse a la contaminación pero la familia Simuliidae también se encuentra en aguas oligotróficas.

De igual manera se recolectaron familias de importancia ecológica como Trichoptera (Fam. Helicopsychidae, Hidroptilidae, Hidropsychidae, Leptoceridae Philopotamidae), Coleóptera (Fam. Elmidae, Hidrophilidae, Dysticidae), Ephemeroptera (Fam. Baetidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae), Odonata (Fam. Calopterygidae, Coenagrionidae, Gomphidae, Libellulidae), Hemíptera (Fam. Veliidae), Lepidóptera (Fam. Crambidae) y Megaloptera (Fam. Corydalidae).

Y en menor cantidad y variedad se identificaron invertebrados como gastropodos (Fam. Hidrobiidae, Physidae), Bivalvos como Sphaeriidae, e Hirudineos pertenecientes la familia Glossiphonidae. Los taxa anteriormente mencionados se incluyen como tolerantes a la baja concentración de oxígeno.

En la tabla 5 expone el total de taxa considerados como indicadores biológicos dependiendo del estado o contenido de materia orgánica del agua donde habitan estos macrozoobentos.

Demostrando que más de la mitad de los grupos taxonómicos encontrados coinciden en ser taxa que necesitan oxígeno disuelto para finalizar sus ciclos biológicos dentro del agua pero cabe de destacar que también presentan ser tolerantes en niveles medios y bajos a la contaminación orgánica lo que significa que las condiciones del ecosistema hídrico mantiene ciertos parámetros en circunstancias estables para mantener la variedad de familias identificadas.

**Tabla 5.** Grupos taxonómicos identificados en el río Jesús en septiembre 2015 y enero 2016.

| Categorías Taxonómicas |            |             |                 | Estado ecológico del agua          |
|------------------------|------------|-------------|-----------------|------------------------------------|
| Phyllum                | Clase      | Orden       | Familias        |                                    |
| Annelida               | Hirudinea  | -           | Glossiphoniidae | Ligeramente contaminadas           |
| Mollusca               | Gastropoda | -           | Hidrobiidae     | Ligeramente contaminadas           |
|                        |            |             | Physidae        | Aguas contaminadas                 |
|                        | Bivalvia   | -           | Sphariidae      | Limpias a ligeramente contaminadas |
| Arthropoda             | Insecta    | Trichoptera | Helicopsychidae | Limpias a ligeramente contaminadas |
|                        |            |             | Hydropsychidae  | Limpias a ligeramente contaminadas |
|                        |            |             | Hidrottilidae   | Poca contaminación                 |
|                        |            |             | Leptoceridae    | Limpias a ligeramente contaminadas |
|                        |            |             | Philopotamidae  | Limpias a ligeramente contaminadas |
|                        |            | Odonata     | Calopterygidae  | Ligeramente contaminadas           |
|                        |            |             | Coenagrionidae  | Contaminación moderada             |

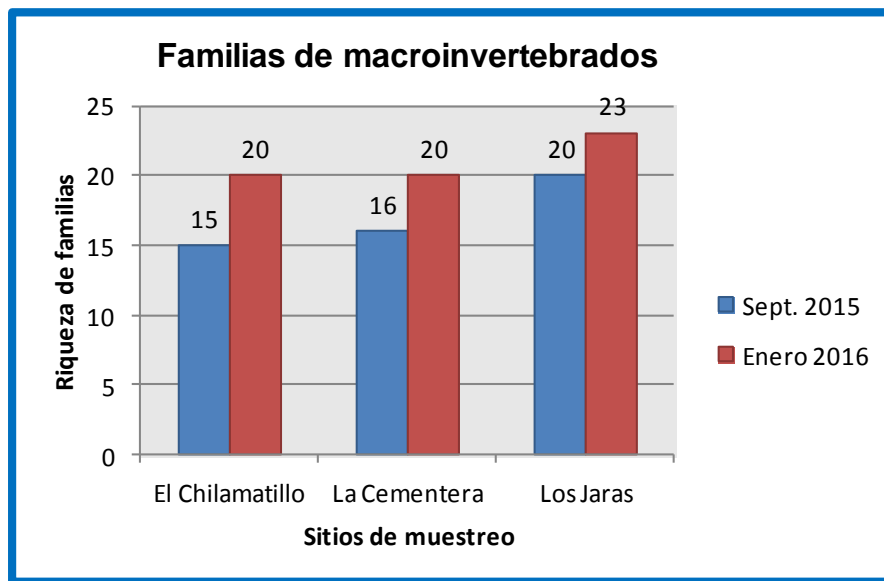
|  |  |               |                 |  |
|--|--|---------------|-----------------|--|
|  |  |               | Gomphidae       | Ligeramente contaminadas                     |
|  |  |               | Libellulidae    | Contaminación moderada                       |
|  |  | Coleóptera    | Elmidae         | Con mucho detritus                           |
|  |  |               | Dysticidae      | Con mucha materia orgánica en descomposición |
|  |  |               | Hidrophilidae   | Con mucha materia orgánica                   |
|  |  | Diptera       | Ceratopogonidae | Aguas con abundante materia orgánica         |
|  |  |               | Chironomidae    | Aguas muy contaminadas                       |
|  |  |               | Simuliidae      | Limpias a ligeramente contaminadas           |
|  |  |               | Stratiomyidae   | Abundante materia orgánica                   |
|  |  |               | Tabanidae       | Abundante materia orgánica en descomposición |
|  |  |               | Tipulidae       | Con abundante materia orgánica               |
|  |  | Ephemeroptera | Baetidae        | Limpias a ligeramente contaminadas           |
|  |  |               | Leptohyphidae   | Limpias a degradadas                         |
|  |  |               | Leptophlebiidae | Limpias a ligeramente contaminadas           |
|  |  | Megaloptera   | Corydalidae     | Limpias a ligeramente contaminadas           |
|  |  | Lepidoptera   | Crambidae       | Limpias a ligeramente contaminadas           |
|  |  | Hemiptera     | Veliidae        | Limpias a ligeramente contaminadas           |

Fuente: Roldán (2008), Springer et al (2010), CIRA-UNAN (2012).

### 9.1.1. Riqueza de familias de macroinvertebrados identificadas en el río Jesús

Las campañas de muestreo realizadas en Septiembre 2015 y Enero 2016 señalaron que los grupos taxonómicos recolectados conservaron un rango equitativo entre 15 a 20 taxa en invierno mientras que en verano se encontraron de 20 a 23 taxa, por lo que se deduce que las condiciones fisicoquímicas mantuvieron la aptitud para conservar un determinado equilibrio, sin ninguna alteración considerable.

Grafico 1. Riqueza de familias de macroinvertebrados acuáticos del río Jesús identificados en Septiembre (2015) y Enero (2016).



Fuente: Aguilar, M. (2015- 2016). Elaboración propia.

En septiembre del 2015 se pudo identificar que existió menor número de familias en el punto 1 ya que en teoría las investigaciones realizadas en otras regiones del continente establecen que se encuentra mayor riqueza de familias en la cabecera de los ecosistemas fluviales (*definición de río continuo*) cabe de destacar que también se hace válido que en ocasiones no se aplica con rigurosidad esta teoría ya que la composición bentónica cambia dependiendo de la velocidad de corriente, la granulometría del sustrato y el contenido de materia orgánica del sitio

en estudio, incluyendo la adaptabilidad fisiológica y morfológica de los organismos para poder sobrevivir a tales circunstancias.

En el primer sitio analizado en invierno 2015 se notó la presencia de la familia Glossiphonidae (Hirudinea) y Veliidae (hemíptera) estos dos grupos taxonómicos hicieron notable ausencia en la segunda campaña de muestreo pero estuvieron representados por taxa con igual importancia taxonómica como Corydalidae (Megaloptera) y Philopotamidae (Tricoptera). En el primer punto analizado en verano se observó un aumento de cinco familias como Leptoceridae (Tricoptera), Gomphidae (odonata), Ceratopogonidae, Simuliidae y Tabanidae las últimas tres taxa son dípteros pertenecientes a aguas con cierto grado de contaminación excepto Simuliidae pertenece sistemas con poca contaminación.

La regulación del curso fluvial por medio de represas como lo es el caso del punto 2 induce a discontinuidad en los gradientes y patrones de zonación en los ríos. La regulación del flujo altera las variabilidades ambientales aguas abajo, los efectos indirectos del flujo son fundamentales en estructurar las comunidades bióticas (Ward 1982; Petts 1984; Walker 1985; Dudgeon, 1992).

En el punto 2 (invierno 2015) la cantidad grupos taxonómicos aumentó con respecto a el primer punto en invierno, mientras que en verano en el mismo punto sucedió la desaparición de la familia Helicopsychidae siendo recuperado con otro organismo de igual función e igual valor taxonómico como lo es Leptoceridae (tricoptera) además se consideró el aumento de 4 familias mas como lo son Dysticidae (coleópteros), Stratiomyidae y Simuliidae (dípteros) y Philopotamidae (tricoptera).

Los autores (Ward 1982; Petts 1984; Walker 1985; Dudgeon, 1992) afirman que los cambios por intervención antrópica provocan modificaciones en la comunidad acuática, por ende se afirma que el cambio surgió por estas interrupciones como lo es el caso de la represa conocida como El Salto.

De igual manera los taxa recolectados en el tercer punto mantuvo mayor número de familias tanto en septiembre 2015 como en enero 2016, lo cual se considera contradictorio en los patrones de zonación establecidos para los ríos pero en este caso se estima que la variabilidad del caudal posiblemente provoque un arrastre de organismos hacia los sitios bajos con menor altitud, lo que provoca que en la estación de verano se establezca mayor estabilidad para estructurar y funcionar bajo los procesamientos de aguas arriba.

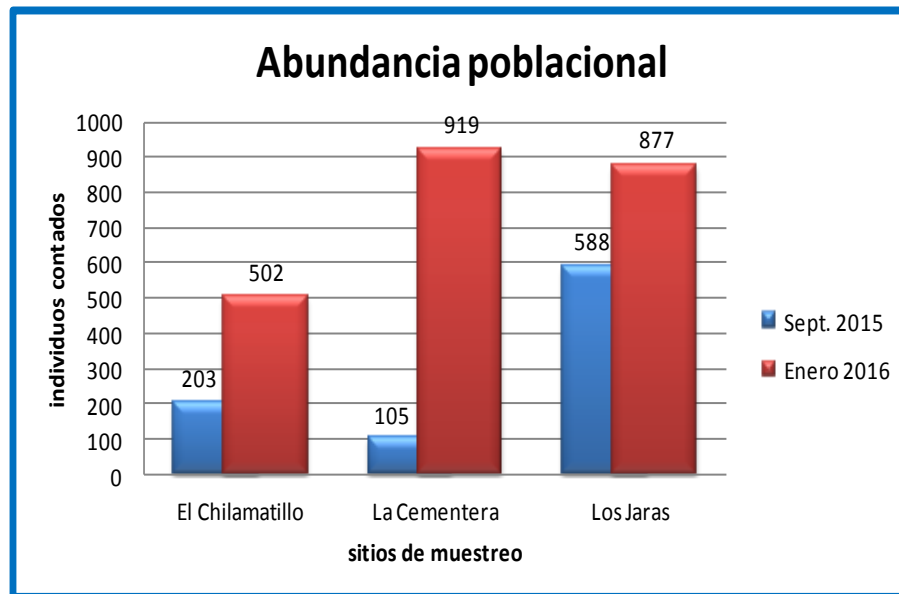
En Septiembre (2015) se identifico en el punto Los Jara la familia Libellulidae (odonata) y Crambidae (lepidóptera) las mismas que desaparecieron en verano deduciendo que la colonización de grupos taxonómicos como Dysticidae (Coleóptera) e Hidroptilidae (Trichoptera) realizaron el restablecimiento de las funciones de odonatos y lepidópteros, así mismo aumentó la cantidad de vegetación en las orillas y organismos propios de estos hábitats como son las familias Hydrophilidae (Coleóptera), Stratiomyidae (Díptera), Veliidae (Hemiptera) que no se encontraron en este punto en invierno.



### 9.1.2. Abundancia poblacional de macroinvertebrados acuáticos del río Jesús

De acuerdo con la abundancia poblacional se observó que la mayor cantidad de individuos colectados fue en orden ascendente desde el punto alto hasta el punto bajo, el aumento en la cantidad de individuos recaudados en las dos épocas del año se dio el punto medio y bajo en comparación al primer sitio.

Grafico 2. Abundancia poblacional de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca del río Jesús, en la parte alta, media y baja en septiembre 2015 y enero 2016.



Fuente: Aguilar, M. (2015- 2016). Elaboración propia.

En la primera campaña de muestreo (septiembre 2015) en el sitio conocido como Chilamatillo se recolectaron un total de 203 especímenes, la tabla 6 muestra que del total de individuos contados estuvo dominado en un 72.32% por las familias Elmidae, Helicopsychidae y Glossiphonidae estos grupos taxonómicos son indicadores de la presencia de materia orgánica compuesta por hojarasca y perifiton, de igual manera en el punto 2 de la primera campaña de muestreo prevalecieron las familias Helicopsychidae, Elmidae, Leptohyphidae y Leptophlebiidae con un 63.81% del número total de individuos y en el último sitio (Los Jara) se identificó la mayor abundancia con 588 individuos los que estuvieron

dominando la familia leptohyphidae, Elmidae y Helicopsychidae con un 73.48% del la cantidad total de individuos colectados en este punto. Los grupos taxonómicos anteriormente expuestos son considerados indicadores calidad del agua regular según el IBF.

**Tabla 6.** Familias de macroinvertebrados acuáticos dominantes en cada sitio de muestreo en Septiembre (2015).

| Sitios de muestreo | Septiembre 2015        |            |       | Indicadores según el IBF-SV-2010 |
|--------------------|------------------------|------------|-------|----------------------------------|
|                    | Categorías Taxonómicas | Abundancia | %     |                                  |
| El Chilamatillo    | Helicopsychidae        | 95         | 46.8  | Aguas de calidad regular         |
|                    | Glossiphoniidae        | 29         | 14.29 | Aguas de calidad regular a mala  |
|                    | Elmidae                | 23         | 11.23 | Aguas de calidad buena a regular |
| La Cementera       | Leptohyphidae          | 18         | 17.14 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Elmidae                | 17         | 16.19 | Aguas de calidad buena a regular |
|                    | Helicopsychidae        | 17         | 16.19 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Leptophlebiidae        | 15         | 14.29 | Aguas de calidad regular         |
| Los Jara           | Leptohyphidae          | 223        | 37.93 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Elmidae                | 128        | 21.77 | Aguas de calidad buena a regular |
|                    | Helicopsychidae        | 81         | 13.78 | Aguas de calidad regular         |

Fuente: Aguilar, M. (2015). Elaboración propia.

En enero (2016) se realizó la segunda campaña de muestreo en el que se recolectó la mayor cantidad de individuos a diferencia de invierno 2015 debido a que la comunidad acuática presenta patrones diferenciales con relación a la época del año.

En los periodos lluviosos las precipitaciones provocan modificaciones en la cantidad y diversidad de organismos, por el contrario en periodos secos existe menos mezcla de materiales y la estabilidad en la columna de agua y el sustrato, esto ayuda a definir que la menor movilidad en periodos de estiaje lo que contribuye a la colonización de las poblaciones acuáticas y por ende incrementan los valores en cantidad y diversidad de familias en esta época.

En el primer sitio de muestreo en Enero 2016 conocido como Chilamatillo se recolectaron 502 individuos donde el 61.36% fueron representados por las familias

Elmidae, Leptohiphidae y Chironomidae, este último apareciendo en mayor abundancia en comparación a la primera campaña de muestreo, destacan que las dos últimas familias son características de aguas con mala calidad.

En el segundo punto (enero 2016) se obtuvo la cantidad de 919 especímenes de ellos más de la mitad estuvo conformado por la familia leptohiphidae (52.19%) seguido de Chironomidae (13.32%) y Elmidae (10.15%) resultando que estas tres taxa equivalen a 75.66% del total de especímenes recolectados. El aumento en la población de Leptohiphidae esto afirma que existió una alteración en la comunidad hídrica, ya que estos organismos son rapadores de perifiton, al existir un aumento del mismo induce que existió un enriquecimiento y mayor carga orgánica en sitio de muestreo.

En el punto 3 conocido como Los Jara se recolectaron 877 individuos conformados en un 70.24% las siguientes familias: Elmidae (23.03%) Leptohiphidae (19.27%) y Chironomidae (14.37%) de igual manera manteniendo estas tres familias con mayor frecuencia y abundancia en los tres sitios analizados en enero 2016.

La tabla 7 expone los grupos taxonómicos anteriormente descritos con su respectiva abundancia poblacional y sus respectivos porcentajes, incluyendo su característica indicadora según el índice biológico a nivel de familias.

**Tabla 7.** Familias dominantes en cada sitio de muestreo en época de verano (2016).

| Sitios de muestreo | Enero 2016             |            |       | Indicadores según el IBF-SV-2010 |
|--------------------|------------------------|------------|-------|----------------------------------|
|                    | Categorías Taxonómicas | Abundancia | %     |                                  |
| El Chilamatillo    | Elmidae                | 181        | 36.06 | Aguas de calidad buena a regular |
|                    | Leptohyphidae          | 76         | 15.14 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Chironomidae           | 51         | 10.16 | Aguas de calidad mala            |
| La Cementera       | Leptohyphidae          | 479        | 52.19 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Chironomidae           | 122        | 13.32 | Aguas de calidad mala            |
|                    | Elmidae                | 93         | 10.15 | Aguas de calidad buena a regular |
| Los Jara           | Elmidae                | 202        | 23.03 | Aguas de calidad buena a regular |
|                    | Leptohyphidae          | 169        | 19.27 | Aguas de calidad regular         |
|                    | Chironomidae           | 126        | 14.37 | Aguas de calidad mala            |

Fuente: Aguilar, M. (2016). Elaboración propia.

## 9.2. Resultados del IBF-SV-2010 de acuerdo a la composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en septiembre (2015) y enero (2016) en el río Jesús.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la composición comunitaria de macrozoobentos la tabla 8 exhibe que los niveles de contaminación orgánica en las tres estaciones de muestreo en época de precipitación (sept. 2015) además muestra que los valores del índice oscilaron en un estado regular para los sitios 1, 2 y 3 según el IBF-SV-2010.

**Tabla 8.** Valores de abundancia, riqueza taxonómica y calidad del agua según el IBF-SV-2010 en los 3 sitios de muestreo en septiembre 2015.

| Valoraciones                  | Estaciones de muestreos (Septiembre 2015) |            |            |
|-------------------------------|---|------------|------------|
|                               | Estación 1                                | Estación 2 | Estación 3 |
| Índ. Biot. Fam. (IBF-SV-2010) | 5.29                                      | 5.65       | 5.55       |
| Calidad del agua              | Regular                                   | Regular    | Regular    |
| Total de individuos           | 203                                       | 105        | 588        |
| Total de familias             | 15  | 16         | 20         |

Fuente: Aguilar, M. (2015). Elaboración propia.

Se hace énfasis que la variación en la riqueza de familias se modifica en cada uno de los sitios analizados pero mantiene el valor del IBF en igual condición de “regular”, por lo que se argumenta que la utilidad del índice es que toma en cuenta la presencia y abundancia de los individuos encontrados en los puntos muestreados y no se ve afectado por solamente por la riqueza de taxa. Los organismos tienen valor para interpretar el grado de perturbación en el ecosistema acuático por ende en coherencia con la cantidad de especímenes y su nivel de tolerancia define que grado de perturbación existente en cuerpo de agua.

De acuerdo anteriormente expuesto en el periodo de invierno la tabla 7 indica los porcentajes de las familias Helicopsychidae (Trichoptera), Leptohyphidae (Ephemeroptera) y Elmidae (Coleóptera), presentan valores por encima la mitad de la población total de los especímenes, siendo estas familias las que más predominaron para los tres puntos y además son consideradas como indicadores de aguas con un nivel de contaminación orgánica sustancial.

De la misma manera la tabla 9 ilustra la calidad del agua en enero 2016, la misma expone que se produjo un aumento de contaminación orgánica del ecosistema hídrico ya que los valores del IBF en el segundo y tercer punto transcurrieron de la categoría regular en estación lluviosa a poseer calidad regular pobre en estación seca.

**Tabla 9.** Valores de abundancia, riqueza taxonómica y calidad del agua según el IBF-SV-2010 en los 3 puntos de muestreo en Enero 2016.

| Valoraciones                  | Estaciones de muestreos (Enero 2016) |               |               |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
|                               | Estación 1                           | Estación 2    | Estación 3    |
| Índ. Biot. Fam. (IBF-SV-2010) | 5.41                                 | 6.02          | 6.10          |
| Calidad del agua              | Regular                              | Regular pobre | Regular pobre |
| Total de individuos           | 502                                  | 919           | 877           |
| Total de familias             | 20                                   | 20            | 23            |

Fuente: Aguilar, M. (2016). Elaboración propia.

El cuadro también expone que en la estación 1 se categoriza como regular, igual con relación a los resultados en periodo lluvioso, donde el aumento de la riqueza

de taxa es notorio en el primer, segundo y tercer sitio, por tanto se identifica que la relevancia en este periodo (enero 2016) es el aumento de familias indicadoras de aguas con mala calidad. Además la proliferación de las familias Leptohyphidae y Chironomidae son evidencia que del indudable deterioro que existe en el recurso hídrico.

Se demuestra que por medio del análisis en invierno 2015 y verano 2016 es una referencia para observar cambios en cada periodo climático, pero lo adecuado para determinar de manera integral la calidad del cuerpo de agua sería un biomonitoreo a largo plazo. Pero el análisis obtenido actualmente sobre la composición comunitaria de macroinvertebrados reveló por medio del IBF-SV-2010, que el río Jesús contiene la calidad del agua entre regular y regular pobre lo que detecta un deterioro inequívoco en el ecosistema acuático y su entorno.

El mapa 1 (anexo 2) el cual muestra el uso actual de suelos en la microcuenca del río Jesús brinda información sobre la explotación de los recursos en dicha unidad hídrica por lo que simboliza que más de 1500 Ha la conforman los pastizales, incluyendo la explotación de la tierra para sembradíos de musáceas (6.23 Ha), cultivos anuales (53.87Ha), cultivo de pastos (7.92 Ha), suelo sin vegetación (26.16 Ha) y áreas humanizadas (286.18 Ha) lo cual representa que más del 35% del territorio total de la microcuenca es explotado por actividades antropogénicas por lo que esta condición genera perjuicios incuestionables hacia el recurso de agua superficial.

## X. ANÁLISIS O DISCUSIÓN

### 10.1. Análisis de los valores de temperatura, conductividad eléctrica, pH y caudal del río Jesús

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos para el estudio en el momento de muestreo se realizaron acorde a la disposición de material obtenido como termómetro, conductímetro y pHmetro los cuales revelaron las condiciones actuales de la temperatura, conductividad eléctrica y pH especificando las siguientes circunstancias:

El funcionamiento de los ecosistemas acuáticos está regulado por la temperatura, uno de los factores fundamentales para el desarrollo de las comunidades acuáticas. En estación lluviosa (2015) las temperaturas que se registraron en el río Jesús oscilaron entre 26-29 °C desde el primer punto hasta el tercero respectivamente, mientras que en estación seca se obtuvieron valores entre 26-27 °C. Por lo que se consideró que no existió ninguna variación drástica que genere desventajas en las comunidades acuáticas.

El pH es otro factor abiótico importante para que se desarrollen las comunidades acuáticas. El nivel de pH determinado en la época de invierno revelaron unidades de pH de 8 para los tres estaciones de muestreo por tanto en época de verano los niveles de este parámetro balancearon entre 7.25- 7.62. Estos datos muestran que el ecosistema acuático mantuvo valores dentro de los intervalos permisibles para el desarrollo de la vida acuática que son desde 6.5-8.5 (Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2008).

Los valores de conductividad eléctrica en época de verano oscilaron entre 419.9-436.6 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), los niveles más altos de conductividad se encontraron en el punto bajo (Los Jara). La conductividad en los sistemas continentales varían entre 50-1500 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), los sistemas acuáticos fuera de este rango indican aguas no adecuadas para la vida acuática, pero entre otros autores como James et al 1982

afirma que las aguas con conductividad hasta 2000 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) son permitidas para ser utilizadas en riegos.

En relación a los parámetros hidrológicos que se llevaron a cabo en las dos campañas de muestreo, se verificó que el caudal del río Jesús presentó en septiembre y enero un promedio de 0.68- 0.65 ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ). La escasa variación en los dos periodos del año estuvo influenciada por un régimen de lluvia de un año niño (INETER, 2014-2015) ante esta situación el ecosistema hídrico tiene la capacidad para permitir la perseverancia del caudal basal en época de estiaje lo que favorece a la comunidad de macroinvertebrados bénticos a la hora de estructurar y moldear las comunidades bentónicas.

## **10.2. Análisis de información biológica obtenida en septiembre 2015 y enero 2016 en el río Jesús**

En la primera campaña de muestreo se obtuvo que en las tres estaciones analizadas los resultados en la calidad del agua fueran calificados como regular, interpretando según el IBF la contaminación orgánica bastante sustancial es probable. Ya que los 25 taxa identificados prevalecieron los grupos como tricópteros (Helicopsychidae, Hidropsychidae), ephemeropteros (Leptohyphidae, Leptophlebiidae), coleópteros (Elmidae), Sphaeriidae, Glossiphoniidae, Physidae, Simuliidae y Chironomidae. Estos especímenes en condiciones naturales requieren el oxígeno disuelto para sobrevivir pero cabe de destacar que también toleran cierto grado de contaminación orgánica.

Ante esta situación se justifica que la existencia de la represa conocida como El Salto (ubicada aproximadamente 1,5 km río arriba de la segunda estación de muestreo) a pesar de ser una intervención que modifica el caudal del río, genera beneficios para las poblaciones acuáticas ya que al pasar por la estructura rocosa genera un flujo turbulento que ayuda a oxigenar el agua, misma que permite la mantención de la comunidad hídrica.



En cuanto a la segunda campaña de muestreo (enero 2016) el primer sitio de estudio se mantuvo con la misma condición de contaminación probable según el valor del índice biológico utilizado, con una diferencia poco variable. Se deduce que la falta de precipitaciones y la presencia de tacaales cercanos a la unidad de muestreo pudieron haber mantenido las condiciones del ecosistema hídrico.

En la estación 2 y 3 de este mismo periodo (enero 2016) se obtuvo un cambio importante ya que según el IBF-SV-2010 ocurrió una reducción en la calidad del agua pasando de regular a regular pobre. La diferencia que existe entre estos con respecto a la primera campaña es que se presentó que en los 26 grupos taxonómicos identificados se produjo un aumento en la población de Leptohyphidae, Chironomidae, Ceratopogonidae, Coenagrionidae, Calopterygidae, Physidae el aumento de estas familias advierte que la contaminación orgánica ha aumentado.

## XI. CONCLUSIONES

Los aportes de materia orgánica, nutrientes y sustancias nocivas para el cuerpo de agua son inevitables por el contacto directo que existe con el recurso natural y la necesidad que la población tiene para realizar las actividades de subsistencia.

Acorde con la información recaudada sobre las actividades antropogénicas en la microcuenca del río Jesús, la presente investigación interpreta que las actividades como la explotación del recurso hídrico, las actividades agrícolas y pecuarias, la deforestación del bosque ripario y el mal manejo de los residuos sólidos y líquidos, están incidiendo negativamente en la calidad del agua del río.

La temperatura del agua en el río fluctuó dentro de los promedios de temperatura perteneciente a la ubicación del cuerpo de agua, los macroinvertebrados obtenidos indican que las condiciones del cuerpo de agua eran permisibles para el desarrollo del ciclo biológico de los mismos.

La conductividad eléctrica obtenida en cada uno de los sitios muestreados presentó valores dentro del intervalo que se le asignan a las aguas que contienen mineralización moderada de esta manera se dedujo que posee la disposición para mantener la diversidad de familias bentónicas encontradas.

El pH obtenido en las dos campañas de muestreo estuvieron dentro de los rangos para sostener la comunidad de zoobentos los cuales se encuentran en un intervalo de 7-8 estos valores son cercanos a la neutralidad lo que favorece a dichos organismos, a pesar de las variaciones existentes en su entorno.

La estructura y composición de la comunidad de macrozoobentos evidencian que la contaminación orgánica en el recurso hídrico existe, la presencia de familias como Glossiphoniidae (Hirudenea), Physidae (Gastropodo), Chironomidae (Diptera) y Coenagrionidae (Odonata) interpretan que el recurso hídrico presenta niveles de contaminación orgánica sustancial según el IBF, pero cabe destacar que la dimensión de la polución en el río Jesús no han provocado el total deterioro

del ecosistema acuático ya que la presencia de las familias Baetidae y Leptophlebiidae (Ephemeroptera), así como la familia Simuliidae (díptera) son consideradas grupos taxonómicos indicadores de calidad buena a regular lo cual consta que la situación del río contienen cierto grado de condición estable para albergar a estos organismos.

La calidad del agua en el río Jesús expresada por medio de la composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos ha generado información básica para reconocer y categorizar el nivel de contaminación orgánica (por medio del IBF-SV-2010), por ende la metodología empleada en la presente investigación podría ser empleada por las autoridades locales competentes las cuales podrían seguir realizando campañas de muestreo para establecer criterios de calidad definitivos y de esta manera lograr realizar un seguimiento ambiental al recurso hídrico.

## **XII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda al gobierno municipal realizar el biomonitoreo acuático a largo plazo como una alternativa válida y efectiva para ser aplicado en los demás ríos del municipio y de esta manera continuar obteniendo información sobre las condiciones de estos sistemas acuáticos.

Se requiere que las autoridades como INAFOR, MARENA y la alcaldía del municipio ejecuten un plan de reforestación para alcanzar la recuperación del bosque ripario y así lograr la redención de especies nativas y otorgarle protección al ecosistema acuático.

Se propone al MINED, MINSA, MARENA, ONG's y alcaldía municipal que elabore un plan de educación ambiental en las comunidades asentadas en la microcuenca con la finalidad de sensibilizar y concienciar a la población sobre los problemas ambientales del ecosistema acuático, con miras a mejorar el manejo de residuos sólidos y aguas residuales que oriente a los pobladores a los cambios de valores sociales buscando la contribución de una comunidad capacitada e informada sobre la problemática ambiental que los afecta directamente como es el caso del deterioro en la calidad del agua.

Se sugiere a las autoridades como el MAGFOR, MARENA, ONG's y gobierno municipal emprender acciones con vías a la conservación de suelos y agua que permita el máximo aprovechamiento de la capa fértil del suelo y a la misma vez reducir los efectos adversos de la erosión y la sedimentación sobre los cuerpos de agua superficiales.

### XIII. BIBLIOGRAFÍA

Alba-Tercedor J. et al. (2005). Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua. CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro, España). P. 19-20, 23-24.

Basan M. (2008). Aforadores de corrientes de agua. INTA-EEA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- Estación Experimental Agropecuaria) Santiago del Estero. Argentina.

Carrera, C. y Fierro, K. (2001) Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia. Quito. EC. ISBN: 9978-41-964-0.

Contaminación hídrica. Wikipedia, La enciclopedia libre (en línea). Consultado en abril del 2016.

CIRA/UNAN-Managua (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua) (2012). Evaluación sistemática de la calidad y disponibilidad de las aguas del Río Gil González y sus tributarios más importantes.

CIRA/UNAN-Managua (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua) (2013). Estudio de calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del Río Viejo.

Departamento de Managua, Nicaragua; Municipio de San Rafael del Sur. Manfut.org (en línea). Consultado en Septiembre 2015.

Díaz Cano L. A, (2010). Estudio comparativo de índices de calidad de agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio Rio Loa. Universidad Católica del Norte, Chile. Facultad de ciencias, Departamento de química.

Elosegi A., Sabater S. (2009). Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial. Fundación BBVA, Bilbao, España. ISBN: 978-96515-87-1.

Ficha Municipal. (1990). Alcaldía de San Rafael del Sur, Managua Nicaragua.

Figueroa R; et al. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76: 275-285 (en línea). Consultado en marzo 2016.

G. de la Lanza; Hernández S; Carbajal J. L; (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación "Bioindicadores" (en línea). Consultado en marzo 2015.

Herbas, R; Rivero F; González A. (2006). Indicadores biológicos de calidad de agua. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de ciencias y tecnología. Programa de ingeniería en gestión ambiental. Cochabamba, BO.

Lozano Ortiz, Liz. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, diciembre, 5-11p.

Roldán Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(88): 375-387. ISSN 0370-3908.

Roldan, G; Ramírez J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. 2 ed. Medellín; Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales- Accefyn- Universidad Católica de Oriente- UCO- Editorial Universidad de Antioquia. ISBN: 978-958-714-144-3.

Salusso, M. M. (2005). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la alta cuenca del Juramento, Salta. Biblioteca digital de la facultad de ciencias exactas y naturales. Universidad de Buenos aires.

Segnini S. (2003). El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad ecológica de los cuerpos de agua corrientes. Sociedad Venezolana de Ecología. Ecotrópicos.

Sermeño Chicas, J. M. et. al. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010).

Springer, M., Ramírez, A. y Hanson, P. (2010). Revista de Biología Tropical. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. San José Costa Rica-Volumen 58 (Supl.4). ISSN-0034-7744.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Departamento de Limnología e Ictiología, Lima: Ministerio del Ambiente (2014). P.38-39. ISBN: 978-612-4174-15-5.

Velásquez et al. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-X. MEX.

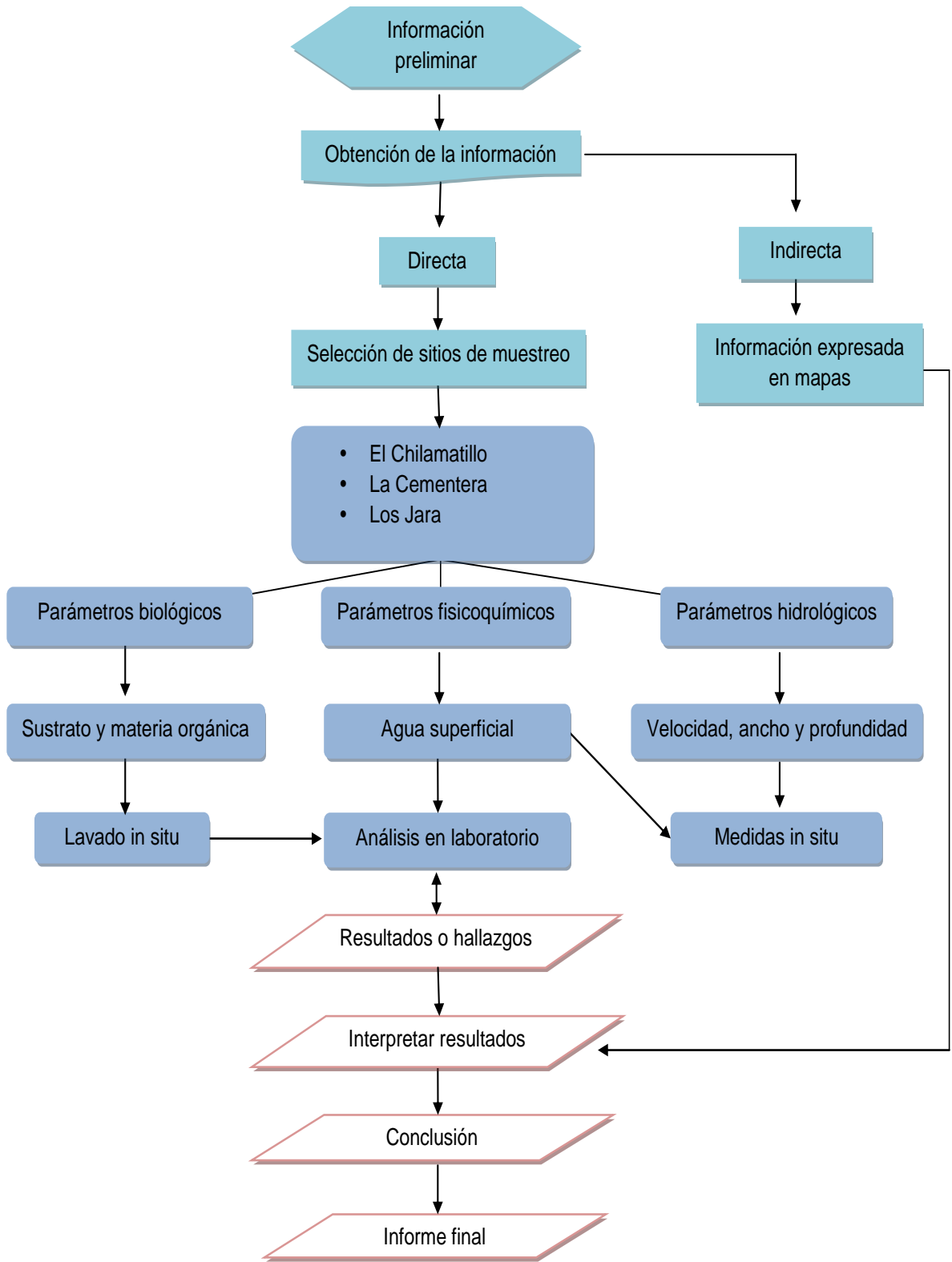
Vicuña Redondo et al (1983). El río: Aspectos limnológicos. Centro de edafología y biología aplicada. Salamanca.

Zamora González, H. (2001). El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas epicontinentales naturales de Colombia. Departamento de Biología e Instituto de estudios de postgrados, Universidad del Cauca, Popayán.

## Anexos

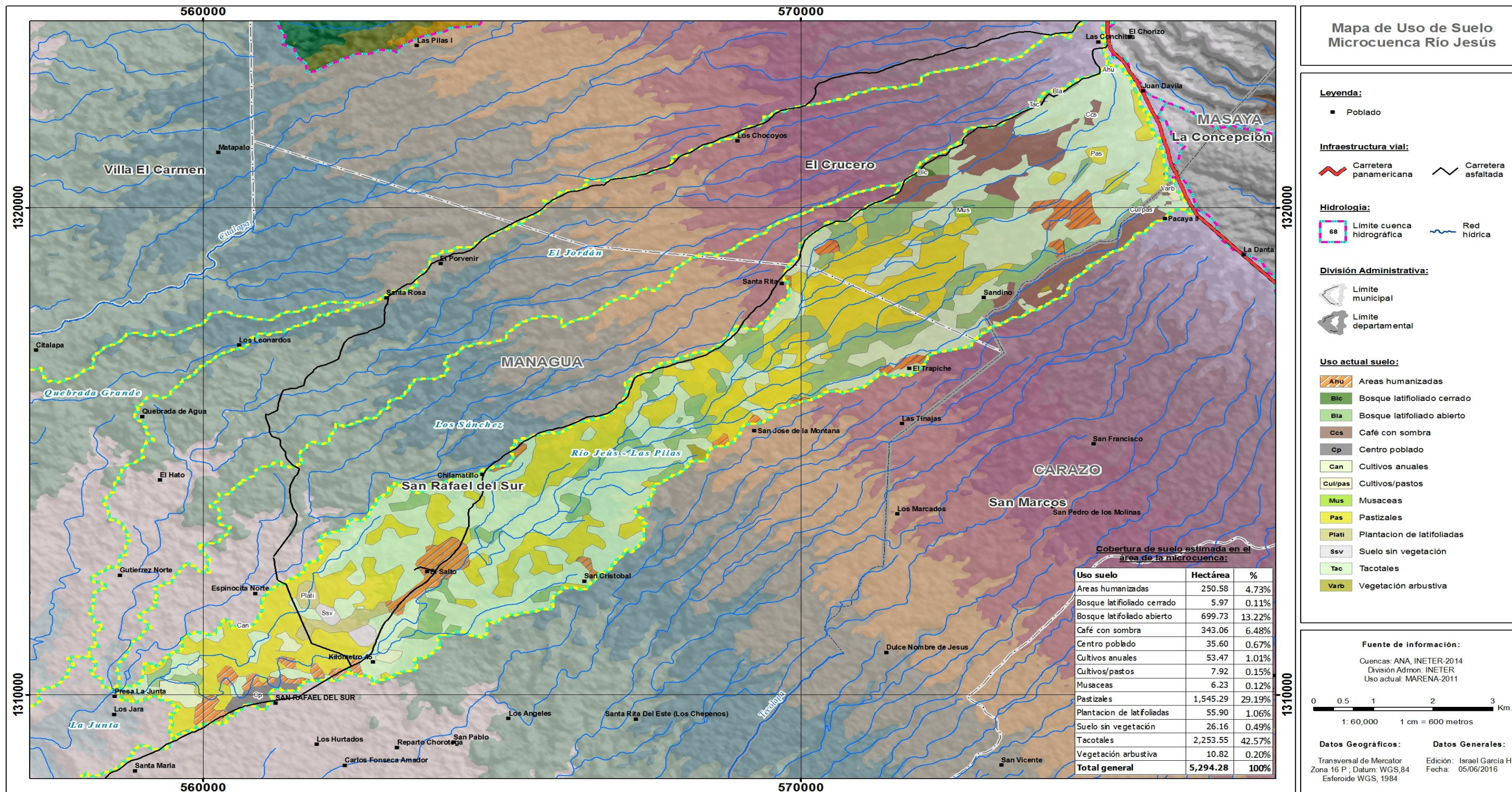


Anexo 1: Diagrama de procesos

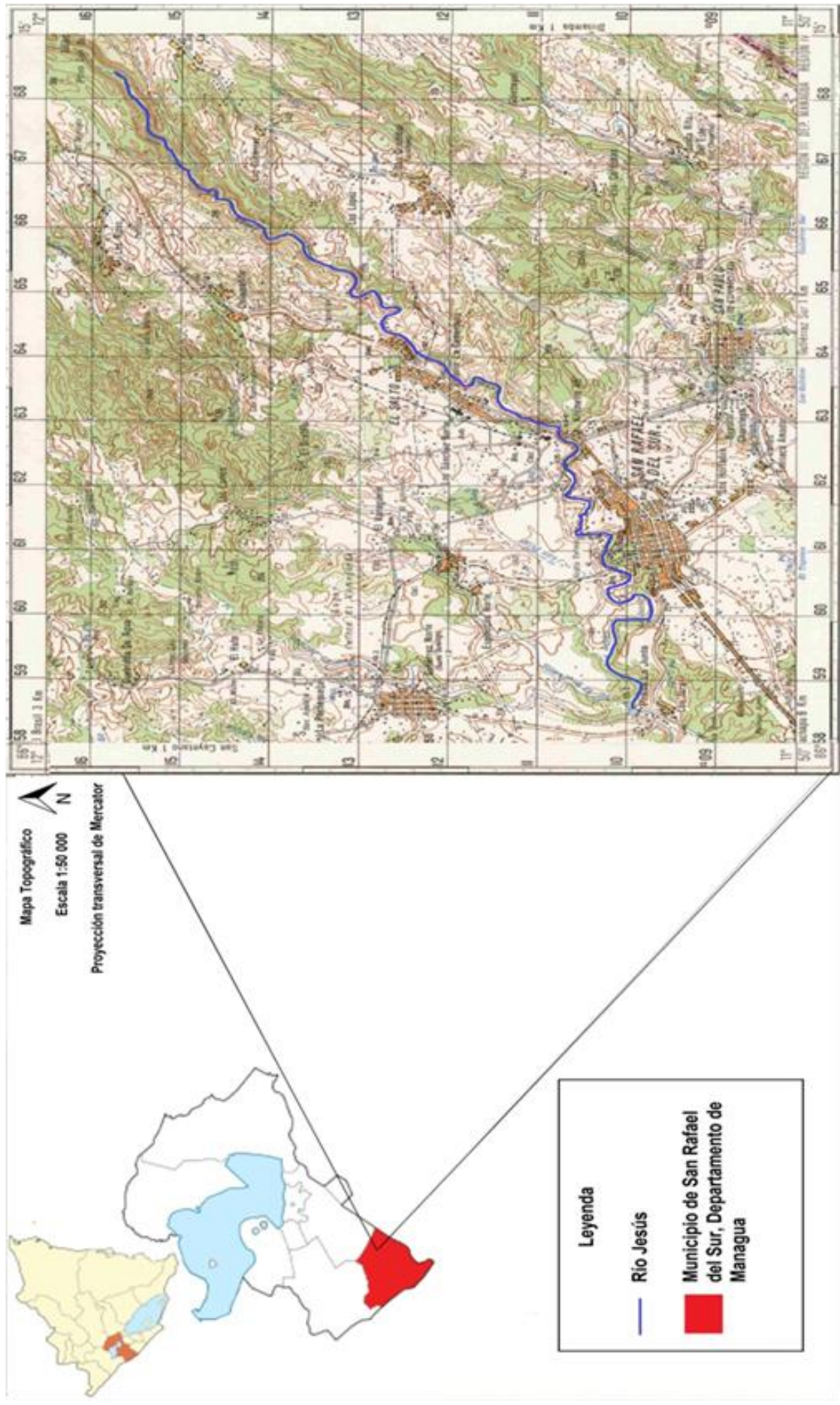


Anexo 2. Mapas del río Jesús

Mapa 1. Uso actual de suelos en la microcuenca del río Jesús

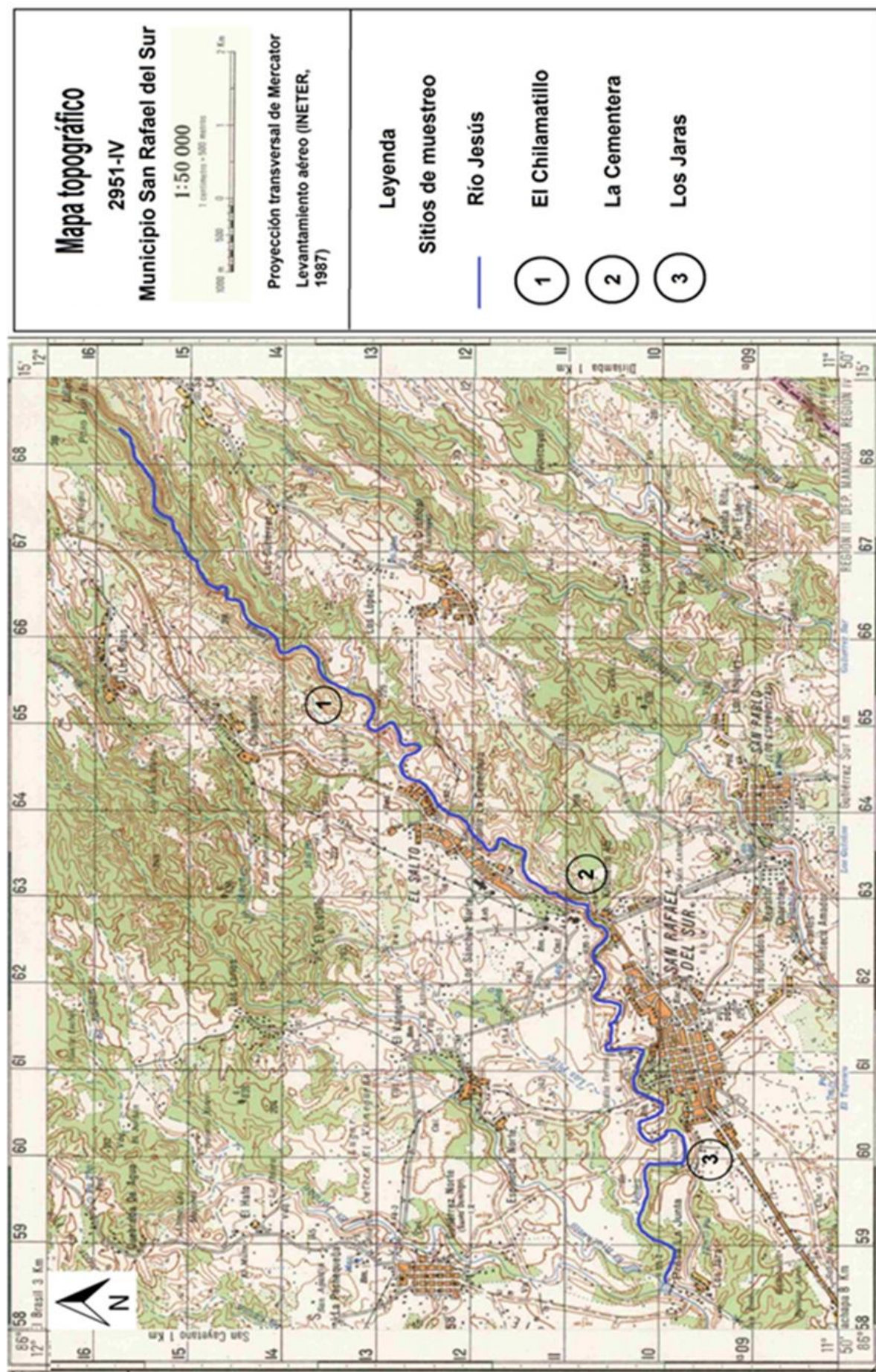


Mapa 2. Macrolocalización y microlocalización del río Jesús.



Fuente: Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER, 1987). 2951-IV. Escala 1: 50 000.

Mapa 3. Sitios de muestreo del estudio



Fuente: Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER, 1987). 2951-IV. Escala 1: 50 000.

### Anexo 3.

#### Situación ambiental de la microcuenca del río Jesús Situación ambiental El Chilamatillo



Fotos: Aguilar, M. (2016).

#### Represa turística El Salto



Fotos: Aguilar, M. (2016).

## Situación ambiental en el sitio La Cementera



Fotos: Aguilar, M. (2016).

## Hornos caleros y sus desechos ubicados a las orillas del río



Fotos: Aguilar, M. (2016).

## Actividad agropecuaria en la comunidad Los Jaras



Fotos: Aguilar, M. (2016)

**Anexo 4.**  
**Protocolo de campo**

**Datos generales.**

Nombre del río: \_\_\_\_\_

Localización (Departamento, Municipio): \_\_\_\_\_

Uso del curso de agua: \_\_\_\_\_

Fecha (D/M/A): \_\_\_\_\_

Hora del muestro \_\_\_\_\_

Objetivo del muestreo: \_\_\_\_\_

Duración del muestreo \_\_\_\_\_

Numero de sitios muestreados: \_\_\_\_\_

Técnica de muestreo: \_\_\_\_\_

Comentarios u observaciones: \_\_\_\_\_

**Detalle del sitio o punto de muestreo.**

Núm.: \_\_\_\_\_ Nombre del sitio: \_\_\_\_\_

Fecha (D/M/A): \_\_\_\_\_ Hora del muestreo: \_\_\_\_\_

Coordenadas: \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_ Altitud \_\_\_\_\_ msnm.

Fotografías del sitio: \_\_\_\_\_.

Condiciones ambientales: \_\_\_\_ soleado \_\_\_\_ lluvioso \_\_\_\_ nublado.

Tipo de Curso: \_\_\_\_ Inicial \_\_\_\_ Medio \_\_\_\_ Bajo \_\_\_\_ No identificada.

Ancho aproximado: \_\_\_\_\_ m. Profundidad aproximada \_\_\_\_\_ m.



Velocidad del agua: \_\_\_\_rápido \_\_\_\_moderado \_\_\_\_lento \_\_\_\_estancado.

Tipo de sustrato: \_\_\_\_piedras-arena gruesa \_\_\_\_arena \_\_\_\_rocas: \_\_\_\_muy grandes \_\_\_\_ grandes \_\_\_\_ mediano \_\_\_\_ pequeñas.

Superficie de las Rocas: \_\_\_\_ limpia \_\_\_\_ con crecimiento de Periphyton (algas), \_\_\_\_ musgo.

Color del agua: \_\_\_\_\_. Olor del agua: \_\_\_\_\_

Presencia de: \_\_\_\_ desechos orgánicos \_\_\_\_ espumas \_\_\_\_ aceites \_\_\_\_ organismos muertos \_\_\_\_ desechos sólidos.

Vegetación de la Orilla: \_\_\_\_\_

Vegetación dentro del Agua: \_\_\_\_\_

Exposición: \_\_\_\_ 100% Sombra \_\_\_\_ 100% Expuestos.

Comentarios u Observaciones \_\_\_\_\_

## Anexo 5. Recolección de muestras e instrumentos de laboratorio

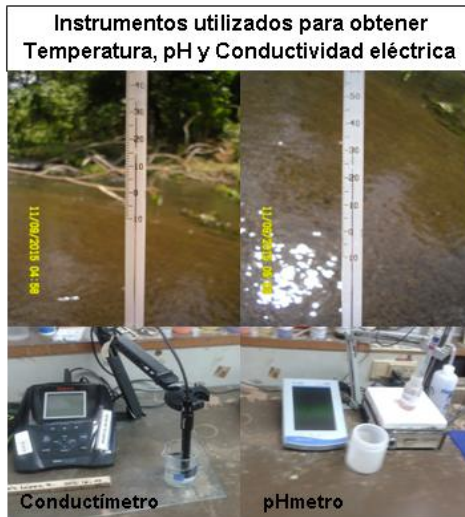
### Recolección manual de hábitats



### Lavado de piedras












Fotos: Aguilar, M. (2016).










## Anexo 6.

### Macroinvertebrados acuáticos del río Jesús


| Filo Mollusca   |   |  | Filo Annelida   |
|---|---|--|---|
| Gastropodo  |   | Bivalvia   | Hirudinea   |
| Fam. Hydrobiidae  | Fam. Physidae   | Fam. Sphaeriidae   | Glossiphoniidae   |
|  |  |  |  |
| Aguirre, Y. (2016)  | Aguilar, M. (2016)  | Aguilar, M. (2016)   | Aguilar, M. (2016)  |





| Filo Arthropoda: Clase Insecta  |  |   |
|---|--|---|
| Orden Trichoptera   |  |   |
| Fam. Helicopsychidae  | Fam. Hydroptilidae   | Fam. Philopotamidae   |
|  |  |  |
| Aguilar, M. (2016)  | Aguirre, Y. 2016   | Aguilar, M. (2016)  |
| Fam. Hydroptilidae  | Fam. Philopotamidae  |   |
|  |  |   |
| Aguilar, M. (2016)  | Aguilar, M. (2016)   |   |

| Orden Coleoptera  |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Fam. Elmidae<br>A) Adulto B) Larva  | Fam. Hidrophilidae  | Fam. Dysticidae  |   |
|  <p><b>A</b></p> <p>Aguirre, Y. (2016)</p> |  <p><b>B</b></p> <p>Aguilar, M. (2016)</p> |  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |  <p>Aguirre, Y. (2016)</p> |

| Orden Diptera  |  |   |
|--|--|---|
| Fam. Chironomidae  | Fam. Ceratopogonidae   | Fam. Tipulidae  |
|  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |

| Fam. Simuliidae   | Fam. Tabanidae  | Fam. Stratiomyidae   |
|---|---|--|
|  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |  <p>Aguirre, Y. (2016)</p> |  <p>Aguilar, M. (2016)</p> |

| Orden Megaloptera   | Orden Lepidoptera   | Orden Hemiptera  |
|---|---|--|
| Fam. Corydalidae  | Fam. Crambidae  | Fam. Veliidae  |
|  |  |  |
| Aguirre, Y. (2016)  | Aguilar, M. (2016)  | Aguilar, M. (2016)   |

| Orden Odonata  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Fam. Libellulidae  | Fam. Gomphidae   | Fam. Calopterygidae   | Fam. Coenagrionidae  |
|  |  |  |  |
| Aguirre, Y. (2016)   | Aguirre, Y. (2016)   | Aguilar, M. (2016)  | Aguirre, Y. (2016)   |

| Orden Ephemeroptera   |  |   |
|---|--|---|
| Fam. Leptophlebiidae  | Fam. Baetidae  | Fam. Leptohyphidae  |
|  |  |  |
| Aguilar, M. (2016)  | Springer, M. (2010)  | Aguilar, M. (2016)  |

## **Anexo 7.**

### **Glosario**

**Abundancia:** número total de los individuos de una población.

**Abundancia relativa:** es la porción de la abundancia total de una especie expresada en porcentajes.

**Bentónico:** organismos que viven y realizan sus funciones vitales en dependencia estricta de un sustrato.

**Bentos:** comunidades de animales o plantas que viven en el suelo acuático o sobre el mismo, pero en estrecha relación con él.

**Biomonitoreo:** se refiere a una alternativa donde se utilizan indicadores biológicos realizando un seguimiento a los organismos presentes en el cuerpo de agua con la finalidad de determinar la calidad del ambiente estudiado, para su protección, recuperación o manejo general.

**Contaminación:** es la presencia en el ambiente de cualquier sustancia química, objetos, partículas, microorganismos, formas de energía o componentes del paisaje urbano o rural, en niveles o proporciones que generen un cambio perjudicial en la calidad ambiental y por ende las posibilidades de vida.

**Detritus:** restos que quedan de la desintegración y deterioro de vegetales y animales. Residuos de descomposición de un cuerpo.

**Macroinvertebrados acuáticos:** son organismos invertebrados que se pueden ver a la vista del ojo humano. Son habitantes (al menos durante parte de su ciclo vital) de los sustratos del fondo de los sistemas acuáticos (sedimentos, rocas, troncos, hojarasca, plantas acuáticas).

**Monitoreo:** es sinónimo de seguimiento a la medida de los contaminantes y de sus efectos, con objeto de ejercer control sobre la exposición del hombre o de elementos específicos de la biósfera a esos contaminantes.

**Riqueza:** es el número de especies en la comunidad biológica.

**Taxa:** plural latino de taxón.

**Taxón:** es un grupo de organismos emparentados, que en una clasificación (taxonomía) dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín cuya denominación tenga valor universal, independientemente de la lengua utilizada para la comunicación.