



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
*FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE*

**Trabajo de graduación  
para Optar al título de  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables**

**Evaluación de la calidad del agua superficial  
utilizando indicadores biológicos en la  
subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba,  
Carazo, en el año hidrológico 2010-2011**

**AUTORES**

**Br. Yaneysi Auxiliadora Pavón Espinoza  
Br. Jamileth Soledad Rocha Pérez**

**ASESORES**

**Dra. Martha Orozco Izaguirre  
Lic. Martha Miriam Salgado**

**Managua, Nicaragua, Agosto 2015**

## INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	ii
INDICE DE ANEXOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
SUMMARY.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.1.1 Objetivos específicos.....	3
III. MATERIALES Y METODOS.....	4
3.1 Ubicación del área de estudio.....	4
3.1.1 Descripción del área de estudio.....	4
3.1.2 Clima.....	4
3.1.3 Suelo.....	5
3.1.4 Vegetación.....	5
3.2 Proceso metodológico.....	5
3.2.2 Precipitaciones de la subcuenca del Río La Trinidad.....	12
3.2.3 Etapa de campo.....	14
3.2.4 Uso actual del suelo de la subcuenca Río La Trinidad.....	16
3.2.4 Etapa de Post-Campo.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Características Morfométricas de la subcuenca.....	27
4.1.1. Parámetros de Forma.....	28
4.1.2. Parámetros de Relieve.....	28
4.2. Uso actual del suelo.....	31
4.2.1. Vegetación de ciclo corto.....	31

4.2.2. Vegetación de ciclo largo.....	31
4.2.3. Vegetación de Bosque .....	32
4.2.4. Vegetación de hábitat boscoso .....	32
4.3 Precipitaciones de la subcuenca Río La Trinidad.....	37
4.4 Aforo de la corriente superficial del agua.....	37
4.5 Calidad del agua superficial .....	39
4.5.1. Calidad físico-química del agua .....	39
4.6.- Calidad bacteriológica del agua .....	41
4.7. Calidad biológica del agua .....	43
4.7.1. Evaluación de la integridad física de los sitios de muestreo .....	43
4.7.2. Calidad Biológica del agua del Río La Trinidad .....	44
V.          CONCLUSIONES .....	57
VI.         RECOMENDACIONES.....	58
VII.        LITERATURA CITADA .....	59
VIII.       ANEXOS.....	65

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Forma de la subcuenca de acuerdo al índice de compacidad. ....	7
<b>Cuadro 2.-</b> Densidad de drenaje y clase de densidad de drenaje.....	10
<b>Cuadro 3.</b> Calendarización de los muestreos realizados en la subcuenca Río La Trinidad.	14
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Biológica de Oxígeno en aguas superficiales. ....	18
<b>Cuadro 5.</b> Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Química de Oxígeno en aguas superficiales. ....	19
<b>Cuadro 6.</b> Clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo. ....	20
<b>Cuadro 7.</b> Materiales utilizados en la captura de macro-invertebrados. ....	22
<b>Cuadro 8.</b> Valores utilizados para la determinación del índice BMWP/Col. ....	24
<b>Cuadro 9.</b> Clasificación de la calidad del agua mediante el índice BMWP/Col. ....	25
<b>Cuadro 10.</b> Resultados morfométricos de la subcuenca del Río La Trinidad.....	27
<b>Cuadro 11.</b> Comportamiento del caudal circulante del Río La Trinidad .....	37
<b>Cuadro 12.</b> Resultados físico-químicos de la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	39
<b>Cuadro 13.</b> Resultados de análisis bacteriológicos del agua del Río La Trinidad. Diriamba, Carazo.....	42
<b>Cuadro 14.</b> Clasificación del entorno en la subcuenca Río La Trinidad.....	43
<b>Cuadro 16.</b> Porcentajes de familia más abundantes en la subcuenca Río La Trinidad. ....	53
<b>Cuadro 17.</b> Índices ecológicos determinados en la subcuenca Río La Trinidad. ....	54
<b>Cuadro 18.</b> Relación caudal y número de individuos encontrados en los diferentes sitios de muestreos en la subcuenca del Río La Trinidad. ....	56

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la subcuenca Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	4
<b>Figura 2.</b> Esquema del proceso metodológico desarrollado en el estudio.....	6
<b>Figura 3.</b> Esquema de Ordenes de corriente según Strahler. ....	9
<b>Figura 4.</b> Mapa de puntos de muestreos, subcuenca Río La Trinidad. ....	12
<b>Figura 5.</b> Distribución de las estaciones meteorológicas. ....	13
<b>Figura 6.</b> Cobertura de los puntos para las precipitaciones en subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	13
<b>Figura 7.</b> División en secciones del cauce del río para el cálculo del área transversal en la subcuenca Río La Trinidad. ....	15
<b>Figura 8.</b> Taller participativo para el análisis histórico de los cambios de usos de la tierra.....	17
<b>Figura 9.</b> Distribución de las categorías de uso actual del suelo en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	34
<b>Figura 10.</b> Diagrama histórico del uso de la tierra, según comunitarios de la subcuenca Río La Trinidad.....	36
<b>Figura 11.</b> Precipitaciones estimadas para la subcuenca del Río La Trinidad.....	37
<b>Figura 12.</b> Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua, subcuenca Río La Trinidad, Diriamba, Carazo. ....	38
<b>Figura 13.</b> Familias de macro-invertebrados identificadas en el primer muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	46
<b>Figura 14.</b> Familias de macro-invertebrados identificadas en el segundo muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo .....	47
<b>Figura 15.</b> Familias de macro-invertebrados identificadas en el tercer muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	48
<b>Figura 16.</b> Familias de macro-invertebrados identificadas en el cuarto muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	49
<b>Figura 17.</b> Familias de macro-invertebrados identificadas en el quinto muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	50
<b>Figura 18.</b> Porcentajes y números de individuos encontrados por familias e identificadas en la subcuenca Río La Trinidad.....	55

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Caracterización visual de la subcuenca Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	65
<b>Anexo 2.</b> Muestreo cualitativo de coliformes en la parte media del Río La Trinidad, Diriamba Carazo.....	68
<b>Anexo 3.</b> Distribución de las categorías de uso actual del suelo en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.....	68
<b>Anexo 4.</b> Índice para la evaluación de la integridad física de la estación de monitoreo.....	69
<b>Anexo 5.</b> Parámetros físico-químicos analizados en laboratorio.....	71
<b>Anexo 6.</b> Familias de macro-invertebrados acuáticos colectados en la subcuenca Río La Trinidad.....	72

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **DIOS** todopoderoso y a la **Santísima Virgen** por darme la vida, salud, sabiduría e inteligencia para concluir este período de estudio.

A mis abuelos **Armando Jose Espinoza y Ana Modesta Latino**, por el amor, aprecio y cariño mientras estaban conmigo para realizar mis estudios.

A mis padres **Maritza Espinoza Latino y Eugenio Pavón López** por el apoyo incondicional y sus esfuerzos que me brindaron en mis estudios para superarme y tener éxitos en la vida.

A mis tios (as) quienes aportaron su granito de arena, con sus palabras de aliento, consejos y perseverancia para alcanzar mis metas. A mi hermana **Meyling Espinoza**, por el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mis amigos (as) **América Lorena Aburto Hernández y Carlos Daniel Hernández Bello** quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, Gracias por animarme a seguir cada día hasta el final.

**Yaneysi Auxiliadora Pavón Espinoza**

Al ser más importante de mi vida **JEHOVÁ** por darme la vida y guiarme, en todo mi camino, por las fuerzas y salud que he necesitado para concluir con esta investigación. Porque sin él, yo no sería quien soy hasta el día de hoy.

A mis abuelos maternos **María Magdalena Baltodano Sovalbarro y Alejandro Pérez Gonzales** ya que gracias a ellos hicieron posible que mis metas se cumplieran en mí y con sus esfuerzos, apoyo, recursos y dedicación tuvieran frutos excelentes; así como su amor, cuidado, tiempo, educación y valores que me brindaron e inculcaron desde mi infancia, lograron que cumpliera mi meta. A mi madre **Juana Nereyda Pérez Baltodano** que me ha dado valentía y ánimo. A mi hijo **Zneyder Samuel Espinoza Rocha**, mi sobrina **Xilonem Rachel Mendoza Pérez** mis dos grandes tesoros.

A mi prima **Meyling Carolina Rivas Pérez** y mi esposo **Manuel Espinoza Ruiz** que ha sido un apoyo de una u otra manera.

**Jamileth Soledad Rocha Pérez**

## AGRADECIMIENTO

Doy gracias a **DIOS** por darme la vida, la sabiduría y la oportunidad de terminar mi carrera.

A **mis padres y abuelos** por el apoyo económico y moral que me brindaron en todo el trascurso de mi educación para ser una persona de bien y luchar para lograr todos mis propósitos.

A **mi hermana** por apoyarme economicamente para terminar mi carrera.

A mis asesoras **Dr. Martha Orozco Izaguirre y Martha Miriam Salgado** por brindarme su apoyo, dedicación y paciencia al instruirme y trasmitirme sus conocimientos durante la elaboración de este trabajo de investigación.

A mi amiga **América Lorena Aburto Hernández y Carlos Daniel Hernández Bello** por brindarme su amistad.

A mis compañeros de clases y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización del estudio.

### **Yaneysi Auxiliadora Pavón Espinoza**

A la **Dra. Martha Orozco Izaguirre** por haber confiado en nosotros para la realización de esta investigación. También por sus recomendaciones, asesoramiento, consejos, apoyo, regaños, etc., que siempre fueron de gran validez en nuestro desarrollo personal y profesional. También se le agradece a los comunitarios de la subcuenca La Trinidad que siempre estuvieron dispuestos a brindarme información para llevar a cabo nuestra investigación.

Al **profesor Francisco Alvarado** por el apoyo incondicional con sus consejos y asesoramiento.

A todas las personas y amigos que de una u otra forma hicieron posible este estudio con su colaboración, muchas gracias por toda la ayuda brindada, por las molestias causadas; ustedes saben lo importante que son para mí y lo mucho que me han ayudado y apoyado en este largo proceso, muchas gracias y que Dios los bendiga siempre.

**Jamileth Soledad Rocha Pérez**

## RESUMEN

En la subcuenca del Río La Trinidad, municipio de Diriamba, Carazo, se monitoreó la calidad del agua superficial desde julio del 2010 a abril 2011. El objetivo fue evaluar la calidad del agua superficial de la subcuenca del Río La Trinidad, utilizando indicadores biológicos, fisico-químicos y bacteriológicos para generar la línea base como soporte a la toma de decisiones en el manejo integrado de cuencas. Se utilizó el método Biological Monitoring Working Party BMWP/Col. para determinar la calidad biológica del agua superficial. Los resultados muestran que las familias de macro-invertebrados identificados en los muestreos son: 2,468 individuos pertenecientes a 11 órdenes y 27 familias. *Tricorythidae* fue la más abundante con 776 individuos, seguida de *Leptophlebiidae*: con 601, *Hydropsychidae*: 260, *Physidae*: 168, *Thiaridae*: 121, *Gomphidae*: 107, *Baetidae*: 103 y *Chironomidae*: con 100. Las 19 familias restantes presentaron entre 1 y 39 individuos. La clasificación biológica del agua del río presenta dos tipos de clasificación: clase II (ligeramente contaminada) y clase III (dudosa), en dependencia de las actividades agropecuarias que se desarrollen. El análisis bacteriológico presentó Coliformes fecales y totales muy altos (más de 1,200 NMP/100ml), la Norma Regional CAPRE. (1994) no permite el consumo humano, uso doméstico, por daños causado a la salud. La relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO, en la parte alta 0.01 mg/l, en la parte media 0.14 mg/l y en la baja 0.02 mg/l, señalando que en algunos puntos de la subcuenca se hacen vertidos inorgánicos difíciles de depurar biológicamente. El uso actual de la tierra está por encima de la capacidad de uso, presentándose fuertes procesos de degradación de los suelos. Concluyéndose que los métodos biológicos y fisico-químicos son complementarios en los procesos de evaluación de la calidad de las aguas. La abundancia de algunas familias está relacionada con las variables fisico-químicas y microbiológicas. La presencia de *Thiaridae* y *Chironomidae* se relacionan con altos niveles de microorganismos y bajos niveles de oxígeno. La mayor parte de las tierras son de vocación forestal y están siendo utilizadas para ganadería extensiva con pastos naturales de bajo valor nutritivo y sobrepastoreo.

**Palabras clave:** macro-invertebrados, bioindicadores, morfometría, BMWP/Col, índice biológicos, coliformes, monitoreo, calidad del agua.

## ABSTRACT

The quality of the surface water was monitored from July 2010 to April 2011 in La Trinidad River watershed, municipality of Diriamba, Carazo, using biological, physical-chemical and bacteriological indicators in order to generate a baseline useful to support decision-making in terms of integrated watershed management. The Biological Monitoring Working Party (BMWP / Col) method was used to determine the biological quality of surface water. We collected 2,468 individuals which are grouped in 11 orders and 27 families. The most abundant families were Tricorythidae (776 individuals), followed by Leptophlebiidae (601), Hydropsychidae (260), Physidae (168), Thiaridae (121), Gomphidae (107), Baetidae (103) and Chironomidae (100). The remaining 19 families had between 1 and 39 individuals. According to the BMQP/Col index, the water of river was classified as: class II (slightly polluted) and Class III (doubtful), depending on the agricultural activities in the area. The bacteriological analysis showed high values of fecal and total coliforms (more than 1,200 MPN / 100 ml). The Regional Standard CAPRE (1994) does not allow neither human consumption nor domestic use of the water of the river because this can cause health problems. The relationship between DBO5 / DQO was 0.01 mg / L in the upper part of the watershed, 0.14 mg / L in the middle part, and 0.02 mg / L in the lower part, indicating that in some parts of the watershed people pour inorganic substances which purification is difficult in a biological way. The current land use is above the usability, showing strong degradation process. We conclude that the biological and physical-chemical methods are complementary for evaluating the water quality. The abundance of some families is related to the physical-chemical and microbiological variables. The presence of Thiaridae and Chironomidae is related to high levels of microorganisms and low levels of oxygen. Most of the lands are suitable for forestry and are being used for extensive livestock with low nutrition natural grasses and overgrazing.

**Keywords:** macroinvertebrates, bioindicators, morphometry, BMWP / Col, biological index, coliform monitoring water quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de aguas dulces (lénticos y lóticos) más que ningún otro ecosistema son sensibles a modificaciones antrópicas. A través de los años, estos sistemas han sido usados como depósitos de desechos cuya consecuencia principal ha causado la desaparición o reducción de manera sustancial de algunas especies que conforman las comunidades bióticas (Lozano. 2007). La evaluación de la calidad del agua se ha realizado tradicionalmente con base en los análisis físico-químicos y bacteriológicos. Sin embargo, en los últimos años, muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas como un hecho fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos (Fernández. et al. 2002, Roldán. 2003). El uso de estas comunidades permite clasificar la toma de decisiones sobre el uso del agua y el impacto que genera el hombre sobre este recurso.

Roldán (1988) señala que en las últimas décadas los ecosistemas acuáticos continentales son los que más han sufrido los impactos causados por la actividad humana. Los desechos industriales y domésticos de una población cada vez más grande, tienen como destino final los ríos, y en último término, el mar. Debido a esta problemática que presentan los ríos del mundo, la fauna acuática ha desaparecido o se ha reducido significativamente.

Según la NTON 05 00-98, la calidad del agua está relacionada con el uso que se le pretende dar de acuerdo a las actividades humanas: uso doméstico, riego para la agricultura, potabilización para consumo humano, hábitat de especies acuáticas, piscicultura, turismo, esparcimiento, procesamiento industrial, etc., y por ende cada una de ellas tiene sus propias exigencias de calidad. Así mismo, constituye un valioso indicador ambiental que refleja la interacción que se produce entre la precipitación con las características dinámicas del área de una cuenca, el drenaje y la influencia del ser humano.

El agua tiene dos dimensiones que están muy relacionadas, calidad y cantidad. Según Roldán (2003) durante los últimos años el concepto de calidad de agua ha ido cambiando rápidamente de un enfoque puramente físico-químico a otro que integra todos los componentes del ecosistema. Actualmente, muchos países están apoyando el uso de comunidades acuáticas y el estudio de su comportamiento a través del tiempo (biomonitoreo) como herramienta fundamental para evaluar la calidad de las aguas superficiales continentales (Rosenberg et al. 1986).

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales. Se incluye el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (Raz. 2000).

Entre los indicadores biológicos, los macro-invertebrados son utilizados para evaluar la calidad del agua. Porque la comunidad de macro-invertebrados como indicador biológico es fácil de interpretar, ya que sus funciones esenciales son indispensables para el mantenimiento de la integridad funcional de un ecosistema acuático y aún las especies raras pueden tener un papel importante, evidente solamente después de una “perturbación” (Pino et al. 2003).

En países como Colombia, Brasil, Chile, Venezuela y Honduras se han realizado estudios dirigidos al monitoreo de la salud ambiental de ecosistemas acuáticos, utilizando el índice *Biological Monitoring Working Party* (BMWP/Col) con modificaciones o adaptaciones propias (Branco. 1984; Roldan. 1988, García. 2003; Prat et al. 2005; Gamboa et al. 2008; Roldan y Ramírez. 2008).

En Nicaragua la aplicación del BMWP/Col, es relativamente nueva y se cuenta con poca experiencia sistematizada para adaptar este método a las cuencas nacionales. Algunos estudios han aplicado este método, se han realizado en los municipios de: Matiguas, Tola, Dipilto, La Conquista, La Concordia, San Rafael del Norte, San Sebastián de Yalí y Estelí, incorporando a los macro-invertebrados como bioindicadores de la calidad del agua y grado de contaminación que presentan las aguas superficiales en las cuencas hidrográficas del país (Delgado. 2010; Fenoglio et al. 2002; Juárez 2012, Barrera y Amador 2008, Orozco 2010, Gamboa et al. 2008; Montenegro. 2003).

El agua es esencial para el mantenimiento de todos los procesos biológicos, la calidad de vida de los habitantes y el sostenimiento de las actividades económicas, así para el municipio de Diriamba, los afluentes del Río La Trinidad constituyen una riqueza, puesto que son de gran importancia para el consumo humano, aguar el ganado, riego de cultivos y para el turismo. Por todo esto, se hace necesario realizar una evaluación biológica del agua del Río La Trinidad que permita visualizar el efecto de la intervención del hombre en este ecosistema.

Los resultados permiten tener un diagnóstico sobre el entorno ambiental y la calidad del agua, que puede ser utilizado por los comunitarios y todos los actores que intervienen en la gestión integral de la subcuenca, lo que ayudará a la toma de decisiones para realizar acciones concretas referidas a la conservación, protección y manejo del recurso suelo y bosque, así como también, hacer un uso adecuado del recurso agua por parte de todos los habitantes de la subcuenca.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia del uso de la tierra sobre la calidad del agua superficial de la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, utilizando indicadores biológicos, con la finalidad de generar una línea base como soporte a la toma de decisiones para el manejo integrado de la subcuenca.

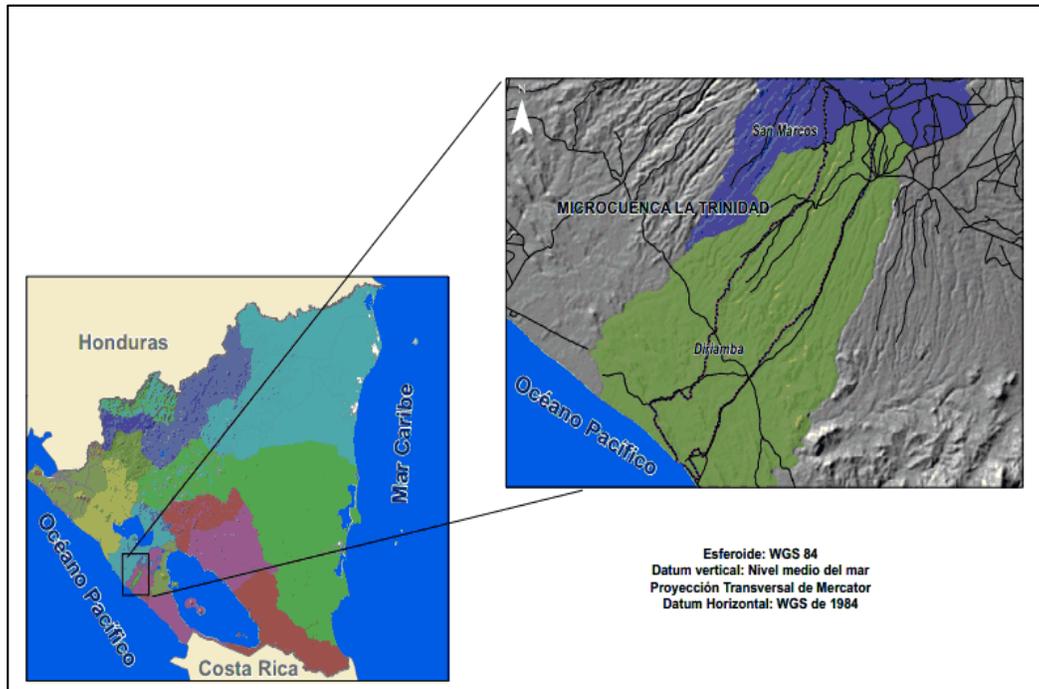
#### **2.1.1 Objetivos específicos**

- Determinar la relación entre el uso de la tierra y la degradación físico-química, bacteriológica del agua superficial en la subcuenca del Río La Trinidad.
- Identificar los principales factores que influyen en la calidad del agua según el uso actual de la tierra utilizando indicadores biológicos.
- Determinar la riqueza y abundancia de las familias de macro-invertebrados más predominantes en los puntos de monitoreo.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación del área de estudio

La subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo drena en el Océano Pacífico. Tiene una elevación desde 0 msnm hasta los 720 msnm, donde nace. Se ubica entre las coordenadas geográficas  $11^{\circ} 40' 5''$  y  $11^{\circ} 55' 4''$  de Latitud Norte y  $86^{\circ} 14' 16''$  y  $86^{\circ} 24' 13''$  de Longitud Oeste. Tiene una extensión de 123.56 km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Ubicación de la subcuenca Río La Trinidad, Diriamba, Carazo. (Manfut s.f).

#### 3.2 Descripción del área de estudio

En este acápite se incluyen los aspectos biofísicos más relevantes: Clima, suelo y vegetación.

##### 3.2.1 Clima

El área de estudio se caracteriza por dos zonas intermedias con un clima tropical semi húmedo, siendo relativamente fresco con leves alzas de temperatura, que oscilan entre los 25°C y 27°C, con un promedio anual de precipitaciones que alcanzan entre los 1,200 y 1,400mm, las máximas elevaciones se encuentran entre los 580.13 msnm. Predomina un relieve de 2 y 8% en las partes altas y bajas de la zona, aunque es posible encontrar pendientes de 8 al 30% en la parte media (INIFOM. 1996).

### **3.2.2 Suelo**

Según el Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM. s.f.), los suelos pertenecen a la provincia costera del pacífico y subprovincia de la cordillera del pacífico. Se caracteriza por ser lomas redondeadas y colinas homoclinales de sedimentos marinos del terciario inferior y medio. Correspondientes a la serie Diriamba (Di) con permeabilidad moderadamente lenta, capacidad de humedad disponible moderada y una zona radicular de profunda a moderadamente profunda. El contenido de materia orgánica es moderado los suelos son moderadamente altos en bases y la saturación de bases es mayor del 65%. Los suelos son deficientes en fósforo asimilables y el potasio asimilable es medio (Manfut. s.f.).

### **3.2.3 Vegetación**

El tipo de vegetación de la zona de estudio se encuentra en la región ecológica I del pacífico, la cual es la más seca y caliente del país. Su vegetación pertenece a las formaciones forestales caducifolias, bosque de galería, bosques abiertos y densos, xerófitas y matorrales. Potreros, cultivos anuales, pasto con árboles y cultivos perennes. Sin embargo, estos últimos se forman por el avance de la frontera agrícola y el manejo inadecuado de los recursos naturales (Manfut. S/F).

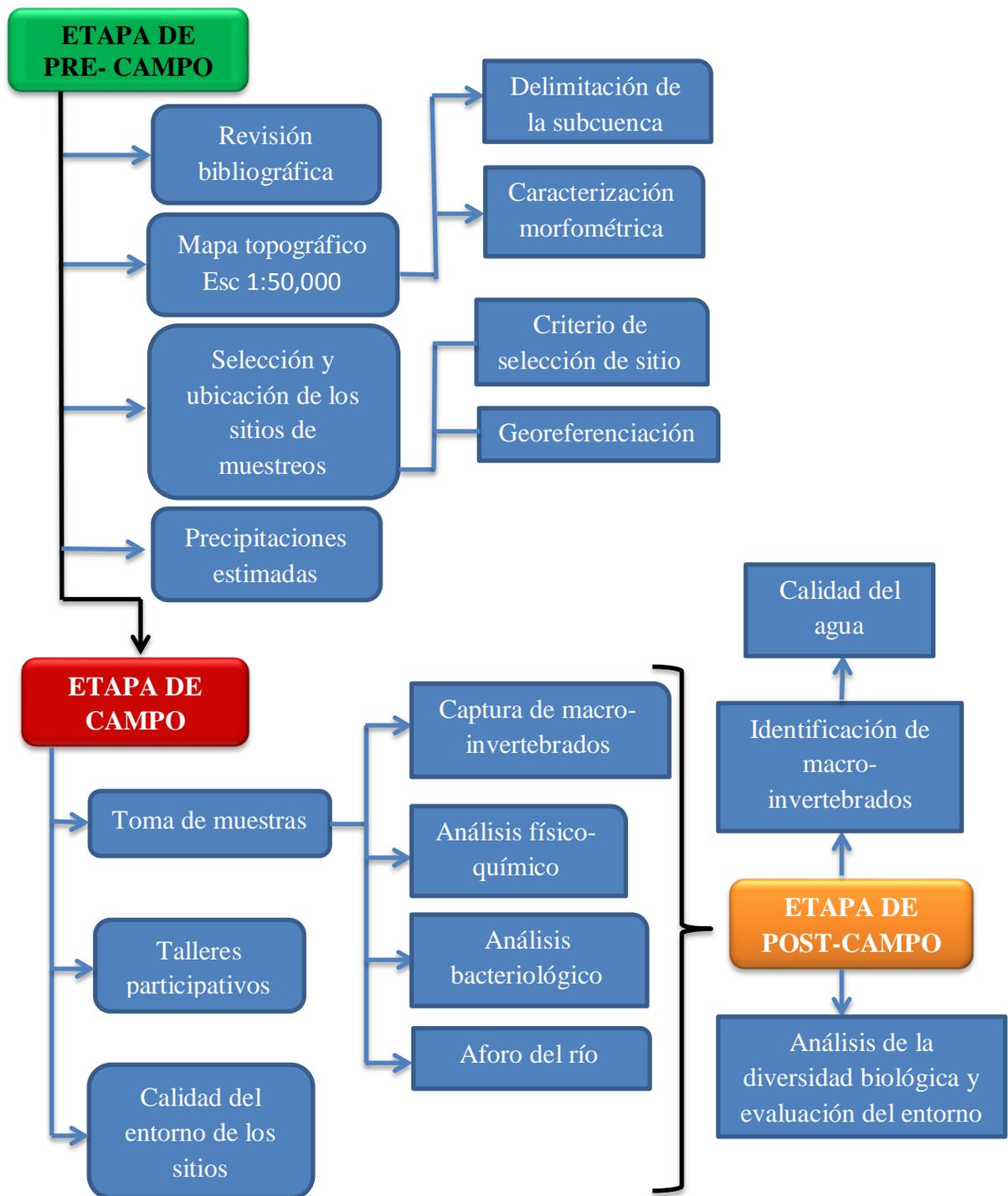
## **3.3 Proceso metodológico**

El proceso metodológico para la realización del estudio en la subcuenca Río La Trinidad está dividido en tres etapas: etapa de pre-campo, campo y post campo. En la figura 2, se presenta el esquema del proceso metodológico desarrollado en el estudio.

### **3.3.1 Etapa de pre-campo**

#### **Revisión bibliográfica**

En la etapa de pre-campo se realizó la búsqueda de información secundaria relacionada con el municipio de Diriamba y la subcuenca Río La Trinidad; se realizó análisis de fotografías aéreas y mapas topográficos a escala 1:50,000. Todo esto con el fin de obtener información general del área de estudio, específicamente de los recursos suelo, agua y vegetación. También se revisó estudios de calidad de agua utilizando el método BMWP/Col.



**Figura 2.** Esquema del proceso metodológico desarrollado en el estudio.

### ***Delimitación de la subcuenca***

Para el proceso de delimitación de la subcuenca se utilizó un mapa topográfico a escala 1:50,000, mediante el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG) y un modelo digital del terreno (MDT). Previo a esto se realizaron talleres participativos con comunitarios y productores para valorar el nivel de deterioro ambiental de la subcuenca y aprovechar sus conocimientos sobre el territorio.

### ***Caracterización morfométrica de la subcuenca***

La morfometría se definió mediante parámetros de forma, de relieve y los relativos a la red de drenaje. Existen muchos parámetros morfométricos, sin embargo, para el presente estudio se realizaron los cálculos de aquellos que tiene alguna incidencia directa con la calidad de agua y los indicadores biológicos, que se describen a continuación.

- Parámetros de forma: Para definir la forma de la subcuenca, se aplicó el índice de compacidad a partir de la fórmula según Gravelius. (1914).

$$Cc = (0.282) * (Pc) / \sqrt{A}$$

Dónde:

**Cc** = Coeficiente de compacidad

**A** = Área de la cuenca

**Pc** = Perímetro de la cuenca

El índice de compacidad de la subcuenca o índice de Gravelius (Gravelius. 1914), señala la mayor o menor compacidad de la subcuenca a través de la relación entre el perímetro de la subcuenca y el círculo que tenga la misma superficie de la subcuenca. Como se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Forma de la subcuenca de acuerdo al índice de compacidad.

<b>Kc</b>	<b>Forma</b>
1.00 – 1.25	Redonda
1.25 – 1.50	Ovalada
1.50 – 1.75	Oblonga
> 1.75	Alargada

*Fuente: Gravelius. (1914).*

Coeficiente o razón de elongación (Re): se utilizó la propuesta por Schumm. (1956).

$$Re = (1.128) * (\sqrt{A}) / Lc$$

Dónde:

**Re** = Relación de elongación

**Lc** = Longitud del cauce principal de la cuenca

**A** = Área de la cuenca

Superficie de la subcuenca: El área de la subcuenca se obtuvo a través del software Arc GIS 9.0. Se originó un Modelo Digital del Terreno (MDT), para delimitar la subcuenca. Este MDT fue derivado de las curvas a nivel cada 20 metros, puntos con máxima elevación y la red hidrográfica. Para ello se utilizaron los mapas topográficos: 2951-I Masaya, 2951-III La Trinidad y 2951-IV San Rafael del Sur, de 1989 del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) a una escala 1:50,000.

- **Parámetros de relieve:** La pendiente de la subcuenca se calculó como la media ponderada de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante; y se representa con la siguiente fórmula

$$J = 100 * [(Li) (E) / A]$$

Dónde:

**J** = Pendiente media de la cuenca (%)

**ΣLi** = Suma de las longitudes de las curvas de nivel (km)

**E** = Equidistancia entre curvas de desnivel (km)

**A** = Superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

La influencia del relieve sobre el hidrógrama es aún más evidente. A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal (Navarrete. 2004).

*Pendiente media:* La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Para determinar la pendiente media se utilizó el método de Horton. (1945) y el Modelo de Elevación Digital del Terreno.

*Elevación media de la subcuenca:* Para calcular la elevación media de la subcuenca, se utilizó el método de la curva hipsométrica. De las curvas seleccionadas a partir del modelo de elevación digital del terreno, se calcula el área (km<sup>2</sup>) y la elevación a que están las curvas seleccionadas.

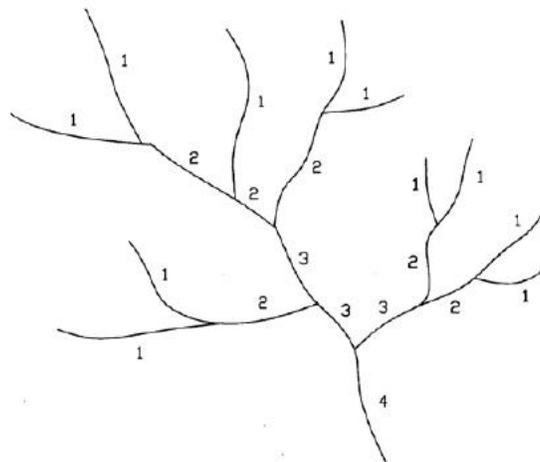
Con el propósito de comparar la subcuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio de Gravelius (1914), que considera la relación entre las diferentes alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total.

➤ *Parámetros relativos a la red de drenaje:*

Según Llamas (1993), La Red de drenaje es el arreglo de los canales que conducen las corrientes de agua dentro de la cuenca, integrada por un río principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la misma. Para determinar la red de drenaje se considera los tipos de corriente, modelo de drenaje, orden de las corrientes, densidad de drenaje y densidad de corriente, las cuales se muestran a continuación.

Orden de la corriente: El método usado para la representación de orden de corriente de la subcuenca fue el de Strahler. (1964), el cual es el más usado en estos estudios por su fácil aplicación con otros parámetros morfométricos y fácil de comprender para la clasificación de estos órdenes.

El índice se obtiene por la agregación de corriente, considerando una corriente de primer orden las que no tienen afluentes, una de segundo orden son las que se reúnen en dos corrientes de primer orden, una de tercer orden es donde concluyen dos de segundo orden y así sucesivamente (Figura 3). En conclusión mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y la estructura más definida.



**Figura 3.** Esquema de Ordenes de corriente según Strahler. 1964.

Densidad de drenaje: Es la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la siguiente expresión.

$$D = \sum L/A$$

Dónde:

$D$  = Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)

$\sum L$  = Suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km)

$A$  = Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Densidad de corriente:** Este parámetro se determinó mediante un sistema de información geográfico a través del número de segmentos marcados en el mapa digitalizado utilizando la siguiente fórmula:

$$Dc = Nc/A$$

Dónde:

$Dc$  = Densidad de corriente (Nc/Km<sup>2</sup>).

$Nc$  = total de número de corriente en la cuenca.

$A$  = Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

**Cuadro 2.** Densidad de drenaje y clase de densidad de drenaje.

Densidad de drenaje ( $\sum Lc/A$ )	Clase de densidad de drenaje
>3.5	Muy alta
2.5-3.5	Alta
1.5-2.5	Moderada
0.5-1.5	Baja
<0.5	Muy baja

Fuente: Porta y Acevedo. (2005).

Se refiere a la cantidad de afluentes naturales de la subcuenca por unidad de superficie y constituye una medida de la energía de la cuenca, de su capacidad de captación de agua y de la magnitud de la red fluvial, es decir, que un mayor número de escurrimiento proporcionará un mejor drenaje de la subcuenca y por lo tanto, favorecerá el escurrimiento.

Tiempo de concentración: se refiere al tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la subcuenca (Chow *et al.* 1994; Gaspari *et al.* 2009).

El tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca (López & Aguirre, 1987). Kirpich. (1940) desarrolló una ecuación empírica, a partir de información antecedente de siete cuencas rurales estadounidenses, con canales bien definidos y pendiente pronunciadas (3 a 10%) (Chow *et al.* 1994). La Ecuación muestra su expresión de cálculo.

$$T_c = (0.0078 \times L^{0.77}) / S^{0.385}$$

Dónde:

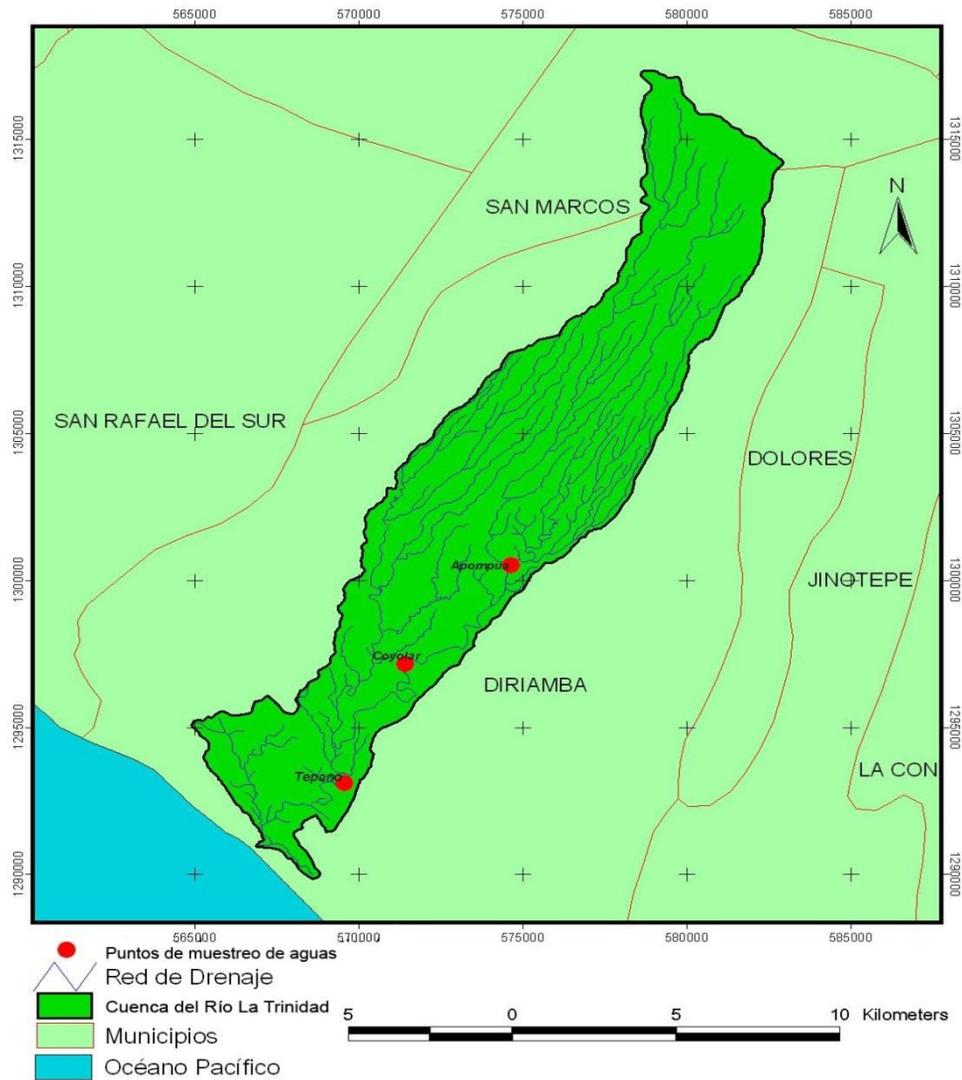
**T<sub>c</sub>** = tiempo de concentración (minutos)

**L** = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (pies)

**S** = pendiente promedio de la cuenca (pies/pies)

### ***Selección y ubicación de los sitios de muestreos para los diferentes parámetros del estudio***

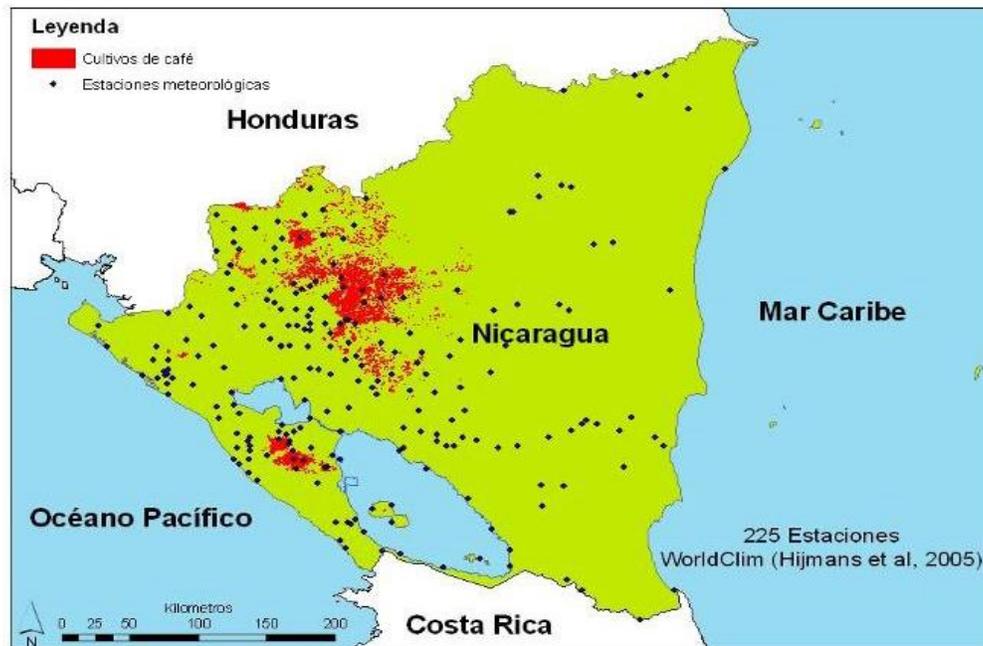
Para la selección de los sitios de muestreo se usaron como criterios básicos; el área con influencia humana, influencia de las lluvias, área de uso agropecuario y forestal y según la toposecuencia de la subcuenca. De esa manera se establecieron los tres sitios (1) ubicado en la parte Alta, en el punto de congruencia de las aguas superficiales Comarca “Apompua”, el sitio (2) se ubica en la parte media en la Comunidad “El Coyolar”, y el sitio (3) que se localizó en la parte baja en la Comunidad “El Tepano”. En la figura 4 se muestran los puntos de muestreos.



**Figura 4.** Mapa de puntos de muestreos, subcuenca Río La Trinidad.

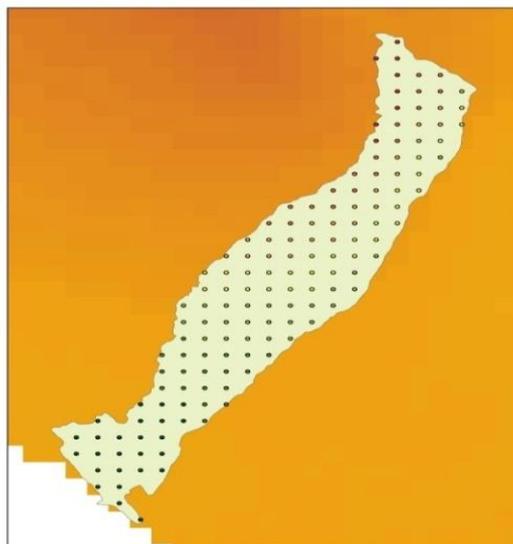
### 3.3.2 Precipitaciones de la subcuenca del Río La Trinidad

El régimen de lluvia durante el período del estudio fue generado utilizando datos de WorldClim y MarkSim. WorldClim que es una base de datos globales de variables climáticas en formato raster con una resolución de 1km<sup>2</sup>. Las coberturas son generadas a través de interpolación de 225 estaciones meteorológicas de Nicaragua con datos promedios mensuales desde el año 1950 hasta el año 2000 (Hijmans et al. 2005). Las variables extraídas de WorldClim son precipitación mensual total, y temperaturas mensuales medias, mínimas y máximas. La Precipitación anual total se calcula a través de sumar todos los valores mensuales.



**Figura 5.** Distribución de las estaciones meteorológicas.

Con los datos generados (interpolaciones de las estaciones meteorológicas), se obtiene la cobertura de puntos con una distancia de 1km entre sí, como se muestra en la figura 6, se hace un corte con ArcGIS para extraer los puntos que corresponde a la subcuenca del Río La Trinidad y se extraen los parámetros estadísticos como promedios mensuales, valores máximos, mínimos y desviación estándar usando una hoja de cálculo de Microsoft Excel.



**Figura 6.** Cobertura de los puntos para las precipitaciones en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

### 3.3.3 Etapa de campo

#### *Muestreo*

En la realización del diseño muestral se consideraron: los sitios seleccionados, el tiempo para la obtención de las muestras tomando en cuenta las épocas secas y lluviosa, y los parámetros: biológicos, físico-químicos y bacteriológicos y del agua.

La recolección de las muestras se realizó en el año hidrológico Julio del 2010 a Abril del 2011. En total se realizaron 5 muestreos durante el estudio con un intervalo de 2 meses entre cada uno. En cada punto se recolectaron muestras de macro-invertebrados, presencia de coliformes totales y fecales en el agua, tomándose una muestra de 100 ml en una bolsa de plástico Pyrex a la cual se le agregó una cápsula de medio de cultivo “Pathoscreen P/A” (Hach Co., Loveland, CO, Cat. # 26106-96).

Adicionalmente, se realizaron 2 muestreos de agua para analizar parámetros físico-químicos como pH, C.E, DBO y DQO en los meses Julio y Abril (época de verano e invierno), las muestras se llevaron a los laboratorios LAQUISA y CIDEA-UCA.

Se muestra en el cuadro 3, la frecuencia del muestreo realizado tanto en la captura de macro-invertebrados acuáticos, el aforo de corriente y la evaluación del entorno, para cada uno de los sitios.

**Cuadro 3.** Calendarización de los muestreos realizados en la subcuenca Río La Trinidad.

Meses	Aforo de corrientes	Físicoquímico/ Bacteriológico	Bacteriológico	Macro-invertebrados
		Laboratorio	Laboratorio y reactivo para coliformes	
Julio 2010	X	X	X	X
Octubre 2010	X			X
Noviembre 2010	X			X
Enero 2011	X			X
Abril 2011	X	X	X	X

### *Aforo de corriente*

Se midió el caudal circulante en un momento determinado (año hidrológico Julio 2010 a Abril del 2011). El aforo se realizó con un correntómetro o molinete digital usado para medir la velocidad del flujo, con un rango de 0.1 a 4.5m/s. este instrumento mide la velocidad, en un punto dado del transcurso del agua por medio de un dispositivo móvil, que detecta la velocidad de la corriente y transmite las indicaciones de un interruptor encargado de cerrar un circuito eléctrico, cuando se ha dado un cierto número de ciclos, sobre un contador o contómetro

Para obtener los valores del caudal, el cauce se dividió en varias secciones del mismo ancho; en cada uno de los extremos por tener forma de triángulo se aplicó la fórmula del área de triángulo  $a=(h*d)/2$ , y las secciones internas por tener forma de trapecio, se aplicó la fórmula del área del trapecio  $A=(B+b)/2*d$ . el área de la sección transversal del cauce de la subcuenca se determinó sumando las áreas de cada una de las secciones.

Para calcular el caudal se utilizó la siguiente fórmula.

$$Q= A*V$$

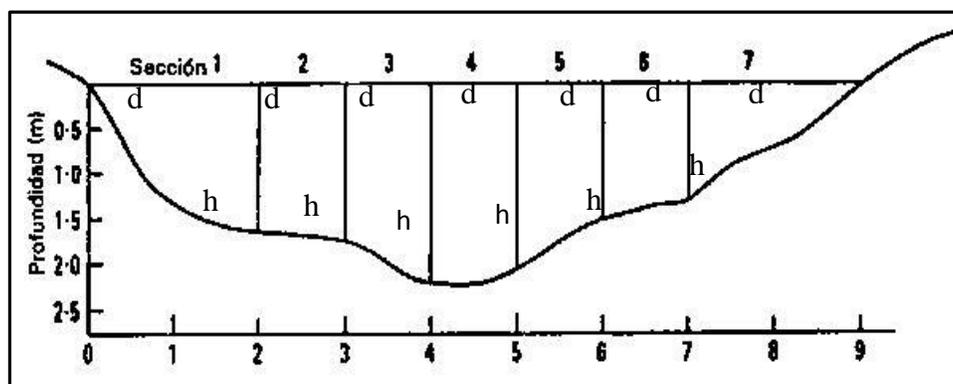
Dónde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**A** = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

**V** = Velocidad media (m/s). La velocidad de cada punto se obtiene directamente del molinete.

El caudal total del río se obtuvo de la suma de los caudales de cada sección. En la figura 7 se muestra las divisiones en secciones del cauce para el cálculo de su área transversal.



**Figura 7.** División en secciones del cauce del río para el cálculo del área transversal en la subcuenca Río La Trinidad.

### **3.2.4 Uso actual del suelo de la subcuenca Río La Trinidad**

Se utilizó imagen de satélite del sensor Landsat5 TM correspondiente al mes de enero del año 2010, descargada del sitio Web oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://www.glovis.usgs.gov/>, última entrada 10 de octubre, 2010). La fecha de la imagen a clasificar, es importante debido a que las coberturas tienen diferentes respuestas espectrales de acuerdo al estado fenológico y condiciones ambientales presentes en el área.

La interpretación del uso del suelo se realizó como una clasificación supervisada de imágenes de satélite, con escala 1:20,000 para trabajo de campo y publicación. Esta metodología permite hacer una comprobación de campo y obtener una leyenda de los tipos de uso de la tierra presentes en el territorio. Las observaciones de campo se hacen a través de “Campos de entrenamiento” que son georeferenciados en el terreno, los que luego son utilizados para identificar las firmas espectrales de los tipos de utilización de la tierra en imágenes de satélite multibanda. Para cada tipo de utilización del suelo se obtiene una firma espectral, que nos sirve para identificar en el resto de la imagen los usos similares y el mapeo del territorio completo.

Una vez que se cuenta con un mapa preliminar se comprueban las áreas que han quedado sin clasificar y se ajusta a los tipos de uso identificados. La comprobación de campo y el levantamiento de puntos con GPS de los “campos de entrenamiento”. Mediante el modelamiento en ArcGIS, se hizo la sobreposición del uso actual con la capacidad de uso del suelo, para identificar las áreas con conflictos de uso del suelo.

#### *a) Análisis histórico de los cambios de uso de los suelos*

Utilizando metodologías participativas se realizaron talleres con las comunidades de Apompua, El Coyolar, y Tepano.

Incluyendo las actividades que los comunitarios realizan durante el año dentro de la subcuenca, esto permitió realizar el diagrama histórico de sus zonas, y en conjunto se elaboró en papelógrafo un mapa de los diferentes usos que la comunidad le da a la tierra en la actualidad, analizando los años de 1986, 1996 y 2010.

Para obtener información de los cambios del uso que han sufrido los suelos en los últimos 24 años, se decidió rescatar la memoria histórica de los comunitarios y productores mayores de edad que han habitado en la subcuenca desde el año 1986.

Una vez obtenida la información, en trabajo de gabinete se procedió a elaborar figuras que sintetizan el uso histórico que se ha dado al suelo durante el periodo establecido; el mismo es analizado en el acápite referido a los resultados.

Se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se dividió en subgrupos por comunidad.
2. Cada subgrupo seleccionó a una persona que dibujara el mapa.
3. Los restantes miembros del subgrupo aportaban información de los usos de la tierra de su comunidad (cultivos principales, áreas de bosque, zonas protegidas, áreas con pasturas etc).
4. Los subgrupos disponían de una hora para el ejercicio.



**Figura 8.** Taller participativo para el análisis histórico de los cambios de usos de la tierra.

***b) Procedimientos para la recolección y análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos***

**➤ *Calidad físico-química del agua***

Las muestras de agua se tomaron en el centro del flujo del cauce, en una cantidad de tres litros por muestras, cumpliendo con las medidas estándares establecidos. Para no alterar las condiciones de la muestra se utilizaron bolsas de pírex con ausencia de aire a una temperatura de 4°C.

Los laboratorios LAQUISA de León y CIDEA-UCA de Managua especializados en el análisis físico-químico de aguas, fueron los encargados de cuantificar los parámetros: pH, conductividad eléctrica, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de los análisis bacteriológicos: Coliformes fecales y total con el propósito de determinar de acuerdo a estos parámetros la calidad del agua y la tendencia que existe por la carga de contaminantes residuales producidos por caseríos o actividades productivas localizadas en la ribera de los ríos. De acuerdo a la información brindada por el laboratorio, las unidades y métodos utilizados se especifican en el (Anexo 5).

Para Demanda Biológica de Oxígeno, se utiliza el método Test de cinco días; para Demanda Química de Oxígeno se utiliza el método 5220-C; y para la determinación del pH, se utiliza el método potenciométrico validado por el laboratorio. En el cuadro 4, se presentan los parámetros para la interpretación de resultados de DBO<sub>5</sub>.

**Cuadro 4.** Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Biológica de Oxígeno en aguas superficiales.

Criterio (mg/l)	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	Excelente, No Contaminada	Azul
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad, aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable, con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada, aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DBO_5 > 120$	Fuertemente contaminada, aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Fuente. CONAGUA, 2007

La Demanda Biológica de Oxígeno, indica además del material biodegradable, el material no biodegradable presente en el agua. La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno que se necesitará para oxidar toda la materia orgánica presente en el agua.

**Cuadro 5.** Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Química de Oxígeno en aguas superficiales.

Criterio (mg/l)	Clasificación	Color
$DQO \leq 10$	Excelente, No Contaminada	Azul
$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad, aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$20 < DQO \leq 40$	Aceptable, con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$40 < DQO \leq 200$	Contaminada, aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DQO > 200$	Fuertemente contaminada, aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Fuente: CONAGUA, 2007

La relación entre  $DBO_5$  y  $DQO$  indica el tipo de vertido y la capacidad de autodepuración.

- a)  $DBO_5/DQO > 0.6$ , es un vertido orgánico, fácilmente depurable de forma biológica.
- b)  $DBO_5/DQO < 0.2$ , es un vertido inorgánico, imposible de depurar de forma biológica.

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron comparados con las normas establecidas para clasificación de los recursos hídricos de Nicaragua, “Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense” NTON 05 007 -98, que determina los parámetros y niveles de calidad exigibles que deben de existir en los cuerpos de agua de acuerdo a los uso a que se destinen. Fue el interés de este estudio determinar la calidad del agua para uso doméstico y uso agropecuario.

▪ ***Calidad bacteriológica del agua***

Para la toma de muestras de agua en cada uno de los sitios muestreados se utilizaron bolsas de pírrex que luego se llevaron al laboratorio para su posterior análisis. Para ello se utilizó el método de fermentación de tubos múltiples. El método consiste en inocular una serie de tubos con diluciones decimales de la muestra de agua. La producción de gas, formación de ácido o abundante crecimiento en los tubos después de 48 h de incubación a 35 °C constituyen resultados presumiblemente positivos. Todos los tubos con reacción presumiblemente positiva son inmediatamente sometidos a pruebas de confirmación. Murrell. 2013

- **Calidad Biológica del agua**

- a) **Evaluación de la calidad del entorno de los sitios de monitoreo de agua**

Se realizó una evaluación de la calidad del entorno de los sitios muestreados, utilizando el índice de integridad física de la estación de monitoreo, adaptada de la metodología elaborada por the Environmental Protection Agency en el año 2001; modificada por García, (2003).

La información que se recolectó para aplicar esta metodología fue la siguiente: Sustrato disponible para fauna., perturbación de los hábitats disponibles; velocidad/profundidad; deposición de sedimentos; flujos del canal; alteración del canal; frecuencia de hábitat; estabilidad del canal; protección por vegetación y ancho de la zona riparia. A cada parámetro se le asigna una puntuación, calificándose de acuerdo a las categorías que aparecen en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo.

<b>Clasificación</b>	<b>Puntaje</b>
Óptimo	20 – 16
Sub - óptimo	10 – 15
Marginal	5 – 10
Pobre	0 – 5

Fuente: Armitage et al. (1992).

## **b) Procedimiento para el muestreo de macro-invertebrados**

1. El muestreo se realizó en los sitios seleccionados en orillas con y sin vegetación, zonas de piedra, de arenas, en corrientes o sin ellas, entre otros.
2. Se tomó las muestras aguas abajo primero y luego hacia arriba vaciando a menudo el contenido de la red en la bandeja de color blanco.
3. Se capturaron los macro-invertebrados utilizando pinzas entomológicas flexibles y se conservaron en un frasco plástico con alcohol al 70% para ser llevados al laboratorio de biología de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria donde fueran identificados.
4. El muestreo terminó cuando no se capturaron nuevas familias de macro-invertebrados.
5. Una vez identificadas a nivel de familias, con ayuda de estereoscopios y claves taxonómicas se hace un inventario de las familias presentes y se asigna la puntuación a cada familia (Cuadro 8). Se obtiene el índice BMWP/Col con la suma total de la puntuación correspondiente.
6. Se realiza la sumatoria de las familias y conforme a los valores del cuadro 5, se determina la calidad de agua.

En el cuadro 7 se muestra el listado de equipos y materiales utilizados para la captura de macro-invertebrados.

El análisis de datos se realizó a nivel descriptivo e inferencial con el Software Microsoft Excel 2007 para Windows. Para el procesamiento y análisis de resultados se realizó de forma descriptiva a través de la generación de gráficos y estimaciones puntuales.

**Cuadro 7.** Materiales utilizados en la captura de macro-invertebrados.

<b>Materiales y equipos</b>	<b>Especificaciones</b>
Redes de mano tipo colador	Utilizado para la recolección de los macro-invertebrados en los sitios de muestreo establecidos. Presentando poros con diámetros de 300 micras.
Bandeja blanca de muestreo	De plástico, por su bajo peso y poco riesgo de rotura; amplia para permitir el vaciado del material colectado; de color blanco porque facilitan la localización de los ejemplares.
Envases para muestras	De plástico, cilíndricos (boca amplia), con cierre hermético, tapa de rosca, y de 500 ml de volumen. Facilidad de limpieza y reutilización.
Envase plástico	Alcohol 70%.
Rotuladores punta fina / lápices	Etiquetado exterior de los envases.
Pinzas entomológicas finas	Facilitan la colecta de macro-invertebrados en la bandeja y red de muestra.
Estereoscopio MEIJI EMT 81848	Identificar organismos en el laboratorio.
Viales	Conservar muestra, con cierre hermético. Tamaño de 25 ml y 50 ml.
Cámara Mini Lw Scientific 800.726.7345 DCM310 (USB2.0)	Tomar fotos a macro-invertebrados identificados.
Claves y guías taxonómicas para identificación de macro-invertebrados	Identificar organismos a nivel de familia utilizando a Armitage et al, 1992, Roldan, 2003; Alba Tercedor 1987; Sánchez, 2005

### 3.2.4 Etapa de Post-Campo

#### *Calidad Biológica del agua*

✓ *Identificación e interpretación de resultados del Monitoreo Biológico de Macro-invertebrados*

Una vez capturados los macro invertebrados, se llevaron al laboratorio de biología de la Universidad Nacional Agraria para su debida identificación. Seguidamente para clasificar la calidad biológica del agua se procedió a la aplicación de la metodología de BMWP/Col.

Para la asignación de valores a las familias de macro-invertebrados encontrados se utilizaron los valores indicados en el Cuadro 8, se utilizó la metodología de Roldán 2003 y Armitage et al. 1992. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica Armitage et al. 1992. Las familias más sensibles como *Perlidae* y *Oligoneuridae*, reciben un puntaje de 10; en cambio las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo: *Tubificidae* recibe una puntuación de 1 (Armitage et al. 1992). La suma de los puntajes de todas las familias corresponde al BMWP/Col.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon) esto es, el puntaje total BMWP/Col dividido por el número de las taxa. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP/Col indica condiciones graves de contaminación. (Armitage et al. 1992).

**Cuadro 8.** Valores utilizados para la determinación del Índice BMWP/Col.

<b>Familias</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Familias</b>	<b>Puntaje</b>
<i>Tubificidae.</i>	<b>1</b>	<i>Gerridae, Hebridae,</i>	<b>8</b>
<i>Culicidae, Chironomidae,</i> <i>Muscidae, Sciomyzidae,</i> <i>Syrphidae.</i>	<b>2</b>	<i>Helicopsychidae,</i> <i>Hydrobiida,</i> <i>Leptoceridae, Lestidae,</i> <i>Palaemonidae, Pleidae,</i>	
<i>Ceratopogonidae,</i> <i>Glossiphonidae,</i> <i>Cyclobdellidae,</i> <i>Hydrophilidae, Physidae,</i> <i>Tipulidae.</i>	<b>3</b>	<i>Pseudothelphusidae,</i> <i>Saldidae, Simullidae,</i> <i>Vellidae.</i>	
<i>Chrysomelidae,</i> <i>Stratiomyidae, Haliplidae,</i> <i>Empididae, Dolichopodidae,</i> <i>Sphaeridae, Lymnaeidae,</i> <i>Hydrometridae, Noteridae.</i>	<b>4</b>	<i>Ampullariidae,</i> <i>Dytiscidae, Ephemeridae,</i> <i>Euthyplociidae,</i> <i>Gyrinidae, Hydraenidae,</i> <i>Hydrobiosidae,</i> <i>Leptophlebiidae,</i>	<b>9</b>
<i>Belostomatidae,</i> <i>Gelastocoridae,</i> <i>Mesoveliidae, Nepidae,</i> <i>Planorbidae, Pyralidae,</i> <i>Tabanidae, Thiaridae.</i>	<b>5</b>	<i>Philopotamidae,</i> <i>Polycentropodidae,</i> <i>Polimitarcydae,</i> <i>Xiphocentronidae.</i>	
<i>Aeshnidae, Ancyliidae,</i> <i>Corydalidae, Elmidae,</i> <i>Libellulidae, Limnychidae,</i> <i>Lutrochidae,</i> <i>Megapodagrionidae,</i> <i>Sialidae, Staphylinidae.</i>	<b>6</b>	<i>Anomalopsychidae,</i> <i>Atriplectididae,</i> <i>Blepharoceridae,</i> <i>Calamoceratidae,</i> <i>Ptilodactylidae,</i> <i>Chordodidae,</i> <i>Gomphidae, Hydridae,</i>	<b>10</b>
<i>Baetidae, Caenidae,</i> <i>Calopterygidae,</i> <i>Coenagrionidae, Corixidae,</i> <i>Dixidae, Dryopidae,</i> <i>Glossossomatidae,</i> <i>Hyaellidae, Hydroptilidae,</i> <i>Hydropsychidae,</i> <i>Leptohiphidae, Naucoridae,</i> <i>Notonectidae, Planariidae,</i> <i>Psychodidae, Scirtidae.</i>	<b>7</b>	<i>Lampyridae,</i> <i>Lymnessiidae,</i> <i>Odontoceridae,</i> <i>Oligoneuridae, Perlidae,</i> <i>Polythoridae, Sphenidae.</i>	

Fuente: Roldan 2003.

Para determinar con esta técnica el estado de salud o calidad del agua superficial de la subcuenca, se procedió a sumar el puntaje asignado a cada una de las familias de acuerdo al índice que asigna el BMWP/Col, y por ende el valor que resulta determinar la calidad del agua. El cuadro 9 muestra los rangos establecidos.

**Cuadro 9.** Clasificación de la calidad del agua mediante el Índice BMWP/Col.

Clase	Calidad	ASPT	Características	Color Cartográfico
I	Buena	9 - 10	Aguas muy limpia Aguas no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	7 - 9	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	5 - 7	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	3 - 5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Crítica	0 - 3	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Armitage et al. (1992)

#### a) Análisis de la diversidad biológica

Según Moreno (2001), el análisis básico de la diversidad biológica implica el cálculo de riqueza, abundancia y diversidad de las especies de la tierra, incluyendo las bacterias y los protistas, al igual que a los organismos multicelulares (plantas, hongos y animales).

El uso ecológico de estos parámetros, es determinar el grado de riqueza o el grado de abundancia en la que se distribuyen los individuos en cada una de las familias. Conociendo que el grado de riqueza indica que una o unas pocas familias están dominando la comunidad en términos de número de individuos, sin embargo, estas compiten por los recursos: luz, alimento, espacio entre otros. Estos son causantes de desplazar al resto de taxas, de tal manera que una comunidad dominante se considera menos diversa. Por lo tanto, lo opuesto “abundancia” mostraría que la comunidad de organismos tiene mayor taxas y tienen una cantidad equitativa de integrantes, a lo cual se considera diversidad Krebs (1985).

Los sitios más abundantes, ricos y diversos se consideran sistemas más estables y de mayor resiliencia (Wasdler y Giller. 1996; Moreno. 2001). La forma de calcularlos se describe a continuación.

### Abundancia

Se refiere al número de individuos por especie y/o familia que se encuentran en la comunidad. Se determina a través de la fórmula que se presenta a continuación.

$$\sum N$$

N= número total de individuos o de familia.

### Riqueza de familia

Es el número de familia en una determinada comunidad o ecosistema.

$$\sum S$$

S= número de familias

### Índice de diversidad de Shannon - Wiener

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado de promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una muestra. Según Moreno (2001), el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia).

$$H = - \sum (n_i / N) \log (n_i / N)$$

Donde:

**H** = índice de diversidad.

**n<sub>i</sub>** = número de individuos pertenecientes a la i-esima especie en la muestra.

**N** = número total de individuos en la muestra.

**Log** = Log<sup>10</sup>

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características morfométricas de la subcuenca

Las características morfométricas son de gran importancia en los estudios de cualquier cuenca, debido a que ofrecen parámetros de comparación e interpretación de los fenómenos que ocurren en ella. Por su parte Arriaga *et al.* (2009) menciona que la caracterización de una cuenca es un paso muy importante para las políticas de administración sustentables, debido a que actualmente no se tiene estudios sobre el comportamiento del flujo hídrico y morfométricos que determinen su dinámica.

La caracterización de una cuenca se inicia con la determinación de los parámetros geomorfológicos que describen la estructura física de la misma. Entre los más importantes figuran: la forma, tamaño o área, longitud máxima, ancho máximo, pendiente del cauce principal, pendiente media, red de drenaje (forma, tipo, grado de bifurcación), altura máxima, tiempo de concentración entre otras. Algunos de estos parámetros sirven de base para considerar peligros a desastres naturales: forma de drenaje, pendiente media, entre otros. Los parámetros morfométricos de la subcuenca del Río La Trinidad se describen y se presentan en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** Resultados morfométricos de la subcuenca del Río La Trinidad.

Parámetros	Indicadores	Resultados
<b>Forma</b>	Superficie	123.56km <sup>2</sup>
	Perímetro	77.42km
	Índice de compacidad (Cc)	1.95
	Razón de elongación (Re)	0.09
	Forma de la subcuenca	Alargada
<b>Relieve</b>	Tiempo de concentración	22.33hr
	Pendiente Media	5%
	Curva Hipsométrica (R <sup>2</sup> )	276.8
<b>Red de Drenaje</b>	Afluentes	118
	Longitud total de afluentes	258km
	Longitud de corriente principal	39.20km
	Orden de corriente	4
	Densidad de drenaje	2.09km/km <sup>2</sup>
	Densidad de corriente	1.0 corrientes/km <sup>2</sup>

#### **4.1.1. Parámetros de forma**

Según Viramontes *et al.* (2007) señala que la forma se considera una característica cuyo concepto es complejo, con muchos atributos específicos lo que hace difícil caracterizar de manera real este parámetro mediante un simple resultado numérico. Tomando en cuenta este concepto, de acuerdo a los resultados obtenidos se pueden hacer las siguientes consideraciones sobre la subcuenca del Río La Trinidad.

La subcuenca del Río La Trinidad tiene un área aproximada de 123.56km<sup>2</sup> y un perímetro de 77.42km. En la descripción de la forma, los resultados según el índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (1914) es de 1.95 y el coeficiente de forma o razón de elongación de 0.09, lo que dan una forma alargada, con cierta irregularidad, de manera que no son muy compactas. Cuando el factor de forma es bajo o el coeficiente de compacidad mucho mayor que 1 describe una subcuenca con una respuesta de escorrentía con retardo.

La forma de la subcuenca es muy importante debido a que esta tiene que ver con la capacidad que tiene de administrar el volumen de agua que circula por ella, del mismo modo se puede ver el tiempo de concentración de las aguas al punto de salida, sin embargo, modifica las tasas de flujo máximo Servicios Ambientales y Forestales Consultores (SAYFOR s.f.). Las cuencas más alargadas tienden a una respuesta más difusa, en comparación con las respuestas de tormentas de caudales altos en cuencas compactas ya sean ovaladas, oblongas y alargadas

Según Gravelius (1914), cuanto más se acerque la forma de la subcuenca a alargada, más lentamente circularan las aguas al lecho del río, por tanto el escurrimiento será más retardado, ya que el tiempo de concentración del agua es mayor, esto permitirá crear las condiciones para evacuar a la población en caso de una alerta por inundación, así evitar pérdidas de vidas humanas.

#### **4.1.2. Parámetros de relieve**

##### **Pendiente media**

La subcuenca del Río La Trinidad tiene un valor de pendiente media de 5%, lo que favorece la infiltración del agua en el suelo, disminuyendo la escorrentía superficial y con ello la disminución de la pérdida de la capa superficial de los suelos, siendo menor la velocidad de la corriente en el cauce, por lo que el tiempo de concentración del agua a la salida de la subcuenca es retardado. Hay que destacar que aún existen áreas con importante cobertura vegetal como café con sombra, vegetación arbustiva, bosque latifoliado abierto y cerrado (51.10 km<sup>2</sup>), lo cual favorece la infiltración del agua en el suelo, por la interceptación de la lluvia por parte de la cobertura vegetal.

Cuencas de mayores pendientes tienen una escorrentía más veloz y sus hidrógramas, por tanto, tienden a responder más rápidamente a la precipitación, incrementando los caudales punta (Sherman, 1932; Horton, 1945; Strahler, 1964).

### **Elevación media**

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales predominantes. Debido al uso agropecuario que predomina en la subcuenca del Río La Trinidad, representa riesgos de erosión hídrica, compactación del suelo, que van en detrimento de la productividad de los suelos, de disponibilidad de las fuentes de agua (calidad y cantidad de agua).

La elevación media de la subcuenca del Río La Trinidad es de 276.85 msnm, este valor brinda información acerca del potencial de erosión geológica según su etapa de desarrollo. En este sentido, la subcuenca se encuentra en una etapa intermedia de desarrollo, ya que se encuentran entre la fase de equilibrio relativo o de madurez y la fase de desequilibrio o juventud, evolucionando hacia la etapa de madurez. Por tanto, la subcuenca, debido a un uso y manejo de los suelos no adecuados sufren degradación física, química y biológica, pudiendo a futuro que evolucione en un tiempo muy corto a la etapa de madurez.

### **Parámetros relativos a la red de drenaje**

La red de drenaje de la subcuenca del Río La Trinidad está conformada por varios ríos que nacen principalmente de las Esquinas a 750 msnm. Los principales afluentes y quebradas que drenan a este río son: San Gregorio, El Chanal, El Ojochal, Apompua, Monte Grande y Ojo de Agua.

En la parte alta de la subcuenca los tributarios que forman la red de drenaje son afluentes temporales en los cuales circula agua sólo en época lluviosa. En la parte media y baja de la subcuenca los tributarios son permanentes, lo que circula agua todo el año. De acuerdo al criterio del destino final del escurrimiento, se clasifica como subcuenca exorreica ya que el área de captación drena su escurrimiento superficial hacia el Océano Pacífico. Según González (2004), la red hidrográfica es la responsable de transportar la materia y energía en el interior de la subcuenca que sumado al estado ecológico, tendrán una influencia directa sobre la calidad del agua.

La subcuenca presenta un patrón de drenaje paralelo y subparalelo (tributarios con ángulos dispuestos más o menos de 45°), en la parte alta y media de la subcuenca. Este patrón paralelo es el resultado de una pendiente pronunciada sobre sustrato geológico bastante impermeable. Presenta un patrón dendrítico (tributario en forma de árbol) en la parte baja.

La jerarquización se ha realizado bastante exhaustiva marcando todos los arroyos o ríos, a partir de los cauces principales delineados en la red hidrográfica en el mapa topográfico escala 1:50,000.

Según Horton-Strahler, el orden de las corrientes de la subcuenca del Río La Trinidad presenta un sistema de drenaje del cuarto orden. Teniendo en cuenta la extensión que ocupan, se define como una subcuenca bastante jerarquizada.

Según los valores determinados de densidad de drenaje en la subcuenca del Río La Trinidad es de 2.09 km/km<sup>2</sup>, valor que se encuentra por debajo de cinco, indica que en la subcuenca cuando el drenaje se formó, existía una buena cobertura vegetal y alta permeabilidad, según valores de densidad presentados en el cuadro 9.

La densidad de drenaje usualmente toma valores entre 0.5 km/km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre y de 3.5 km/km<sup>2</sup> para cuencas excepcionalmente bien drenadas (Porta y Acevedo, 2005). Según esta clasificación se considera que la subcuenca es moderadamente drenada, ya que presenta una densidad de drenaje que la ubica en clases de densidad de drenaje moderado. Este valor pudiera explicarse inicialmente por la cobertura vegetal y la litología del área de estudio. Por lo que, se considera una subcuenca con suelos permeables que facilitan la infiltración y alimenta el flujo subsuperficial.

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km<sup>2</sup> o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje.

La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por lo que se tiene para un valor alto de densidad de drenaje corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes.

Como resumen de las características morfométricas de la subcuenca, se puede decir que por su forma alargada, su drenaje, alimentado por 118 cauces secundarios con un tiempo de concentración de agua a la salida de subcuenca de 22.33hr, una pendiente media y una densidad de drenaje que le permite gobernar la tasa de suministro de agua al cauce principal (desde su inicio hasta su desembocadura), contribuyen a retardar el momento entre la precipitación y la crecida en la desembocadura. De acuerdo a su nivel de erosión se encuentra en una etapa intermedia o de transición de la fase de desequilibrio juvenil a la fase de equilibrio relativo de madurez.

## **4.2. Uso actual del suelo**

Se identificaron los diferentes usos del suelo, agrupados en siete categorías principales tales como: agropecuario, bosque latifoliado cerrado, bosque latifoliado abierto, café con sombra, cultivos perennes, sistemas silvopastoriles y vegetación arbustiva (cuadro 10). Estos grupos de vegetación se encuentran en diferentes estados de intervención. En la figura 9 se muestra la distribución de los usos del suelo en esta área de captación.

A continuación se describen brevemente cada uno de estos grupos de vegetación.

### **4.2.1. Vegetación de ciclo corto**

#### ***Agropecuario***

Se refiere al uso continuo de la tierra anualmente, donde los suelos permanecen cubiertos de cultivos durante una época del año, o en rotación durante todo el año. Generalmente son tierras con mediano potencial agropecuario.

Se ha incluido potreros de ganadería extensiva, pastos mejorados, barbecho, pastos con arbustos y pastos con árboles dispersos, ya que la resolución de la imagen de satélite no permitió separar estas unidades con más detalle, siendo la firma espectral idéntica para estos usos. Ocupa 59.24 km<sup>2</sup>; que representa el 47.90% del área total.

#### ***Cultivos anuales***

Esta categoría está representada por cultivos anuales (granos básicos con predominio de maíz, frijol que se siembran en asociación, también algunos siembran tomate). Esta categoría de vegetación se distribuye en la parte baja, y media del municipio. Ocupa un área de 27.82 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 18.69% del área total.

### **4.2.2. Vegetación de ciclo largo**

Comprende el uso estacional de la tierra (cinco años o más) por cultivos herbáceos forrajeros, sean cultivados o naturales (praderas naturales o pasturas), con cobertura de vegetación leñosa menor del 10% de copas, y cultivos que la ocupan por largo período y no necesitan ser replantados después de cada cosecha.

#### ***Cultivos perennes***

Cultivos perennes y semi-perennes: Son aquellos que no deben ser sembrados luego de cada cosecha, con ciclo vegetativo de uno a más años y en plantaciones compactas. Por ejemplo el cacao, caña de azúcar, coco, pitahaya y plátano, entre otros. Ocupan un área de 1.05 km<sup>2</sup>, lo que representan 0.8% del área total de la subcuenca.

### ***Sistema silvopastoril***

Existen en la subcuenca muy pocas fincas con sistemas de árboles más pasto. Ocupa apenas 0.1 km<sup>2</sup>; que representa el 0.1% del área total.

### **4.2.3. Vegetación de bosque**

Son sistemas ecológicos compuestos predominantemente de árboles, generalmente asociados con flora y fauna silvestre y condiciones naturales del suelo, con altura mínima de los árboles de 5 metros en edad madura. Está constituido por remanentes de bosques latifoliados intervenidos. Representa el 25.63% (31.67 km<sup>2</sup>) del área de la subcuenca. En esta categoría se incluye:

#### ***Bosque latifoliado cerrado (BLC)***

Es un bosque remanente que se encuentra en las partes montañosas generalmente más arroyos mayor de 30% de pendiente y que presenta una vegetación característica de ecosistemas con temperatura media anual inferior a los 24° C y lluvias mayores a los 1200 mm anuales (subtropical húmedo), desarrollándose este tipo de formación vegetal adaptada a estas condiciones bioclimáticas. Ocupa una extensión territorial de 11.91 km<sup>2</sup> que representan el 9.6% del área total de la subcuenca.

#### ***Bosque latifoliado abierto (BLA)***

Es un bosque remanente que se encuentran dispersos en toda la subcuenca conformada por árboles latifoliados que tienen entre 5 y 10 metros de altura y cobertura de copas de árboles entre 50 y 70%. Pertenecen a este grupo los bosques latifoliados fuertemente intervenidos, también algunos potreros abandonados que por regeneración natural se han venido poblando nuevamente de árboles. Ocupa 19.76 km<sup>2</sup>; que representa el 16.0% del área total.

### **4.2.4. Vegetación de hábitat boscoso**

Está constituida por todo el complejo de vegetación leñosa derivada del aclareo del bosque natural para la agricultura itinerante. Es una clase intermedia entre el bosque y cultivos que tienen hábitat boscoso (café, árboles frutales, etc.). Está representada por:

#### ***Café con sombra (C)***

Generalmente café de zonas altas con sombra conformada por árboles de porte mediano y alto, de copas de buena cobertura, donde el factor climático y los suelos juegan un papel muy importante en lo que se refiere a bajas temperaturas y suelos profundos.

El café con sombra considerado como un sistema agroforestal y con buenas prácticas agrícolas tiene mucho potencial no solo de ser un cultivo rentable, sino que también genera importantes servicios ambientales como: secuestro de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, control de la erosión de suelos, belleza escénica, recarga de acuíferos subterráneos y protección de fuentes de agua. Se encuentra distribuido en la parte media y alta; con extensión territorial de 7.31 km<sup>2</sup>, que representan el 5.90% del total del área de la subcuenca.

### ***Vegetación arbustiva***

Está conformada por la asociación de júcaro y pastos en suelos vérticos y vertisoles generalmente ubicados en la parte baja de la subcuenca, con un clima muy seco. Ocupa una extensión territorial de 24.20km<sup>2</sup>, que representan el 19.60% del total del área de la subcuenca.

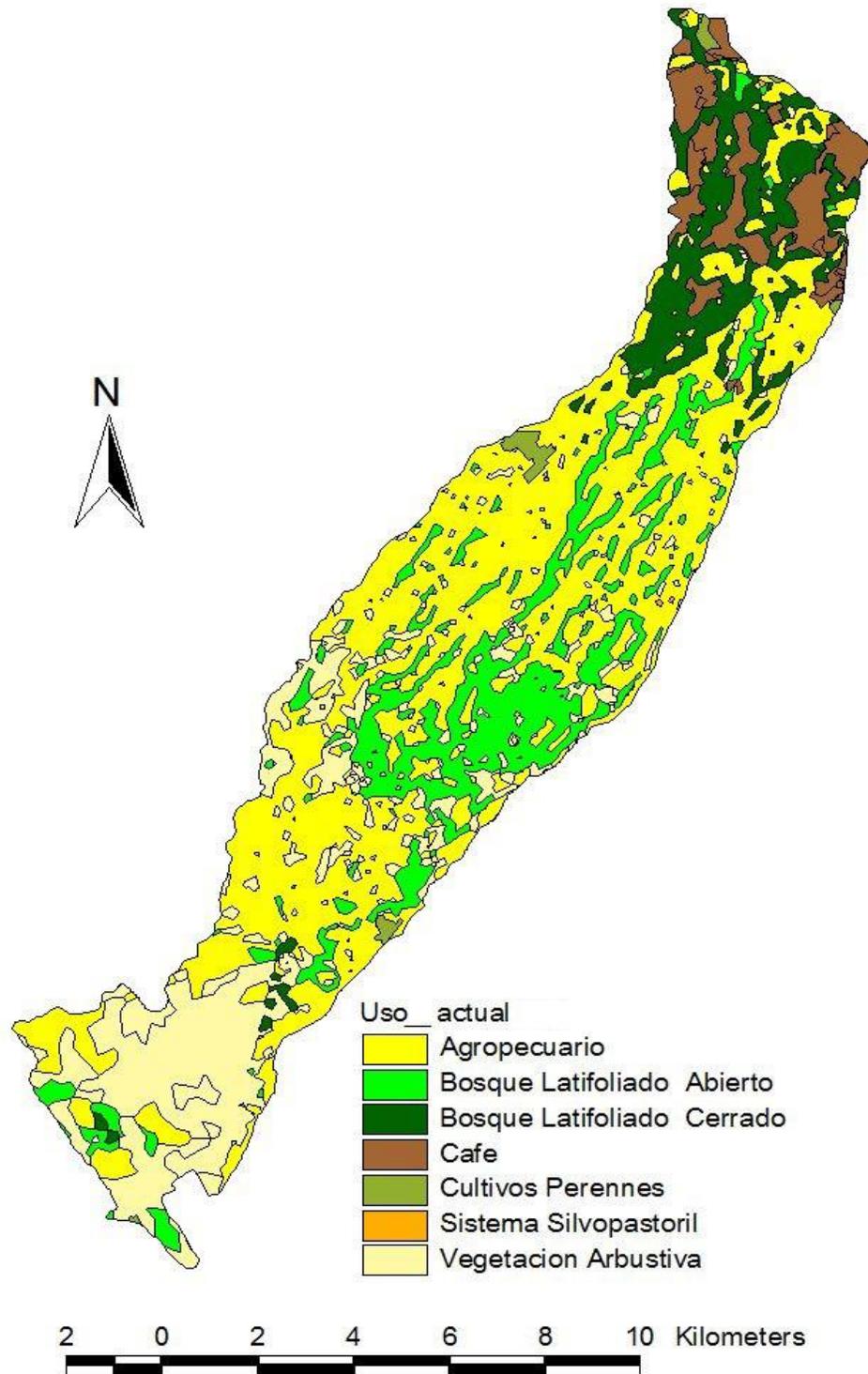
En el figura 9, se puede observar que el uso de la tierra que más predomina es el agropecuario y vegetación arbustiva. Se observan remanentes de bosques en áreas de la zona alta y sobre la ribera de los ríos. Sin embargo, las áreas de cultivos perennes se encuentran en su mayoría junto a los bosques y puede estar asociado a la presencia de pequeñas parcelas de pitahaya, los cultivos de granos básicos ocupan la parte media de la subcuenca.

En la figura 10, se presenta el uso actual de la tierra, expresado en dibujos por todos los habitantes del sector en los talleres participativos que se realizaron en la subcuenca, donde se rescata los conocimientos y experiencias, de comunitarios de Apompua, Coyolar y Tepano.

El mapa de uso actual para el año 2010 elaborado por los comunitarios, muestran coincidencia con el mapa de usos actual obtenido de la interpretación de la imagen de satélite utilizada en este estudio. Apompua, Coyolar están ubicadas en la parte alta de la subcuenca, donde se observa la presencia de bosque latifoliado abierto y cerrado, café con sombra, cultivos perennes y una pequeña proporción de uso agropecuario.

Parte de la comunidad de El Coyolar y Tepano, representan las zonas medias y baja respectivamente, además se observa el incremento en pastos para ganadería, cultivos agrícolas y un bosque escaso principalmente en el bosque latifoliado cerrado.

Según la evolución histórica de los usos de la tierra en la subcuenca del Río La Trinidad ha ido cambiando debido a la demanda de los recursos naturales por el aumento de la población en la misma, representando una tendencia al deterioro ambiental de los recursos: suelo, agua y bosques si no se reorientan las actividades que en ella se realizan.



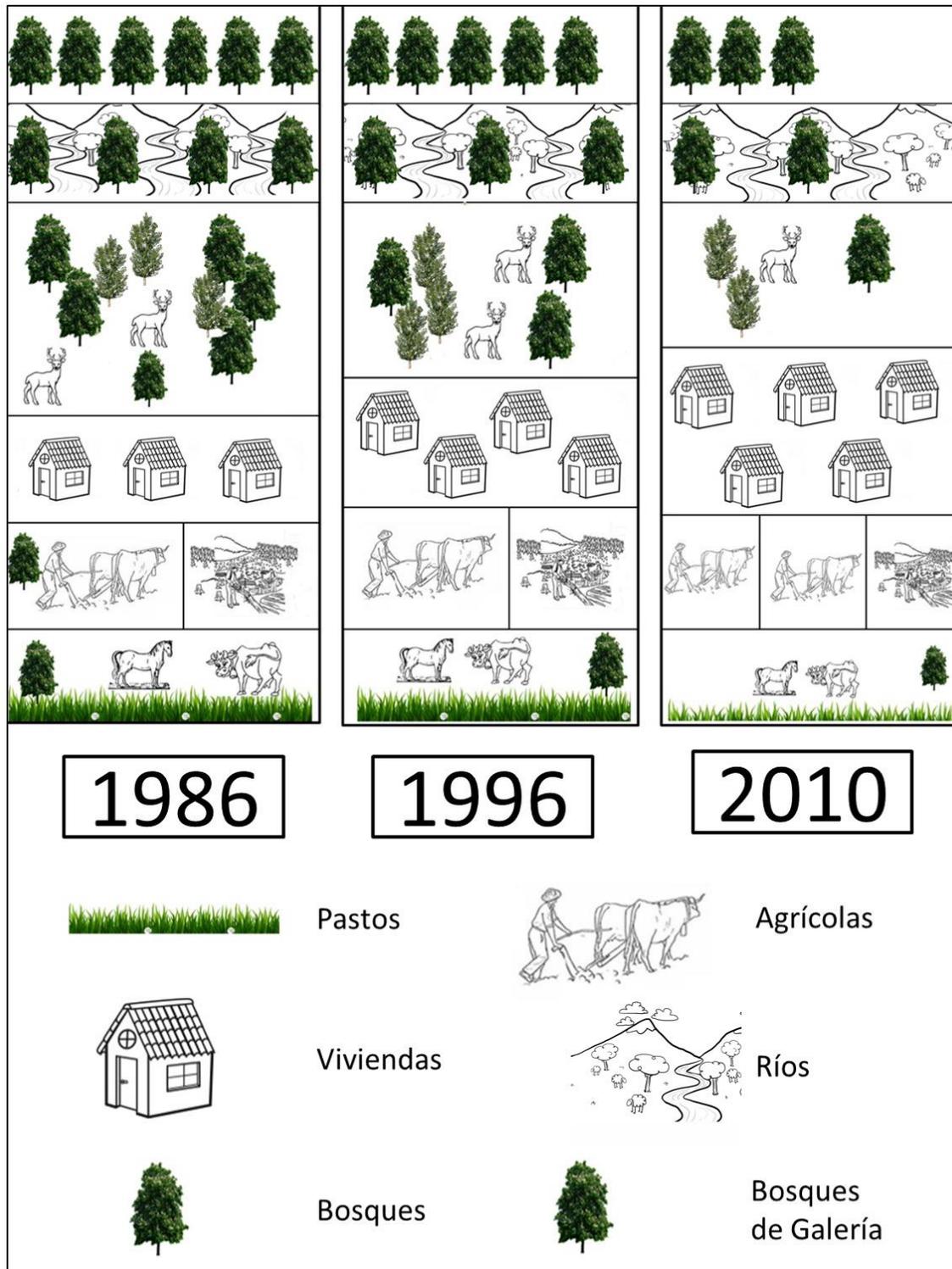
**Figura 9.** Distribución de las categorías de uso actual del suelo en la subcuenca del río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

El uso actual del suelo en la subcuenca tiene un origen histórico, en los talleres participativos se analizaron los cambios ocurridos durante el periodo 1986, 1996 y 2010, la descripción del proceso evolutivo partió de reconocer cual era la situación de los bosques, la agricultura, ganadería, la infraestructura y las personas de 1986, como manifiestan que se encontraban en 1996 y cuál es la diferencia al año 2010.

Los comunitarios coinciden que se ha producido una disminución del bosque y lograron asociar que con la disminución del bosque ripario o galería también se ha presentado una disminución en la cantidad de agua superficial.

Las causas de la disminución del bosque están relacionadas con el incremento que se han presentado en los cultivos. Hasta 1986 en la zona alta lo que predominaba eran bosques con pequeñas áreas de cultivos básicos; estos cambios se deben a que en ese periodo se formaron cooperativas, llegadas de colonos, incrementándose la población. Esto conlleva a un proceso de deforestación para la construcción de viviendas, cultivo de granos básicos de subsistencia, ganadería a baja escala y cultivos menores variados para suplir las necesidades de la población. Los efectos son la disminución significativa del bosque ripario y del bosque latifoliado e incremento en la zona de pasto, áreas de cultivos y crecimiento demográfico.

El análisis en la figura 10 indica que los cambios en el uso del suelo ocurridos históricamente en la subcuenca, son factores que han afectado directa e indirectamente la cantidad y calidad de las aguas superficiales que circulan por el cauce principal; es de suponer que estos impactos provocan cambios en el comportamiento morfodinámico e hidrológico de la subcuenca, incidiendo directamente en la calidad del agua y por ende en la comunidad de macro-invertebrados acuáticos asociados al cuerpo de agua.

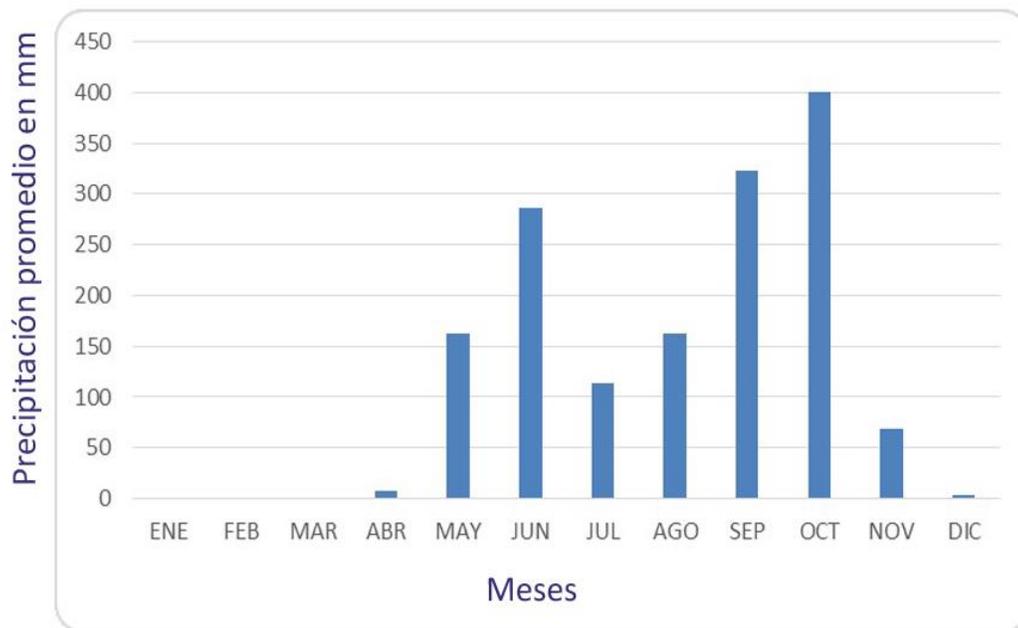


**Figura 10.** Diagrama histórico del uso de la tierra, según comunitarios de la subcuenca Río La Trinidad

### 4.3 Precipitaciones de la subcuenca Río La Trinidad

En la figura 11 se presentan las precipitaciones promedios mensuales desde el año 1950 hasta el año 2000 (Hijmaans et al. 2005). Se observa que en el mes de octubre las precipitaciones fueron de 401 mm, esto provocó que el sitio de la parte alta de la subcuenca quedara inaccesible y no se tomaron muestras en ese mes. Las precipitaciones en la subcuenca tienen un comportamiento bimodal.

Los meses de Enero hasta Abril, fueron totalmente secos. En los meses de Junio, Septiembre y Octubre fueron los meses que cayeron las máximas precipitaciones, reduciéndose en el mes de Diciembre con 4 mm, etapa en que se inician los meses sin lluvia o estación seca.



**Figura 11.** Precipitaciones estimadas para la subcuenca del Río La Trinidad.

### 4.4 Aforo de la corriente superficial del agua

Se determinaron los caudales circulantes en los sitios de muestreo de agua en la subcuenca del Río La Trinidad. En el cuadro 11 se muestran las fechas de muestreo del caudal circulante durante el periodo de estudio en los tres sitios seleccionados en la misma. Sin embargo, se observó un flujo continuo (no presencia de aguas estancadas). Se observa en el cuadro 11 que el caudal en el primer muestreo resultó ser bajo, con respecto al segundo muestreo realizado el mes de Octubre, esta situación es por el efecto de la canícula que se da en los meses de Julio y Agosto

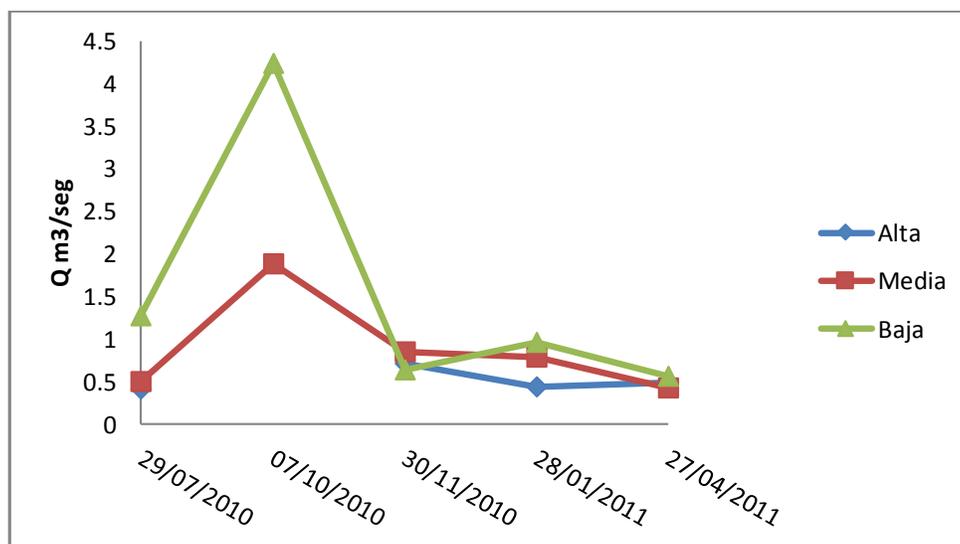
**Cuadro 11.** Comportamiento del caudal circulante del Río La Trinidad.

Muestreos	Fecha	Sitios Muestreos		
		Alta m <sup>3</sup> /s	Media m <sup>3</sup> /s	Baja m <sup>3</sup> /s
1er	29/07/2010	0.413	0.505	1.27
2do	07/10/2010	NM	1.887	4.236
3er	30/11/2010	0.708	0.846	0.642
4to	28/01/2011	0.443	0.788	0.963
5to	27/04/2011	0.486	0.426	0.562

NM: No se muestreó el caudal por acceso temporal restringido.

En el segundo muestreo se obtuvieron los valores más altos de caudal durante el año hidrológico estudiado, en la parte Alta no se reportan resultados de medición debido a que no se pudo acceder al sitio de muestreo por caminos inaccesibles. En la parte Media se determinó un caudal de 1.887 m<sup>3</sup>/s y en la parte Baja un valor de 4.236 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, para Noviembre del 2010, las precipitaciones fueron casi nulas, como se muestra en la figura 12, ya que finaliza la etapa lluviosa, solamente fluye el agua que se escurre por flujo subsuperficial, que es el encargado de mantener el caudal base o circulante en la red hidrográfica de la subcuenca.

Se destaca que el caudal base se mantuvo en 0.562 m<sup>3</sup>/s, en los periodos más secos del año como es el mes de Abril, debido a que hay una recarga del acuífero de las meseta de los pueblos, además que la subcuenca tiene suelos profundos, franco arenosos y con buena infiltración, que permiten la recarga del acuífero y con ello mantener durante todo el año el caudal circulante del Río La Trinidad.



**Figura 12.** Caudal circulante en los sitios de muestreo de agua, subcuenca Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

Los valores registrados de aforos están en correspondencia a las precipitaciones, meses con mayores precipitaciones, meses con mayor caudal en cada sitio muestreado.

## 4.5 Calidad del agua superficial

### 4.5.1 Calidad físico-química del agua

#### DBO<sub>5</sub> y DQO

La demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la demanda química de oxígeno (DQO), así como la relación existente entre ellos en la subcuenca se utilizaron para medir la cantidad de materia orgánica presente; basándose en la cantidad de oxígeno necesario para descomponer u oxidar los productos orgánicos en el agua.

De los resultados de variables físico-químicas, se determinaron los índices que constituyen las clasificaciones cualitativas y cuantitativas. Estos índices tienen el propósito de simplificar la información útil para la toma de decisiones; se concentran en los factores ambientales claves y comunican información sobre la calidad del medio afectado. En el cuadro 12 se muestran los resultados de los parámetros físicos-químicos analizados en el agua del Río La Trinidad.

**Cuadro 12.** Resultados físico-químicos de la subcuenca del río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

Parámetros Físicoquímicos	Fecha: 29/07/10			Fecha: 27/04/11			Valor Recomendado Norma NTON 2000
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	NTON 05 007-98
Unidades de pH	7.56	7.67	7.69	7.2	7.8	8	6.5 – 8.5
C.E $\mu$ S/cm	431	481	550	342	365	361	NO ESP
DBO <sub>5</sub> mg/l	<1,0	<1,1	4	1.24	1.63	1.32	2mg/l – 5mg/l
DQO mg/l	<1,0	<1,1	7.8	126.96	11.87	52.92	NO ESP
DBO <sub>5</sub> / DQO mg/l			0.51	0.01	0.14	0.02	

Según los valores del cuadro 11, el DBO<sub>5</sub> en el agua fue de: <1.0mg/l, <1.1mg/l y 4mg/l (parte alta, media y baja respectivamente) en la época húmeda indicando que el agua es aceptable o esta moderadamente limpia a la salida de la subcuenca. Mientras, en la época seca los valores obtenidos fueron de: 1.24mg/l, 1.63mg/l y 1.32mg/l (parte alta, media y baja respectivamente) que clasifican la calidad según este parámetro como aguas muy buenas que no tienen mucho desecho orgánico y pueden ser utilizadas para consumo del ganado, riego de cultivos agrícolas, entre otras actividades.

La NTON 2000, 05 007-98, clasifica las aguas según DBO como aguas del Tipo 1, las cuales pueden ser destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

El resultado de DQO es de <1.0mg/l, <1.1mg/l y 7.8mg/l (parte alta, media y baja respectivamente), en la época húmeda indicando que según este parámetro no hay contaminación, y en la época seca se obtuvieron valores de 126.96mg/l, 11.87mg/l y 52.92mg/l (parte alta, media y baja respectivamente).

Según clasificación del agua superficial CONAGUA 2007, la parte alta y baja de la subcuenca están contaminadas presentando valores entre el rango  $40 < DQO \leq 200$  mg/l, en aguas superficiales, indicando altos contenidos de materia orgánica e inorgánica vertidos en ambos sitios. Mientras que en la parte media por un lado se hicieron vertidos que no contaminaban el agua y por otro lado, los valores indican que el agua de la parte media fue diluida por aportes de otros afluentes que drenan en ese sitio, resultando los contenidos de DQO bajos.

La relación entre la DBO<sub>5</sub>/DQO, en el primer muestreo es superior a 0.2 mg/l, lo que hace indicar que los vertidos realizados durante ese periodo son fáciles de depurar biológicamente. Sin embargo, en el segundo muestreo indican que en los sitios de muestreo es superior a inferior a 0.2 mg/l, lo que indica que en algunos puntos de la subcuenca se hacen vertidos inorgánicos imposibles de depurar de forma biológica. El hecho de no ser biodegradable el material presente en el agua, limita su uso para consumo humano.

### ***pH del agua***

El pH del agua de la subcuenca del río La Trinidad se considera básico o ligeramente alcalino en la parte alta, media y baja (7.56, 7.67 y 7.69 unidades de pH, respectivamente). En el primer muestreo de julio del 2010 el pH del agua del río no sufre variación en los tres sitios de muestreo, manteniéndose casi constante. Esto puede ser debido al periodo lluvioso ya que se da una mayor influencia del agua de precipitación.

De igual manera en el segundo muestreo presenta un pH ligeramente alcalino, valores que resultaron ser más semejantes al primer muestreo, exceptuando en la parte baja que fue mayor en el segundo muestreo (7.2, 7.8 y 8 unidades de pH respectivamente).

Los valores obtenidos de pH, pueden ser debido a que hay una concentración de sales de calcio o magnesio ya que el muestreo se hizo en el periodo de estiaje por lo cual hay una mayor influencia del agua que drena por flujo subsuperficial manteniendo el caudal circulante y que estos flujos de agua mantienen contacto con la roca subyacente cargándose de iones básicos como el sodio, calcio y el magnesio.

### ***Conductividad eléctrica***

Los valores de conductividad eléctrica resultaron ser más altos en el primer muestreo en la parte alta; la cual fue de 431  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , parte media fue de 481  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la parte baja. En el segundo muestreo fue de 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$  parte alta, 365  $\mu\text{S}/\text{cm}$  parte media y 361  $\mu\text{S}/\text{cm}$  parte baja. Estos altos valores de conductividad están asociados a las actividades agrícolas (quema de rastrojos, concentración de sales en periodo canicular, aplicaciones de agroquímicos entre otras) realizadas en la época del primer muestreo.

Una vez que han cesado las precipitaciones no hay incidencia de estas en el arrastre de materiales producto de las actividades agrícolas, lo que permite que la concentración de sales en la red del Río La Trinidad sea menor y muy estable. El uso de las mismas no está restringido para aguar el ganado, y el riego de cultivos.

## **4.6 Calidad bacteriológica del agua**

Según los resultados obtenidos de los laboratorios (LAQUISA y CIDEA-UCA) todas las muestras resultaron positivas de presencia de coliformes fecales y totales (Cuadro 13). De acuerdo a los resultados de laboratorio sobre coliformes totales y fecales se determinó que en todos los tres sitios de muestreos hay presencia de coliformes fecales y totales muy altos. Número Más Probable (NMP) mayores o iguales a 1,100 NMP/100ml, según la Norma Regional CAPRE, 1994, permiten el nivel máximo de 4 NMP/100ml para coliformes totales y debe de ser negativo los resultados del análisis de coliformes fecales cuando se trata de aguas para consumo humano. Según la NTON 2000 (05 007-98) estas aguas pueden ser utilizadas para riego de cultivos agrícolas, para aguar el ganado y para balneario.

**Cuadro 13.** Resultados de análisis bacteriológicos del agua del Río La Trinidad. Diriamba, Carazo.

<b>29/07/2010</b>	<b>Parámetro Bacteriológico</b>	
<b>* Valor Recomendado</b>	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Coliformes Totales</b>
<b>Normas NTON 2000, NTON 05 007-98</b>	<b>UFC/100ml</b>	<b>UFC/100ml</b>
<b>Análisis realizado por laboratorio LAQUISA</b>		
Alta	9	100
Media	31	116
Baja	12	60
<b>Análisis realizado por laboratorio CIDEA-UCA</b>		
<b>27/04/2011</b>	<b>NMP 100</b>	<b>NMP 100</b>
Alta	44.12	>1600
Media	48.35	>1600
Baja	33	>1600

Los valores en cuanto a coliformes fecales y totales indican que las aguas de este río no deben utilizarse para consumo humano, ni para uso doméstico por que puede causar daños en la salud (diarrea, sarna, hongo en la piel entre otras) a las personas que hacen uso de la misma.

De acuerdo a los sitios de muestreos, la parte media de la subcuenca es la que presenta mayor presencia de coliformes fecales y totales, esto podría estar relacionado al mayor uso de tierra destinada a las actividades agropecuarias que comprueban los comunitarios en los talleres participativos, y la misma presencia humana que hacen defecaciones al aire libre en la ribera del río. En la parte baja el contenido tanto de heces fecales como totales es menor porque hay afluentes que drenan en esa parte de la subcuenca y que contribuyen a diluir las concentraciones.

## 4.7. Calidad biológica del agua

### 4.7.1. Evaluación de la integridad física de los sitios de muestreo

Los resultados de la valoración del entorno tomando en cuenta los parámetros relacionados al estado de salud del hábitat en el momento del muestreo muestran tendencia semejantes en los tres sitios de muestreo del río, presentando una calidad sub-óptima en los tres sitios de monitoreo con puntajes que varían entre de 14.72, 15.56 y 14.58 como se muestra en el cuadro 14.

El parámetro del hábitat más afectado en todos los puntos de muestreo resulto ser el ancho de la zona riparia con una calificación de Marginal, lo cual indica que el bosque de galería que sirve de protección en la ribera del río tiene un ancho menor de 6 metros.

**Cuadro 14.** Clasificación del entorno en la subcuenca Río La Trinidad.

Parámetros del hábitat	Sitios de Muestreos (índice)			Promedio General
	Alta	Media	Baja	
Sustrato disponible para fauna	13.25	15.6	13	13.95
Perturbación de hábitat	13	16.2	18.2	15.8
Velocidad/ Profundidad	15	15.2	15	15.06
Deposición de sedimentos	16.25	15.2	16.6	16.01
Flujo del canal	18.25	16.8	16.6	17.21
Alteración del canal	20	20	20	20
Frecuencia de hábitat	15.5	17.2	13.6	15.43
Estabilidad del canal	17.25	17	13.8	16.01
Protección por vegetación	11.5	15.6	13	13.36
Ancho de la zona riparia	7.25	6.8	6	6.68
<b>Total del Puntaje</b>	<b>147.25</b>	<b>155.6</b>	<b>145.8</b>	<b>149.51</b>
<b>Promedio</b>	<b>14.72</b>	<b>15.56</b>	<b>14.58</b>	<b>14.95</b>
<b>Calificación obtenida</b>	<b>Sub Optimo</b>	<b>Sub Optimo</b>	<b>Marginal</b>	<b>Marginal</b>

Cabe señalar que la ley 462 “Ley de conservación, fomento y desarrollo sostenible del sector forestal”, en su artículo número 27 del capítulo III, en la sección 5. Designa estas áreas como Áreas Forestales de Protección Municipal se delega a las alcaldías municipales, la responsabilidad y el cuidado de dichas áreas. Por considerarlo de mucho interés a continuación se transcribe textualmente el artículo de dicha Ley. Por lo anterior, se sugiere establecer un programa de reforestación en estas riberas con el fin de proteger las fuentes de agua.

**Arto. 27.** Son Áreas Forestales de Protección Municipal, bajo la responsabilidad y el cuidado de las municipalidades, las ubicadas:

1. En una distancia de 200 metros medida horizontalmente de la marca máxima de marea o fluctuación del cuerpo de agua a partir de las costas de los lagos, embalses naturales, embalses artificiales y fuentes de agua.
2. En una distancia de 50 metros medidos horizontalmente a cada lado de los cauces y de los ríos.
3. En áreas con pendientes mayores de 75 %.

En estas áreas se prohíbe el corte de árboles en cualquiera de sus modalidades y se prohíbe el aprovechamiento forestal de la tala rasa, el uso de plaguicidas y la remoción total de la vegetación herbácea.

De acuerdo a estos resultados, los parámetros que se encuentran en una clasificación sub óptima son: Sustrato Disponible para Fauna y Protección por Vegetación, los cuales indican disponibilidad para la presencia de los organismos acuáticos y la protección de los procesos erosivos en las riberas de los ríos por la vegetación.

A pesar de que no hay alteración en el canal en la parte alta se construyen diques para retener el agua y utilizarla en la estación seca como parte de la oferta turística que se le da este río.

Existe una relación entre las características que presentan los sitios de muestreos en su entorno físico y las que presentan la subcuenca del Río La Trinidad. Es decir las condiciones de deterioro ambiental, principalmente en la disminución del bosque, uso inadecuado del suelo, poca alteración del cauce principal y aspectos positivos como es la alta capacidad de drenaje de la subcuenca que contribuye a que en periodos de altas precipitaciones las afectaciones sobre el ambiente físico sea menor. Esta relación posibilita que los estudios sobre la calidad del agua con sus diferentes parámetros y el de los macro-invertebrados como bioindicadores de la calidad biológica del agua sean representativos para la subcuenca.

#### **4.7.2. Calidad Biológica del agua del Río La Trinidad**

A continuación se presentan los resultados de los muestreos de bioindicadores en la subcuenca del Río La Trinidad.

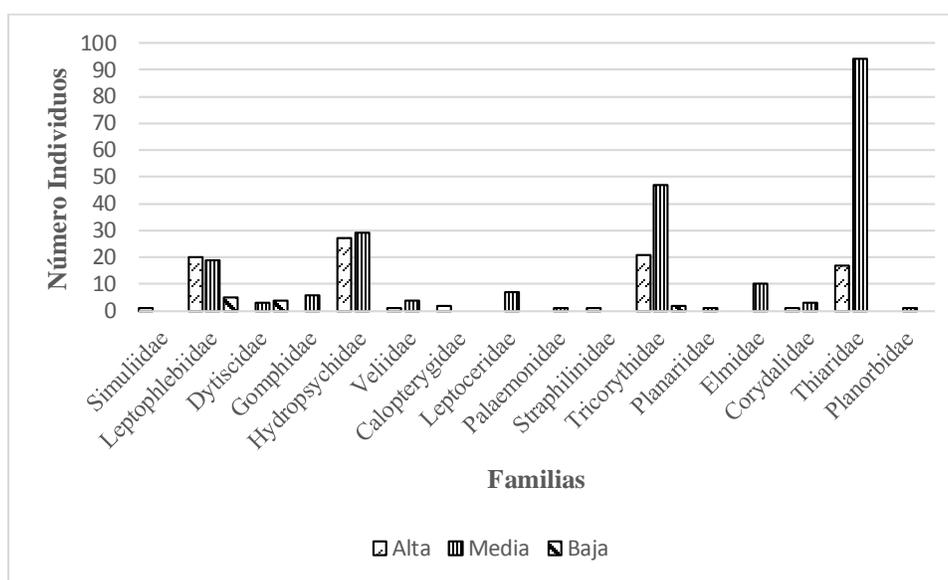
### Primer muestreo

El primer muestreo de bioindicadores de calidad de agua se realizó el día 29 de Julio del año 2010. Se capturaron 91 individuos, en la parte alta de la subcuenca. En la parte media se encontraron 225 individuos, y en la parte baja se capturaron 11 individuos.

Las familias identificadas en su mayor parte corresponden a las que son indicadoras de calidad de agua: buena, predominando familias con valores BMWP/Col de 9 como las, *Leptophlebiidae*, *Tricorythidae*, *Dytiscidae*, *Hydropsychidae* y familias indicadoras de calidad de agua aceptable como *Tricorythidae*, *Elmidae* y *Corydalidae*. Sin embargo se identificaron familias indicadoras de agua de calidad dudosa como *Hydropsychidae* con valor de 5. El número total de familias encontradas fue de nueve para la parte alta; de 13 en la parte media y tres familias para parte baja (Figura 13).

Las familias *Hydropsychidae* y *Thiaridae* son indicadoras de una ligera contaminación de las aguas, lo que parece indicar que la población hace pocos vertidos orgánicos al río, además que se realizaron pocas labores agrícolas (preparación de tierras) realizados en estos días, por lo que los productores están esperando realizar la cosecha de primera y no aplican agroquímicos. (McCafferty, 1981; Merritt & Cummins, 1996).

Según el BMWP/Col, se obtuvo un puntaje de 115, lo que califica el agua de la subcuenca del Río La Trinidad como agua no contaminada o poco alterada (Clase I), lo que significa que estas aguas están en buen estado biológico y puede ser utilizada para los usos que la población pueda hacer de ella, excepto para consumo humano, ya que se debe de clorar o hervir.



**Figura 13.** Familias de macro-invertebrados identificadas en el primer muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo

### *Segundo muestreo*

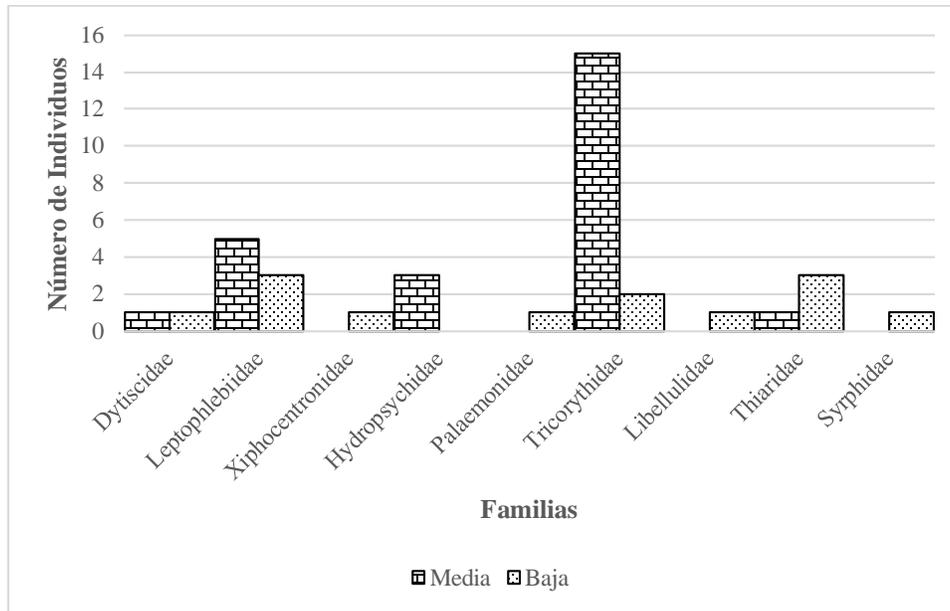
En el segundo muestreo no se realizó la captura de macro-invertebrados en la parte alta, debido al mal estado de los caminos en la estación lluviosa.

Se identificaron un total de 25 individuos en la parte media y en la parte baja se identificaron trece individuos. Las familias identificadas en el segundo muestreo corresponden a las que son indicadoras de calidad de agua aceptable, predominando aquellas con valores BMWP/Col de 7 como las *Tricorythidae*. También se identificaron familias como *Leptophlebiidae* y *Xiphocentronidae* con valores de 9. Así mismo fueron identificadas familias como *Thiaridae* (4 individuos) con valor de 5, lo que muestra que se da una contaminación al agua del río. En total se identificaron nueve familias. Figura 14.

Según el BMWP/Col se obtuvo un puntaje de 60, calificándose el agua de la subcuenca del Río La Trinidad como agua de calidad dudosa (Clase III), lo que significa que estas aguas están moderadamente contaminadas. (McCafferty, 1981; Merritt & Cummins, 1996).

Hay que destacar la poca diversidad de familias encontradas en el río, lo que es un indicador de contaminación por insecticidas, pesticidas y fertilizantes, debido a las actividades agrícolas realizadas, en la siembra de postrera en el mes de septiembre.

Otro aspecto a tomar en consideración sobre la poca diversidad de familias es la incidencia de fuertes precipitaciones, que influyeron en que el nivel del agua del río incrementara debido a la escorrentía directa provocando la perturbación del hábitat de los bioindicadores.



**Figura 14.** Familias de macro-invertebrados identificadas en el segundo muestreo, subcuenca del río La Trinidad, Diriamba, Carazo

### ***Tercer muestreo***

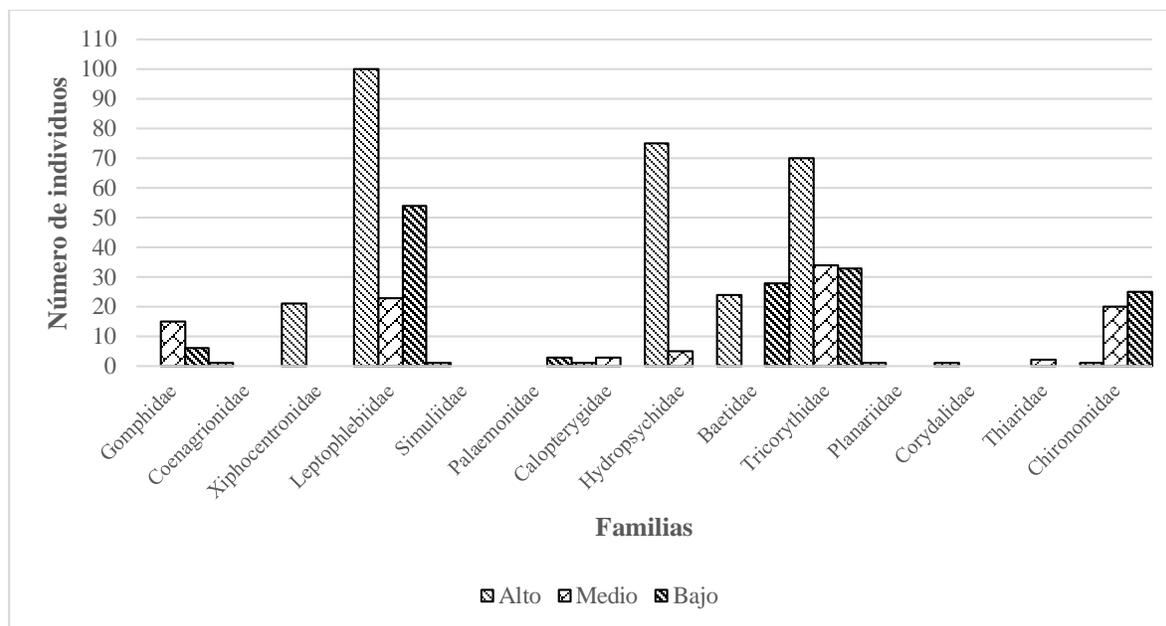
Este muestreo se realizó final del mes de Noviembre. En este muestreo en la parte alta se encontraron doscientos noventa y seis individuos; en la parte media 102 individuos y en la parte baja 149.

Las familias identificadas son mayormente indicadoras de calidad de agua: buena y aceptable, predominando aquellas con valores BMWP/Col de 9 *Gomphidae* (21 individuos) *Xiphocentronidae* (21), *Leptophlebiidae* (177), *Simuliidae* (1 individuos) y *Coenagrionidae* (1) y valores de 7 como las *Tricorythidae* (137). Sin embargo se identificaron familias indicadoras de agua de calidad dudosa como *Thiaridae* (5). El número total de familias fue de 9 para los tres sitios (figura 15.)

La presencia de las familias de *Hydropsychidae* y *Chironomidae*, nos muestra una ligera contaminación de agua, debido a las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en esa época del mes. El número total de familias fue de 11 en la parte alta; 7 en la parte meda y 6 en la parte baja fue 6 familias.

La alta representatividad de las familias de *Chironomidae* e *Hydropsychidae* se debe posiblemente a que están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua (McCafferty, 1981; Merritt & Cummins, 1996).

Según el BMWP/Col, se obtuvo un puntaje de 97, lo cual representa que el agua de la subcuenca del Río La Trinidad es de calidad aceptable (Clase II), lo que significa que estas aguas están ligeramente contaminadas. La diversidad de familias encontradas representa que el caudal circulante del río está estable por la retirada de la época lluviosa.



**Figura 15.** Familias de macro-invertebrados identificadas en el tercer muestreo, subcuenca del río La Trinidad, Diriamba, Carazo

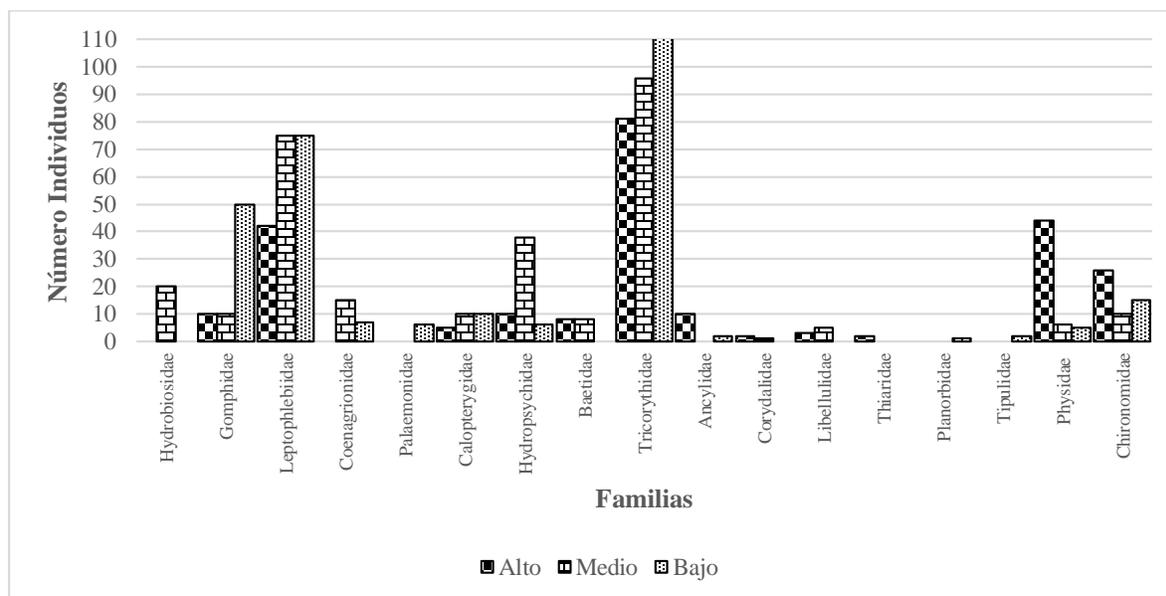
#### **Cuarto muestreo**

Se realizó un muestreo de bioindicadores de calidad de agua el día 28 de Enero del 2011. Los resultados de este muestreo en la parte alta muestra que se colectaron 243 individuos; en la parte medía 294 individuos y en la parte baja 299 individuos.

Las familias identificadas en su mayor parte corresponden a las que son indicadoras de calidad de agua aceptable, predominando aquellas con valores BMWP/Col de 7 como las *Tricorythidae* (297 individuos), *Ancylidae* (12) y *Planorbidae* (1). Sin embargo se identificaron familias indicadoras de agua de calidad dudosa como *Thiaridae* (2) con valor de 5 y las familias de *Physidae* (55) con valor de 3 y *Chironomidae* (51) con valor de 2. El número total de familias fue de 17 para los tres sitios.

La presencia de las familias *Hydropsychidae* y *Chironomidae*. Incan ligera contaminación de agua, representa que los pobladores hacen vertidos al río, y actividades domésticas como lavado de ropa, baño y aguar del ganado, entre otras. El número total de familias fue de 11 para la parte alta, en la parte media 12 familias, mientras en la parte baja 12.

Según el BMWP/Col, se obtuvo un puntaje de 103, calificándose el agua de la subcuenca del Río La Trinidad como aguas no contaminadas o poco alteradas (Clase I), lo que significa que estas aguas están en buen estado biológico, ya que los productores no realizan ninguna labor agrícola que cause perturbación a la fauna acuática. Se puede observar la diversidad de familias encontradas, debido a que el caudal circulante del río está muy estable por la época del año.



**Figura 16.** Familias de macro-invertebrados identificadas en el cuarto muestreo, subcuenca del río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

### Quinto muestreo

Se realizó un quinto muestreo de bioindicadores de calidad de agua el día 27 de Abril del 2011. El número de individuos capturados en este muestreo fue: 163 en la parte media 236 y en la parte baja 321.

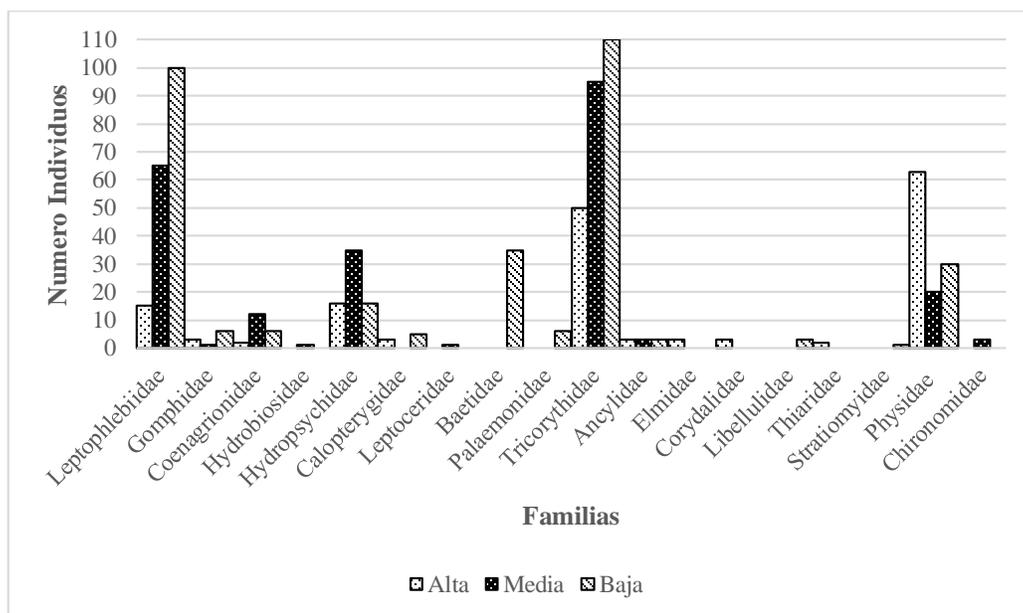
Las familias identificadas en su mayor parte correspondieron a las indicadoras de calidad de agua buena y aceptable, predominado aquellas con valores BMWP/Col de 9 *Gomphidae* (10 individuos), *Leptophlebiidae* (180), *Hydrobiosidae* (1) y *Coenagrionidae* (20) y con valores de 7 como las *Tricorythidae* (255), *Ancyliidae* (9) y *Elmidae* (3) (Figura 17).

Sin embargo se identificaron familias indicadoras de agua de calidad dudosa como *Thiaridae* (2 individuos) y *Stratiomyidae* (1) con valor de 5. El número total de familias fue de 2 para los tres sitios.

La presencia de las familias *Hydropsychidae* y *Physidae* son indicadoras de ligera contaminación de agua, lo que nos indica que la población hace vertidos orgánicos al río,

causadas por las actividades domésticas y ganaderas en la ribera del río. Sin embargo, en los sitios de muestreo se encontraron un total de 67 y 113 individuos respectivamente, lo cual indica una alerta para un monitoreo de los vertidos que se realizan en el río. El número total de familias fue de 11 para la parte alta, en la parte media fue de 10 familias, mientras que en la parte baja fue 12 familias.

Según el BMWP/Col, se obtuvo un puntaje de 116, calificándose el agua de la subcuenca del Río La Trinidad como agua de calidad buena (Clase I), lo que significa que estas aguas no están contaminadas están poco alteradas.



**Figura 17.** Familias de macro-invertebrados identificadas en el quinto muestreo, subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo

La calidad biológica del agua del río La Trinidad, cambia según las actividades agrícolas y ganaderas que se realizan en la subcuenca. Como puede observarse del cuadro 15, en el mes de julio los productores se preparaban para cosechar sus cultivos, lo que no representaba peligros de contaminación, en cambio en la parte baja de la subcuenca se clasifico el agua como aguas contaminadas, lo que puede ser debido a que se realizaron vertidos que provocaron esta contaminación por otra parte la gente que fue a veranear aprovechando el mes de canícula (mediados de julio – mediados de agosto) pueden haber aportado sustancias contaminantes.

En el segundo muestreo realizado en el mes de octubre, se observa en el cuadro 15 que se hicieron vertidos que contaminaron moderadamente el agua del río, pudiendo ser agroquímicos (insecticida, pesticidas entre otros) utilizados en los cultivos anuales o en el sector agrícola en la subcuenca. En el tercer muestreo en la parte alta, se clasifican las aguas como aceptables (aguas ligeramente contaminadas), debido a que los productores no realizan ninguna labor agrícola por estar cosechando. En la parte media y baja sin hay una moderada contaminación que puede ser debido a vertidos domésticos que se realizan la población asentada muy cerca del río (Coyolar y Tepano).

En el cuarto muestreo realizado en el mes de enero según el monitoreo biológico se clasifica el agua como aceptables (ligeramente contaminadas), lo que pudo ser debido a que se hicieron vertidos al río por las diferentes actividades domésticas y aguar el ganado. De manera que en esta época no se están realizando actividades agrícolas que no contaminaron el agua del río.

En el quinto muestreo se clasifican el agua como aguas ligeramente contaminadas esto puede ser porque en este fecha los pobladores realizan vertidos orgánicos procedentes de actividades domésticas y ganaderas. Sin embargo, se puede decir que se hicieron vertidos inorgánicos difíciles de depurar biológicamente, pero que no daña a los bioindicadores.

La calidad del agua del Río La Trinidad tanto física-química como biológica se complementa, ya que indican el estado ecológico del agua. Sin embargo se clasifican como ligeramente contaminadas donde se expresa por sus valores que el pH y conductividad eléctrica son de origen litofílico. Por lo que muestra un ecosistema fluvial en equilibrio con poca perturbación.

**Cuadro 15.** Clasificación biológica del agua del Río La Trinidad.

<b>Fechas</b>	<b>Sitios</b>	<b>Puntaje Roldan 2003</b>
<b>Primer Muestreo</b>		
29/09/2010	Alta	67
	Media	95
	Baja	25
<b>Segundo Muestreo</b>		
07/10/2010	Alta	
	Media	38
	Baja	55
<b>Tercer Muestreo</b>		
30/11/2010	Alta	82
	Media	48
	Baja	43
<b>Cuarto Muestreo</b>		
28/01/2011	Alta	78
	Media	84
	Baja	79
<b>Quinto Muestreo</b>		
27/04/2011	Alta	78
	Media	71
	Baja	87

Los resultados del análisis bacteriológico están en correspondencia con los resultados físico-químicos y bioindicadores, ya que muestran todos ellos evidencias de contaminación por coliformes fecales y totales debido a que el ganado y otros animales domésticos van a aguar o bañar al río donde hacen depósitos de heces y orinas. Por otro lado la población hace defecaciones al aire libre durante todo el año, así como ubicación de letrinas muy cercanas a la orilla del río.

El cuadro 16 presenta el resumen de la cantidad total de individuos encontrados, el porcentaje de las familias de mayor representación y la cantidad de taxones identificados. En la subcuenca del Río La Trinidad se recolectaron 2,468 individuos, identificados y clasificados en laboratorio según jerarquía taxonómica a nivel de familia, género o especie distribuidos en 27 familias, 11 órdenes, 4 clases y 3 phylum.

**Cuadro 16.** Porcentajes de familia más abundantes en la subcuenca Río La Trinidad.

Phyllum	Clase	Orden	Familias	Familias más Abundantes	Total encontrados	% total encontrado
<b>Artrópoda</b>	2	8	22	<i>Physidae</i>	<b>168</b>	<b>6.8</b>
<b>Molusco</b>	1	2	4	<i>Leptophlebiidae</i>	<b>601</b>	<b>24.4</b>
<b>Plathyhelminthes</b>	1	1	1	<i>Tricorythidae</i>	<b>776</b>	<b>31.4</b>
<b>Total encontrado</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>27</b>			
				<i>Hydropsychidae</i>	<b>260</b>	<b>10.5</b>
				<b>Sub Total</b>	<b>1805</b>	<b>73.1</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>2,468</b>	<b>100</b>

Dentro de las clases más abundantes están *Insecta*, *Gasteropoda*, *Turbellaria* y *Crustacea*. Los órdenes más representativos fueron: *Ephemeroptera*, *Basommatophora*, *Trichoptera*, *Mesogastropa* y *Odonata*. El 73.13% (1,805 individuos) se encuentra distribuido en 4 familias más representativas son: *Leptophlebiidae* (601), *Tricorythidae* (776), *Hydropsychidae* (260), y *Physidae* (168). Así mismo el 26.86% (663) se encuentran distribuidos en 22 familias diferentes en la subcuenca.

El puntaje para la determinación del BMWP/Col que se asigna a las principales familias encontradas son las siguientes: *Leptophlebiidae* (9), *Tricorythidae* (7), *Hydropsychidae*, (5) y *Physidae* (3), siendo un indicio de potencial de agua ligeramente contaminada de acuerdo a los organismos identificados.

En el cuadro 17 se presentan los parámetros de diversidad biológica determinados en cada sitio muestreado. En este cuadro se compara la abundancia, riqueza y diversidad de Shannon-Wiener de familias de macro-invertebrados capturados. La parte media de la subcuenca mostro mayor valor de diversidad de acuerdo con el índice de Shannon-Wiener, con diferencias significativas, comparada con la parte alta y baja ( $t=-2.04$ ,  $p=0.04$  y  $t=2.17$ ,  $p=0.03$  respectivamente). La abundancia comparada entre los tres sitios muestreados (alta, media, baja) no varían significativamente ( $f= 0.21$ ,  $p=0.81$ ).

En cuanto a la abundancia registrada en cada sitio de muestreo tienden a ser similares, tanto en la parte alta como en la parte media de la subcuenca. Esta similaridad en cuanto a valores puede ser debido a que en el muestreo de octubre no se pudo acceder a la parte alta, por lo que no se realizó el muestreo de macro-invertebrados y se desconocen las familias que pudieran haberse encontrado en ese muestreo. En la parte baja es donde los macro-invertebrados presentan menor abundancia (196 individuos), lo que podría estar relacionado con el aporte de otros afluentes que drenan aguas arriba del sitio de muestreo.

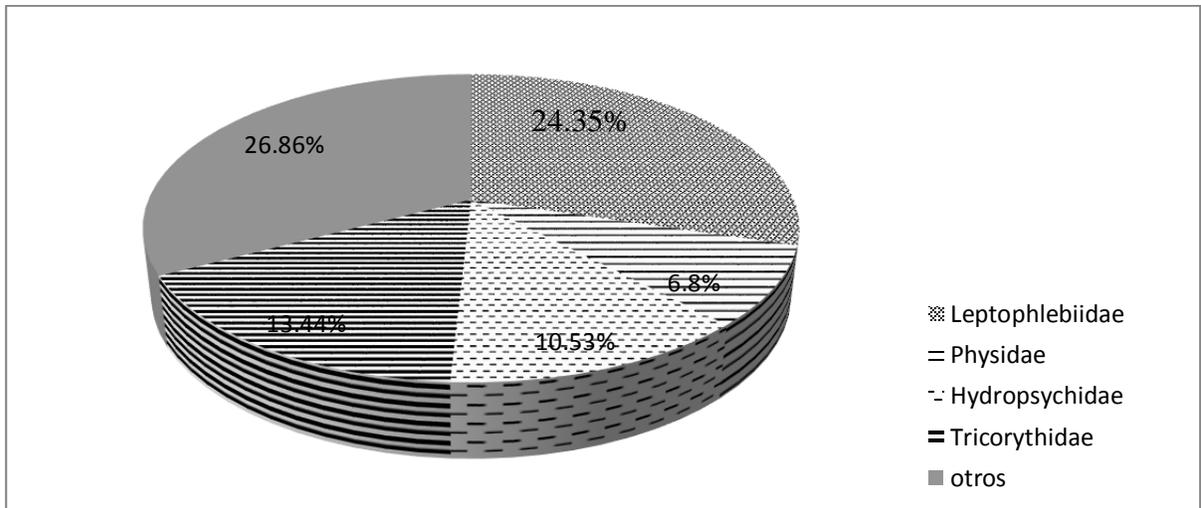
**Cuadro 17.** Índices ecológicos determinados en la subcuenca Río La Trinidad.

Índices	Alta	Media	Baja
<b>Abundancia</b>	215	214	196
<b>Riqueza de familia</b>	19	20	19
<b>H'</b>	2.19	2.39	2.17

La riqueza no muestra una gran diferencia en los tres sitios, pero cabe destacar que incrementaron el número de familias en la parte media. La riqueza de las familias fue diferente por sitio de muestreo, encontrándose mayor riqueza (20 familias) en la parte media. Esto se puede deber a las condiciones ecológicas que se encuentran en el lugar si hay abundancia de materia orgánica, condiciones climáticas de la zona que favorecen que se aumente el número de familias.

Valores de diversidad (El Índice de Shannon-Wiener) fueron registrados en la parte media (2.39) en donde la diversidad fue mayor, así como en la parte baja (2.17) y parte alta (2.19); por lo tanto en parte media indica aguas más limpias producto que no se están vertiendo residuos orgánicos de actividades domésticas y agrícolas.

En la figura 18, se resume la cantidad de individuos encontrados por familia en todos los muestreos. Es de interés para el estudio de los macro-invertebrados como indicadores de la calidad del agua, conocer la dinámica de las poblaciones de acuerdo a los sitios donde se encontraron, la influencia que tiene el incremento de la corriente de acuerdo a las actividades que se realizan en cada época del año; así como la relación entre los parámetros físico-químicos del agua con estos organismos. La integridad en el reconocimiento de los mismos permite asignar la puntuación correspondiente y establecer mediante el método BMWP/Col la calidad del agua en la subcuenca.



<b>Veliidae (5)</b>	<b>Baetidae (103)</b>	<b>Libellulidae (12)</b>	<b>Planorbidae (2)</b>
<b>Thiaridae (121)</b>	<b>Coenagrionidae (43)</b>	<b>Ancylidae (21)</b>	<b>Hydrobiosidae (21)</b>
<b>Corydalidae (11)</b>	<b>Xiphocentronidae (22)</b>	<b>Elmidae (13)</b>	<b>Syrphidae (1)</b>
<b>Simuliidae (2)</b>	<b>Planariidae (2)</b>	<b>Leptoceridae (8)</b>	<b>Tipulidae (2)</b>
<b>Calopterygidae (39)</b>	<b>Chironomidae (100)</b>	<b>Palaemonidae (17)</b>	<b>Stratiomyidae (1)</b>
<b>Staphilinidae (1)</b>	<b>Gomphidae (107)</b>	<b>Dytiscidae (9)</b>	

**Figura 18.** Porcentajes y números de individuos encontrados por familias e identificadas en la subcuenca Río La Trinidad.

### ***Relación caudal circulante vs individuos***

En el cuadro 18, se presenta la cantidad de individuos capturados en cada fecha de muestreo de indicadores biológicos de la calidad del agua superficial en la subcuenca. Las fechas de los muestreos fue un factor a considerar, en este sentido se programó según las actividades agrícolas tanto de primera como postrera, en las cuales las actividades como preparación del suelo para la siembra, aplicación de pesticidas y fertilizantes. También se muestreo después de la estación lluviosa, tratando así, de verificar el efecto de la retirada de la lluvia y el no uso de agroquímicos.

En el cuadro 18 se puede observar que existe una variación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos con la estacionalidad del río. A medida que el caudal aumenta disminuyo la cantidad de individuos capturados; a menor caudal, el número de individuos capturados aumento. Esto se debe a que en épocas en que el caudal aumentó, el hábitat para los organismos no estaba disponible, ya que las fuertes corrientes arrastran a los mismos, limitando su presencia.

**Cuadro 18.** Relación caudal y número de individuos encontrados en los diferentes sitios de muestreos en la subcuenca del Río La Trinidad.

Fechas	Muestreo	Parte alta		Parte media		Parte baja	
		# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /seg.	# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /seg.	# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /seg.
29/07/10	M <sub>1</sub>	91	0.413	225	0.505	11	1.27
07/10/10	M <sub>2</sub>	sd	sd	25	1.887	13	4.236
30/11/10	M <sub>3</sub>	296	0.708	102	0.846	149	0.642
28/01/11	M <sub>4</sub>	243	0.443	294	0.788	299	0.963
27/04/11	M <sub>5</sub>	163	0.486	236	0.426	321	0.562
	<b>Total</b>	<b>793</b>		<b>882</b>		<b>793</b>	

Sd: sin dato

Una de las hipótesis que podría explicar este comportamiento de las familias en las que unas se incrementan y otras disminuyen, es que los miembros de algunas familias no se encuentran dotados de estructuras anatómicas que les permita sujetarse al sustrato o que exista una coincidencia entre la metamorfosis de los individuos de estado larvarios a adultos al momento que llega la época lluviosa. Riaño *et al.* (1993). El cuadro 17 presenta el número de individuos que se recolectaron de acuerdo a cada muestreo y sitios, lo cual se relaciona con el comportamiento de las corrientes.

Según Riaño *et al.* (1993), cuando disminuyen los caudales aumenta la densidad de individuos, dada la exposición de un mayor número de sustratos y por ende el aumento en el área disponible para colonizar. Por otro lado, en los períodos de lluvias, el arrastre de los sustratos determina la presencia de arena, plástico, fango y piedras finas no aptas para la presencia de macro-invertebrados que no presentan algún tipo de adaptaciones a dichas condiciones.

## V. CONCLUSIONES

- La calidad biológica del agua del Río La Trinidad, mediante el uso del BMWP/Col. Según la composición taxonómica de los macro-invertebrados acuáticos se clasificó como aguas: Buenas (Clase I) indicando aguas poco alteradas y Aceptables (Clase II) como ligeramente contaminadas, lo que indica que los vertidos que se hicieron en el río por efecto de las actividades agrícolas, ganaderas y uso doméstico no contaminó drásticamente sus aguas.
- De acuerdo al monitoreo de las actividades desarrolladas sobre el uso actual del suelo en la subcuenca, estas alteran las condiciones ecológicas, siendo causadas principalmente por las actividades agropecuaria y la expansión demográfica, las cuales se ven reflejadas, en la disminución en áreas de los bosques que a la vez influye en la disminución del caudal circulante.
- La mayor riqueza y abundancia de macro-invertebrados se registró en la parte media de la subcuenca, debido a las condiciones ecológicas del sitio. Esto puede deberse a las condiciones y disponibilidad de hábitats para colonizar y que algunos individuos tengan garfios y puedan sujetarse a las piedras o troncos sumergidos en el agua.
- El estudio permite contar con una base de datos de la biodiversidad acuática de macro-invertebrados en Nicaragua, que permitirá elaborar una guía como base fundamental para conocer la composición de las comunidades acuáticas de macro-invertebrados en las regiones del país donde se han realizados estudios.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Promover el uso de la metodología BMWP/Col, en las cuencas hidrográficas del país, para actualizar la base datos de familias y géneros de bioindicadores y así conocer mejor los valores de tolerancia y sensibilidad de contaminación para elaborar guía de indicadores biológicos a nivel de cuenca hidrográfica.

Continuar con la implementación de bioindicadores complementándolos con análisis físico-químicos de manera continua para conocer mejor la tendencia de la calidad del agua durante el transcurso del año y ver como las actividades agropecuarias en el tiempo afectan a las comunidades acuáticas y con ello la calidad del agua.

Es necesario que la alcaldía municipal e instituciones que intervienen en las comunidades fomenten, concienticen y capaciten a los productores de la subcuenca sobre la importancia y beneficios que se obtienen mediante la implementación y el uso adecuado de las prácticas de conservación de suelos y aguas para mantener la calidad del agua del Río La Trinidad.

Es necesario que el gobierno municipal, las instituciones públicas del sector agropecuario y forestal, programas y proyectos de desarrollo local, así como representaciones organizadas de la sociedad civil, coordinen acciones para promover el apoyo, la gestión e implementación de las propuestas de uso y manejo sostenible de los recursos naturales de la subcuenca Río La Trinidad.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alba-Tercedor. J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *In* IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA) Almeria, vol. II: 203-213.
- Alba-Tercedor. J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almeria, 1996, Vol. II: 203-213
- Armitage. P. D; Petts. G.E.1992. Biotic score and prediction to assess the effects of water abstractions on river macroinvertebrates for conservation purposes. *Aquatic consv. Marine and Freshw. Ecosyst.* 2:1-17.
- Arriaga. CL. V Aguilar y JM. Espinoza. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En capital de Mexico. CONABIO 3 (1): 433-457PP.
- Aquilla. R. 2005. Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal. Costa Rica. (En línea).Turrialba CR, 2005. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPDO/A0725E/A0725E.PDF>
- Branco. S. 1984. Limnología Sanitaria, estudio de la población de las aguas continentales. Editorial Secretaría general de la organización de los estados americanos. 120 p.
- Campos. A. 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. p. 22-23.
- Campos. A. 1999. Proceso de Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 2ª edición. San Luis Potosí, 59NFPA59. p 33-34.
- CAPRE. 1994. (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana). “Normas de calidad del agua para consumo humano”. 1ra Edición revisada de 1994, San José Costa Rica. pag 20-21.
- Aguirre. 1971. **CATASTRO E INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DE NICARAGUA.** Estudio de suelos de la Región del Pacífico de Nicaragua. Tercera parte Managua. 713 pag.
- Chapman. D. 1992. Water Quality Assessments. A Guide to the use of biota,

- Chará. J. 2003. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Cali, CO. CIPAV. 52 p. de Antioquia. Medellín. Vol. 1. p. 128. Desastres Municipio La Conquista. (En línea). 13 jun 2011.
- Chow VT. Maidment DR & Mays L. 1994. Hidrología Aplicada. Ediciones McGraw-Hill, Colombia: 583 p.
- CONAGUA 2007. Monitoreo de Calidad de Agua. Subdirección General Técnica 2007. Disponible en [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/TF\\_Calida\\_dAgua/CalidaddelAgua.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/TF_Calida_dAgua/CalidaddelAgua.pdf).
- Elvira. Juan Rafael. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2007, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Comisión Nacional del Agua, -- (en línea),--Consultado 18 y abr 2011. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/nom-014-conagua2007.pdf> Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat - Vista rápida.
- Fernández H.R. F. Romero, M.B. Vece, V. Manzo, C. Nieto & M. Orce. 2002. Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnética* 21: 1-13.
- García. L. s.f. Herramienta para la recolección de datos físicos, químicos y biológicos en las actividades de monitoreo de la calidad del agua. Proyecto Comunidades & Cuencas.
- García. LA. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa. Tesis Mag. Sc. Yoro, HN.
- Gaspari f J. Senisterra gE, Delgado mI, Rodríguez vagaría A & Besteiro S. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Editorial Autores, 1 ed, La Plata, Argentina: 321p.
- González M. A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A. G. E.* no.38:311-329.
- Gravelius. H. 1914: *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I. (1985): *Morphometry of Drainage Bassins*. Amsterdam, Elsevier
- GWP (Global Water Partnership CR), 2004. Régimen del recurso hídrico. El caso de Costa Rica. San José, CR. 55p.

- Hellawell. J. (1986). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Science Publ. 546p. London y New York.
- Hernández. L. G. 2006. Modelación de la interacción río Acífero y su aplicación a un caso práctica. Tesis Mag. Sc. Monterrey, MX, ITESM (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). Disponible en <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf3/digitalizacion/spa/doc9984/doc9984-contenido.pdf>
- Hijmans. R.J. S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.
- Horton. R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bull. 56: 275-280
- Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFON), 1996. Proyecto Formación de Gobiernos Locales 1996-1997 Nicaragua.
- Kirpich. ZP. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, 10 (6): 362 p.
- Krebs. Ch. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. 2. ed. Editorial Harla. La Máquina, S/F. Disponible en <http://www.manfut.org/carazo/maquina.html>. Consultado 20 de marzo 2012.
- Labonte. J. R; Scott, D.W; Mciver, J. D; Hayes. J. L. 2001. Threatened, endangered and sensitive insects in Eastern Oregon and Washington forests and adjacent lands. Northwest Science. 75:185-198. Laínez, C. (sin fecha). Análisis de Riesgos y Plan Municipal de Reducción.
- Llamas. J. 1993. Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 402 p.
- López Cadenas de Llano F & Mintegui Aguirre JA. 1987. Hidrología de superficie. Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid: 222 p
- Lozano O.L. 2007. La bioindicación de la calidad del agua: Importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros orientales de Bogotá.

- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2001. Informe del Estado Ambiental en Nicaragua, 2001. Managua, NI. 1ª ed. 118p.
- Mccafferty. W. 1981. Aquatic Entomology. Science Books International
- Merritt. R. & Cummins, K. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company, Alabama. Tomo I – II. Págs 515-548
- Moreno. C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Navarrete. M. D. 2004. Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero, El Peral, Comuna de Carahue, IX Región. Universidad Católica de Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Ambientales 6:133-134.
- Niemi. R. Niemi. J. 1991. Bacterial pollution of waters in pristine and agricultural 62NFPA. Journal of Environmental Quality no.20:620- 627.
- NTON (Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense). 2000. Normas para la clasificación de los recursos hídricos. Publicado en la gaceta nº 30
- OMS (Organización Mundial de la Salud, CH). 2006. Guías para la calidad del agua potable 1(Ap.), 3. ed. v.1.
- Pino W., Mena D., Mosquera M., Calcedo K., Palacios J., Castro A. y Guerrero J. 2003. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la Quebrada La Bendición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). Acta Biológica Colombiana no. 8: 23-30.
- Porta. J. López. A. M. & Roquero. C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2ª Edición. Mundi-Prensa. Madrid. 849 pag.
- Quiñones M. L, J. J. Ramírez & A. Díaz. 1998. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivados en la zona del ritral del río Medellín. Actual Biol 20(69): 75-86.
- Raz. G. A. 2000. Crustáceos y Poliquetos. En: Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores). De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. p. 265-307.

RED MAPSA (Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, UY). 2007. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto.

Revista CENIC Ciencias Biológicas. Murrell 2013. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. Disponible en <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>

Riaño. P; Bassguren, A; Pozo, J. 1993. Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados de río Aguera en dos épocas con diferentes condiciones de régimen hidrológico. *Limnética* 9:19–28.

Roldan. G. 1988. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento Antioquia. Antioquia, CO, Editorial Presencial. 217 p.

Roldán. G. 1999. Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Col .Cien.Exa. Fís. Nat.* 23(88):376-387.

Roldan. G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Universidad de Antioquia.

Roldan. G; Ramírez, J.J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. 2. ed, p. 324-346.

Rosenberg. D.M., Kanks H.V. y Lehmkuhl D. M. 1986. Importance of insects in enviromental impact assesment. *Enviromental Management* no. 10: 773-783.

Schumm. S. 1956. The fluvial System. A Wiley-Intersciense Publication. John Wiley & Sons, Inc. New York. 338 p.

Universidad de La Palmas de Canarias 2012. Índice de calidad de Agua, recuperado de <http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/30/30673/tema5analisisdeaguas.pdf> Urbanismo e Ingeniería ambiental, en línea. Disponible en <http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos/1301.htm>, consultado abril 2012.

Viramntes, O.O., L.F. Escoboza, C.A. Pinedo.V.M. Reyes, J.A Roman y A. PEREZ. 2007. Morfometria de la cuenca del rio san pedro conchos chihuahua 1.(3):21-31pp

Zamora. G. H. 2005. El Índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia.

Zúñiga de Cardoso M. 2001. Los insectos como bioindicadores de la calidad de agua. Universidad del Valle. Departamento de Procesos químicos y biológico. Colombia. 22 p.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Caracterización visual de la subcuenca Río La Trinidad Diriamba, Carazo.

#### Parte Alta



Extracción de agua

Caudal del río



Cárcavas por escorrentía



Equipo de trabajo

Marta Orozco, Martha Miriam salgado,  
Yaneysi Pavón y Jamileth Rocha.



Perdida de cobertura



Bosque riparió



Viviendas en la ribera del río

Actividades de lavado de ropa.



Después de la cosecha



Actividad ganadera



Análisis fisicoquímico "in situ"



Caudal mínimo en la época seca

## Parte Media y Baja



Suelo sin cobertura



Caudal de los cauces en la época lluviosa



Caudal en la época seca



Captura in situ de los organismos

**Anexo 2.** Muestreo cualitativo de coliformes en parte media del río La Trinidad, Diriamba, Carazo.



**Anexo 3.** Distribución de las categorías de uso actual del suelo en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo.

Uso Actual	Km <sup>2</sup>	Hectáreas	%
Agropecuario	59.24	5923.645	47.9
Bosque latifoliado cerrado	11.91	1191.222	9.6
Bosque latifoliado abierto	19.76	1976.046	16.0
Café	7.31	730.712	5.9
Cultivos perennes	1.05	104.507	0.8
Sistema silvopastoril	0.10	10.371	0.1
Vegetación arbustiva	24.20	2419.519	19.6
<b>Total</b>	<b>123.56</b>	<b>12356.022</b>	<b>100.0</b>

**Anexo 4.** Índice para la evaluación de la integridad física de la estación de monitoreo.

PARAMETROS DEL HABITAT	OPTIMO	SUB OPTIMO	MARGINAL	POBRE
SUBSTRATOS DISPONIBLES PARA LA FAUNA	Más del 70 % de los substratos disponibles para la vida de los organismos acuáticos	Del 40 % al 70 % de los substratos disponibles para la vida de los organismos acuático	Del 20 % al 40 % de los substratos disponibles para la vida de los organismos acuáticos	Menos del 20 % de los substratos disponibles para la vida de los organismos acuáticos
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
PERTURBACIÓN DE LOS HABITAT DISPONIBLES	Grava, roca pequeña y roca madre rodeada en un 0 al 25 % de sedimentos finos.	Grava, roca pequeña y roca madre rodeada en un 25 % a 50 % de sedimentos	Grava, roca pequeña y roca madre rodeada en un 50 % a 75 % de sedimentos	Grava, roca pequeña y roca madre rodeada en un 75 % a 100 % de sedimentos
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
VELOCIDAD PROFUNDIDAD	Presenta los cuatro hábitat (piscinas corrientes lenta, corriente rápida y turbulencia)	Solamente hay tres de las cuatro hábitat (la turbulencia no es común)	Solamente hay dos de los cuatro hábitat ( la turbulencia y la corriente rápida no es común)	Domina solo un tipo de velocidad, predominan las piscinas
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS	Pequeñas barras o islas de sedimentos en el fondo del lecho menores de 5 %	5% a 30 % de sedimento como grava. Arena y sedimento fino en las piscinas y zonas con baja corriente	30% a 50% de sedimentos como grava. Arena y sedimentos fino en las piscinas y zonas con baja corriente	Fuerte deposición con más del 50% de grava. Arena y sedimento fino. Ausencia de piscinas
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
FLUJO DEL CANAL	Una mínima cantidad del substrato es expuesta	< 25 % del substrato es expuesta	Entre el 25% al 75% del substrato es expuesta	Muy poco agua en el canal y el agua existente se encuentra en pozas o piscinas
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
ALTERACIÓN DEL CANAL	Ausencia o mínimo grado de canalización o dragado	Algún tipo de canalización presente realizada hace 20 años. Actualmente no hay actividades recientes	Canalización efectuada en el río en un 40 a 80 % del área	Presencia de gaviones y cemento más del 80 % del río ha sido canalizado

<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>FRECUENCIA DE HÁBITAT</b>	Alta ocurrencia de sustratos disponibles	Poca ocurrencia de sustratos disponibles	Ocurrencia ocasional de sustratos disponibles	Poca ocurrencia de sustratos disponibles
<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>ESTABILIDAD DEL CANAL</b>	Evidencia de erosión ausente o mínima. Pocos problemas potenciales a futuro <5% del canal afectado	Erosión poco frecuente, pequeñas áreas presentan erosión entre el 5 % al 30 %	Las áreas presentan erosión entre el 30 % al 60 %. Alta erosión potencial al aumenta el flujo	Áreas con mucha erosión. Hay presencia de cárcavas en un 60 % a 100 %
<b>Lado Derecho</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>Lado Izquierdo</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>PROTECCIÓN POR VEGETACIÓN</b>	Más del 90 % de los bordes subyacentes e inmediatos a la vegetación riparia presenta plantas nativas (árboles, arbustos y plantas del sotobosque)	Entre el 70 % y 90 % de los bordes subyacentes e inmediatos a la vegetación riparia presenta plantas nativas (árboles, arbustos y plantas)	Entre el 50 % y 70 % de los bordes subyacentes e inmediatos a la vegetación riparia presenta plantas nativas (árboles, arbustos)	Menos del 50 % de los bordes subyacentes e inmediatos a la vegetación riparia presenta plantas (árboles, arbustos)
<b>Lado Derecho</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>Lado Izquierdo</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>ANCHO DE LA ZONA RIPARIA</b>	Ancho de la vegetación riparia mayor de 18 metros	Ancho de la vegetación riparia entre 12 a 18 metros	Ancho de la vegetación riparia entre 6 y 12 metros	Ancho de la vegetación menor de 6 metros o ausencia debido a las actividades humanas
<b>Lado Derecho</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>Lado Izquierdo</b>	<b>20 19 18 17 16</b>	<b>15 14 13 12 11</b>	<b>10 9 8 7 6</b>	<b>5 4 3 2 1</b>
<b>Lado Izquierdo</b>				
<b>Puntaje Total</b>				

**Anexo 5.** Parámetros físico-químicos analizados en laboratorio.

<b>N°</b>	<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>METODOLOGIA</b>
1	DBO <sub>5</sub>	mg / l	AWWA Método 5210 B *
2	DQO	mg / l	Método 5250-C*
3	DBO <sub>5</sub> /DQO	mg/l / mg/l	AWWA Método 5210 B * / Método 5250-C*
4	Nitritos	mg / l	Método calorimétrico
5	Nitratos	mg / l	Método de mohr
6	Amonio	mg/l	Método calorimétrico
7	Fosfato	mg/l	Método calorimétrico
8	OD	mg/l	Método de titulación
9	Carbonato	mmol/l	Método de titulación
10	Dureza total	mmol/l	Método de titulación
11	Alcalinidad	ppm	Método calorimétrico
12	pH	-	Método potencio-métrico.
13	Conductividad eléctrica	µS / cm	µs/cm
14	Coliformes totales	UFC /100 ml	Método de tubos múltiples de fermentación
15	Coliformes fecales	UFC /100 ml	Método de tubos múltiple de fermentación

**Anexo 6.** Familia de macro-invertebrados acuáticos colectados en la subcuenca Río La Trinidad.

Familias	ALTA						MEDIA						BAJA					
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	Total	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	Total	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	Total
Thiaridae	17	sd		2	2	21	94	1	2			97		3				3
Hydropsychidae	27	sd	75	10	16	128	29	3	5	38	35	110				6	16	22
Corydalidae	1	sd	1	2	3	7	3			1		4						
Veliidae	1	sd				1	4					4						
Simuliidae	1	sd	1			2												
Leptophlebiidae	20	sd	100	42	15	177	19	5	23	75	65	187	5	3	54	75	100	237
Tricorythidae	21	sd	70	81	50	222	47	15	34	96	95	287	2	2	33	120	110	267
Calopterygidae	2	sd	1	5	3	11			3	10		13				10	5	15
Straphilinae	1	sd				1												
Gomphidae		sd		10	3	13	6		15	10	1	32			6	50	6	62
Planariidae		sd	1			1	1					1						
Leptoceridae		sd					7				1	8						
Palaemonidae		sd					1					1		1	3	6	6	16
Elmidae		sd			3	3	10					10						
Dytiscidae		sd					3	1				4	4	1				5
Planorbidae		sd					1					1				1		1
Libellulidae		sd		3		3				5		5		1			3	4
Syrphidae		sd												1				1
Xiphocentronidae		sd	21			21								1				1
Baetidae		sd	24	8		32				8		8			28		35	63
Coenagrionidae		sd	1		2	3				15	12	27				7	6	13
Chironomidae		sd	1	26		27			20	10	3	33			25	15		40
Physidae		sd		44	63	107				6	20	26				5	30	35
Ancyliidae		sd		10	3	13					3	3				2	3	5
Hydrobiosidae		sd								20	1	21						
Tipulidae		sd														2		2
Stratiomyidae		sd															1	1
<b>Total</b>						<b>793</b>						<b>882</b>						<b>793</b>