



“ Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible ”

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

**Trabajo de Graduación**

*“Aplicación de un sistema multimétrico para evaluar  
la calidad del agua superficial en la microcuenca El  
Coyote del Río Estelí, Nicaragua”*

**AUTOR**

Lic. Martha Myriam Salgado

**Asesora**

Ph. D María Carolina Vega Jarquín

Managua, Nicaragua  
Noviembre, 2012



“ Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible ”

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

**Trabajo de Graduación**

**Para optar al grado de Máster en Ciencias en  
Manejo y Conservación de los Recursos Naturales  
Renovables**

*“Aplicación de un sistema multimétrico para evaluar  
la calidad del agua superficial en la microcuenca El  
Coyote del Río Estelí, Nicaragua”*

**AUTOR**

Lic. Martha Myriam Salgado

**Asesora**

Ph. D María Carolina Vega Jarquín

Managua, Nicaragua  
Noviembre, 2012



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"

# Universidad Nacional Agraria

## Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al título de Maestría en Ciencia en:

### Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renovable

---

Ph.D Matilde Somarriba Chang.

*Presidente*

---

MSc Edmundo Rafael Umaña G.

*Secretario*

---

Maestra Thelma Salvatierra Suárez

*Vocal*

Managua, Nicaragua  
21 de noviembre del año 2012

## INDICE DE CONTENIDO.

SECCION	PAGINAS
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
EVENTOS DONDE SE HAN PRESENTADO AVANCES DEL ESTUDIO:.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	v
INDICE DE ANEXOS .....	vi
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivo General.....	14
2.1.1 Objetivos Específicos .....	14
III. MATERIALES Y METODOS .....	15
3.1 Caracterización general del área de estudio .....	15
3.1.1 Localización.....	15
3.1.2 Clima.....	16
3.1.3 Geología.....	17
3.1.4 Suelos.....	18
3.1.5 Recursos hídricos .....	18
3.1.6 Recursos forestales .....	18
3.1.7 Actividad productiva .....	19
3.2 Proceso metodológico para la realización del estudio .....	19
3.2.1 Etapa de planificación.....	21
3.2.2 Etapa de colecta de la información.....	27
3.2.3 Análisis de la diversidad biológica .....	38
3.2.4 Evaluación de la calidad del entorno de los sitios de monitoreo de agua.....	40
3.2.5 Evaluación estadística de la información .....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.1 Características Morfométricas de la Microcuenca .....	42
4.2. Uso actual del suelo .....	47
4.3. Comportamiento de la corriente superficial de agua .....	54
4.4. Entorno de los sitios de muestreo .....	56
4.5. Calidad del sistema superficial del agua.....	58
4.6. Calidad del agua según DBO y DQO .....	63
4.7. Calidad del agua por análisis bacteriológico .....	67

4.8. Comunidad de macroinvertebrados acuático de la microcuenca El Coyote .....	68
4.9. Abundancia de organismos por sitios .....	71
4.10. Abundancia de macroinvertebrados .....	71
4.11. Dinámica por sitios del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos .....	75
4.11.1 De acuerdo al sitio .....	75
4.11.2 De acuerdo por muestreos .....	77
4.12. Distribución de macroinvertebrados .....	78
4.13. La calidad del agua en la microcuenca de acuerdo a bioindicadores. ....	79
V-. CONCLUSIONES .....	84
VI-. RECOMENDACIONES .....	85
VII. LITERATURA CITADA.....	86
ANEXOS .....	92

## **DEDICATORIA**

En primer lugar agradezco a Dios y a la Santísima Virgen por estar siempre a mi lado y por darme la confianza, voluntad, fortaleza, valentía y oportunidad de cumplir esta meta en mi camino profesional.

A mi querida madre Myriam Ramona Salgado Quiroz, por impulsarme siempre para alcanzar mi sueño de ser una profesional responsable, competitiva y honesta.

A mí adorada hija Livia Jomara Pérez Salgado, por ser la fuente de inspiración, por su comprensión, paciencia y apoyo para el logro de esta meta; que este esfuerzo sirva de ejemplo para su vida profesional en su futuro.

A mis hermanas (os), gracias por ser parte de mi gran familia, por enseñarme que con perseverancia se pueden alcanzar nuestro sueño; este logro se los dedico a todos ustedes, los amo mucho.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al proyecto UNA/CARE/MARENA/PIMCHAS, por permitirme llevar a cabo esta investigación como parte de sus actividades. A los comunitarios de la microcuenca El Coyote que siempre estuvieron dispuestos a brindarme información.

Al pueblo y gobierno de Suecia, que mediante la Agencia Sueca del Desarrollo Internacional (ASDI), financió el Programa de apoyo a la Maestría en Manejo y Conservación en los Recursos Naturales Renovables.

En especial a la UNA-FARENA por las facilidades que me brindaron para realizar los estudios de Maestría.

A mis grandes amigos y compañeros: Andrés López, Miguel Garmendia y Edwin Alonso, quienes han compartido incondicionalmente sus conocimientos y experiencia en el desarrollo de esta investigación, gracias por tener siempre la disposición de apoyarme durante este proceso de aprendizaje.

A la Dra. Martha Orozco, quién motivó mi entusiasmo por este estudio y compartió conmigo su experiencia de campo.

A mi amiga, compañera y asesora Dra. María Carolina Vega Jarquín, gracias por la paciencia al contribuir en la conducción de este estudio y ser fuente de sabiduría, que han enriquecido mis conocimientos, te lo agradezco mucho, porque fuiste ejemplo y me enseñaste que todo es posible, si uno de verdad lo quiere...

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.

**EVENTOS DONDE SE HAN PRESENTADO AVANCES DEL ESTUDIO:**

*VII Reunión Científica de Docentes Investigadores, Universidad Nacional Agraria, septiembre, 2010. Obtuvo el primer lugar*



**II CONGRESO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA RED CADAN:R**  
**Red Centroamericana de Ex-Becarios del DAAD para la Promoción  
de la Investigación – CADAN:R**





## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINAS
1. Descripción de la información geológica en la microcuenca El Coyote. ....	17
2. Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad. ....	22
3. Clasificación de la cuenca según su tamaño. ....	23
4. Calendarización de los muestreos realizados en la microcuenca El Coyote. ....	27
5. Parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio. ....	31
6. Parámetros medidos “in situ”. ....	32
7. Materiales utilizados en la captura de macroinvertebrados. ....	35
8. Clasificación de la calidad del agua mediante el Índice BMWP/Col. ....	36
9. Valores utilizados para la determinación del Índice BMWP/Col. ....	37
10. Significado de valores ASPT para la determinación de la calidad del agua. ..	38
11. Clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo. ....	40
12. Resultados morfométricos de la microcuenca El Coyote. ....	42
13. Hipsometría de la microcuenca El Coyote. ....	45
14. Clasificación de la densidad de drenaje según el valor calculado. ....	47
15. Promedios del aforo determinado en la microcuenca El Coyote. ....	55
16. Clasificación del entorno en la microcuenca El Coyote. ....	57
17. Valoración del pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto en la microcuenca El Coyote. ....	58
18. Parámetros fisicoquímicos del agua obtenidos en la microcuenca El Coyote. ....	60
19. Comportamiento DBO y DQO (mg/l) en los sitios de muestreo. ....	63
20. Promedios de coliformes fecales y totales en la microcuenca El Coyote. ....	67
21. Porcentaje de individuos por familia encontrada en la microcuenca El Coyote. ....	69
22. Abundancia y variación estacionaria de las principales familias de macroinvertebrados en los sitios de muestreo. ....	71
23. Comparación del caudal y número de individuos encontrados en los diferentes sitios de muestreo. ....	73
24. Índices ecológicos determinados en la microcuenca El Coyote. ....	74
25. Distribución de macroinvertebrados en los diferentes cariotipos registrados en los sitios de muestreos de la microcuenca El Coyote. ....	79
26. Determinación de la calidad del agua mediante el método BMWP/Col y ASPT en la microcuenca El Coyote. ....	80
27. Conjuntos de macroinvertebrados acuáticos establecidos por DBO y DQO, y calidad del agua de la microcuenca El Coyote. ....	83

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINAS
1. Ubicación de la microcuenca El Coyote, Subcuenca del Río Estelí. ....	15
2. Zonas de Vida de Holdridge en la microcuenca El Coyote. Según Holdridge. .	16
3. Esquema del proceso metodológico desarrollado en el estudio. ....	20
4. Curvas hipsométricas, características del ciclo de erosión, según Strahler. ....	24
5. Esquema de Ordenes de corriente según Strahler. ....	25
6. Ubicación de los sitios de muestreo en la microcuenca El Coyote. ....	26
7. División en secciones del cauce para el cálculo del área transversal en la microcuenca El Coyote. ....	29
8. Esquema de las dimensiones y forma de muestreo de macroinvertebrados. ....	33
9. Forma y disposición de las unidades de muestreo para la colecta de macroinvertebrados acuáticos. ....	34
10. Perfil topográfico en la microcuenca El Coyote. ....	44
11. Curva hipsométrico de la microcuenca El Coyote. ....	46
12. Cobertura del suelo en la microcuenca El Coyote. ....	48
13. Formaciones Geológicas en la microcuenca El Coyote. ....	50
14. Uso actual del suelo, elaborado por los comunitarios de la microcuenca El Coyote. ....	51
15. Diagrama histórico del uso del suelo, según los comunitarios de la microcuenca El Coyote. ....	53
16. Precipitaciones registradas en la parte alta de la microcuenca El Coyote, 2010. ....	55
17. Calidad de agua en la microcuenca El Coyote según Diagrama de Riverside. ....	62
18. Relación del DBO/DQO en los sitios de la microcuenca El Coyote. ....	65
19. Relación del DQO/DBO en los sitios de la microcuenca El Coyote. ....	66
20. Familia <i>Perlidae</i> indicadora de agua de buena calidad. ....	68
21. Familias con mayor frecuencia en la microcuenca El Coyote. ....	69
22. Porcentajes y números de individuos encontrados por familias e identificadas en la microcuenca El Coyote. ....	70
23. Relaciones entre los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a los sitios de muestreo en la microcuenca El Coyote. ....	76
24. Relaciones entre las variables biológicas y fisicoquímicas en los muestreos de acuerdo a los sitios en la microcuenca El Coyote. ....	77
25. Mapa calidad de agua de la microcuenca El Coyote. ....	81

## INDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PAGINAS
1. Registró fotográfico de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca El Coyote. ....	92
2. Caracterización visual de la microcuenca El Coyote. ....	103
3. Metodología utilizada en el taller participativo comunitario en la microcuenca .....	106
4. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. ....	110
5. Sistema para la determinación del índice BMWP/Col. ....	112
6. Índice para la evaluación de la integridad física de la estación de monitoreo.....	114
7. Mapas de las características morfométricas de la microcuenca El Coyote. ....	116
8. Macroinvertebrados encontrados en la microcuenca El Coyote, en los muestreos correspondiente al año hidrológico 2010- 2011.....	120
9. Macroinvertebrados acuáticos colectados en la época lluviosa y seca. ....	123
10. Análisis comparativo de valoración establecida por Roldán, 2003; Roldan 2008;Álvarez,2005; Zamora,2005 y asignación de puntaje .....	124
11. Resultados del análisis de varianza con separación de media de LSD Fisher para comparar las variables físicas, químicas y biológicas entre los muestreos y entre los sitios. ....	130
12. Conglomerado de macroinvertebrados acuáticos agrupados sobre la base de los valores de DBO y DQO .....	131

## RESUMEN

En la microcuenca El Coyote localizada en el municipio de Condega, Estelí, se evaluó la calidad del agua superficial desde febrero del 2010 a febrero del 2011. El propósito fue la identificación de indicadores que faciliten la vigilancia y monitoreo de la calidad del agua. Se integró un sistema multimétrico utilizando las características físicoquímicas y bacteriológicas, macroinvertebrados acuáticos, la caracterización morfométrica de la microcuenca y la información resultante a nivel de comunidad (cambios en el uso del suelo). En la determinación de la relación de la calidad del agua con la estructura de la macrofauna acuática (macroinvertebrados) se usó el método Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). La microcuenca tiene 144 afluentes con una forma oval-oblonga-alargada, y su curva hipsométrica refleja un estado de equilibrio relativo de juvenil a madurez. El uso del suelo es inadecuado y su entorno natural fue valorado como subóptimo. Aunque los parámetros físicoquímicos indicaron que las aguas son alcalinas, con un nivel aceptable de oxígeno disuelto, categorizadas según el Diagrama de Riverside como aguas aptas para riego (C2-S1), y aceptables según valores determinados para DBO<sub>5</sub> y DQO; sin embargo, requieren de un tratamiento de descontaminación previo a su uso doméstico y agropecuario. Además, debido a la presencia de coliformes fecales estas aguas no están aptas para consumo humano. Los macroinvertebrados varían, según la estacionalidad, en riqueza, abundancia y distribución, presentando una disminución en el número de individuos en la época lluviosa ( $t= 5.21$ ,  $p<2.18E-07$ ). El 68.91% de los macroinvertebrados bioindicadores se distribuyeron en cinco familias: *Leptohyphidae*, *Baetidae*, *Hydropsychidae*, *Chironomidae* y *Physidae*, siendo el cariotipo piedra el que presentó mayor diversidad y abundancia. El promedio del BMWP/Col fue de 60.06, indicando una calidad del agua entre dudosa y aceptable, y el índice ASPT de 6.71 señala una contaminación moderada; estos resultados coinciden con los obtenidos utilizando la batería de indicadores físicoquímicos y bacteriológicos.

**Palabras clave:** macroinvertebrados, morfometría, BMWP/Col, monitoreo, coliformes, DBO.

## SUMMARY

In the Coyote microbasin located in the municipality of Condega, Esteli, was assessed the quality of surface water from February 2010 to February 2011. The aim of this research was to establish an appropriate set of indicators for *monitoring* and reporting on *water resources*. We used a multimetric system which was compound of the following elements: physicochemical and bacteriological water characteristics, aquatic macroinvertebrates, microbasin morphometric characteristics, and community level indicators (land use change). Biological Monitoring Working Party (BMWP / Col) method was used to determinate water quality using species of macroinvertebrates as bioindicators. The microbasin has 144 tributaries with an oval-oblong-elongated shape, and its hypsometric curve reflects a state of relative balance from youth to maturity. The land use is inappropriate, and the analysis of surrounding shows it as suboptimal. Although the physicochemical parameters indicated that the water is alkaline, with an acceptable level of dissolved oxygen, categorized according to the Riverside diagram as C2-S1, and acceptable for BOD<sub>5</sub> and COD values; however, it requires decontamination treatment before using. Furthermore, due to the presence of fecal coliform these waters are not suitable for human consumption. Macroinvertebrates vary according to seasonality in richness, abundance and distribution, decreasing the number of individuals in the rainy season ( $t=5.21, p<2.18E-07$ ). The 68.91% of the macroinvertebrate bioindicators were categorized in to five families: *Leptohyphidae*, *Baetidae*, *Hydropsychidae*, *Chironomidae* and *Physidae*. The stone karyotype presented the highest diversity and abundance. In addition, the average BMWP / Col was 60.06, and the value to ASPT was 6.71, indicating a water quality ranging between moderately polluted to acceptable; the results correspond with those obtained using physicochemical and bacteriological indicators.

Keywords: macroinvertebrates, morphometry, BMWP/ Col, monitoring, coliform, BOD.

## I. INTRODUCCIÓN

La escasez y la contaminación del agua es uno de los principales problemas ambientales presentes en las cuencas hidrográficas que se manifiestan en la calidad del agua, y siendo éste uno de los factores vitales para la salud humana, ha sido el objeto de estudio para este trabajo. El estudio forma parte complementaria de otros estudios realizados en el Proyecto UNACARE/MARENA/PIMCHAS, por medio del cual se evaluó el impacto del Proyecto en las áreas seleccionadas mediante la utilización de la metodología Área de Sensibilidad Ambiental y Social (ASAS). El impacto fue evaluado a través del monitoreo de los indicadores de infiltración de agua, contenido de materia orgánica, escorrentía y sedimentos para determinar la erosión del suelo y la calidad del agua de cinco micro cuencas de las subcuencas de los Ríos Viejo y Estelí, en la cual la microcuenca El coyote formó parte de una de ellas.

La calidad del agua está relacionada con el uso que se le pretende dar de acuerdo a las actividades humanas: doméstico, riego para la agricultura, potabilización para consumo humano, hábitat de especies acuáticas, piscicultura, turismo, esparcimiento, procesamiento industrial, etc., cada una de ellas tiene sus propias exigencias de calidad. Asimismo 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.

Cuando se analizan las características físicoquímica y biológica de las aguas superficiales se toma en cuenta la disolución y arrastre de sustancias naturales por donde circula el agua para valorar su contaminación natural, exige además cualificar y cuantificarlos componentes generados por la actividad humana, urbana, agrícola e industrial, que producen una contaminación artificial. Otro factor que influye en la valoración de la contaminación es el caudal circulante de los ríos, influido por los estiajes o momentos de avenidas que producen variaciones en la composición del agua en un mismo punto del cauce.

La evaluación del recurso agua tradicionalmente se ha basado en variables derivadas de las características fisicoquímicas, las cuales deben cumplir con los parámetros preestablecidos o las características óptimas de acuerdo a su finalidad de destino. De no ser así, estas aguas deberán ser objeto de tratamiento o depuración, y posteriormente la calidad será clasificada con valores de inadmisibles o simplemente mejorables.

En la actualidad se ha complementado esta evaluación con monitoreo biológico y/o biomonitoreo, la cual utiliza una entidad biológica como indicador de contaminantes y su respuesta, como una herramienta para detectar condiciones ambientales específicas (USEPA<sup>(a)</sup>, 2003). Los criterios biológicos (biocriterios), son expresiones narrativas o numéricas, que describen la integridad biológica de la estructura y función de las comunidades acuáticas, es decir los biocriterios, son medidas biológicas basadas en los organismos que habitan un cuerpo de agua determinado (USEPA<sup>(b)</sup>, 2003).

Desde inicio del siglo XIX en Europa se han utilizado los métodos biológicos para determinar la calidad de agua, éstos según Lenntech (2006) son “las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano”. Apartir de los años 50's se han profundizado los estudios acerca de respuestas que ofrecen plantas y animales, como componentes bióticos de los ecosistemas y evidencia directa de la contaminación. En 1970 en Inglaterra se creó un índice para monitoreo biológico de calidad de agua de ríos aplicado a su país por Hawkes (1998). Las variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, 1996).

En Colombia, Brasil, Chile, Venezuela y Honduras se han realizado estudios dirigidos al monitoreo de la salud ambiental de ecosistemas acuáticos, empleando el índice *Biological Monitoring Working Party* (BMWP/Col) con modificaciones o adaptaciones propias (Branco, 1984; Roldán, 1988; García, 2003; Prat *et al.*, 2005; Gamboa *et al.*, 2008; Roldán & Ramírez, 2008). El método BMWP/Col clasifica a los macroinvertebrados acorde a claves taxonómicas, estableciendo en la zona de muestreo las características ecológicas y la categoría funcional de los mismos.

Además, evalúa la frecuencia de aparición, el número de individuos por familia y las afectaciones morfológicas que éstos sufren por el impacto de los niveles de contaminación presentes en el cuerpo de agua, que son sensibles a los impactos de fuentes difusas y puntuales (Roldán, 1999). De acuerdo al BMWP/Col (Roldán, 1999), la mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor tolerancia a la contaminación y al déficit de oxígeno en el río.

El resultado del índice BMWP/Col varía con el número de taxones que depende de la calidad intrínseca del agua; por una parte, pocos taxones son resistentes y por otra parte, un agua muy pura es poco biógena porque contiene pocos elementos nutritivos, y varía con la diversidad estructural del medio ambiente acuático (número de hábitats). Las características geográficas, altitudinales (climáticas), geológicas e hidrológicas influyen también sobre la composición faunística.

El índice BMWP/Col permite por lo tanto, establecer un diagnóstico de la calidad ecológica global de un ambiente acuático, con todas las causas mezcladas, integrada mediante la diversidad taxonómica, no sólo el nivel de contaminación del agua sino también otras nociones ecológicas menos identificables. La información de este índice se complementa con el ASPT (Average Score Per Taxon), índice valioso para la evaluación de la calidad del agua del sitio, especialmente cuando hay alta diversidad, sus valores van de 0 a 10. Un valor bajo asociado a un puntaje bajo de BMWP/Col (valores van de 1 a 10) indica condiciones graves de contaminación. El ASPT traduce el promedio del límite inferior de la sensibilidad a la polución de los taxones de un sitio, y es una medida de la contaminación del medio ambiente, independiente del esfuerzo de muestreo.

La técnica de seleccionar un organismo o taxón como bioindicador de calidad de agua implica un conocimiento previo de la biota que caracteriza la zona de estudio. La mayor parte de los investigadores consideran a los macroinvertebrados acuáticos como los mejores indicadores de calidad de agua y resumen las ventajas y desventajas con relación al uso de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores ambientales (Zuñiga de Cardoso, 2001).



El método de bioindicación es de suma importancia y en la actualidad acompaña al estudio de las variables fisicoquímicas como complemento a métodos de evaluación rápida para estudios ambientales, y para implementar planes de monitoreo biológico dentro de un sistema de vigilancia que evalúa la eficiencia de las medidas de mitigación aplicadas. Al presentar los macroinvertebrados una amplia gama de tolerancia e intolerancia frente a la contaminación son el grupo más usado como indicador del estado ambiental de aguas superficiales por ser muy sensibles a los cambios de su ambiente y más vulnerables a las perturbaciones antropogénicas, por vivir en hábitats de pequeña escala (La Bonte *et al.*, 2001). Las técnicas que utilizan macroinvertebrados acuáticos han demostrado su total eficacia en la detección de puntos de alteración y en el cartografiado de la calidad de agua (Figuroa *et al.*, 2007).

En Nicaragua la aplicación de BMWP/Col, es relativamente nueva y se cuenta con poca experiencia sistematizada para adaptar este método a las cuencas nacionales. Algunos estudios aplicando este método se han realizado en Matiguas, Tola y Dipilto, incorporando a los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua y grado de contaminación que presentan las aguas superficiales en las cuencas hidrográficas del país (Delgado, 2010; Fenoglio *et al.*, 2002; Gamboa *et al.*, 2008; Montenegro, 2003).

El proyecto CARE/MARENA/PIMCHAS, con la finalidad de establecer a cuáles microcuencas de la Subcuenca del Río Estelí se le debe brindar mayor atención, aplicó la Metodología Áreas de Sensibilidad Ambiental y Social (ASAS). Sus resultados brindan información que facilita la identificación e implementación del método BMWP/Col para valorar la calidad de las aguas en la microcuenca El Coyote.

La vulnerabilidad identificada en la microcuenca El Coyote, empleando la metodología ASAS, exige realizar una evaluación de la zona, que además del recurso hídrico integre la dinámica morfométrica de la microcuenca. Para alcanzar esto se propone el uso de macroinvertebrados (BMWP/Col) como método rápido de monitoreo biológico complementado con el monitoreo rutinario que utiliza sólo parámetros fisicoquímicos y sus efectos sobre las comunidades acuáticas; además se incorpora información relacionada a las actividades antropogénicas que se realizan en la zona.

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 microcuenca, 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 microcuenca. Adicionalmente el listado obtenido de familias indicadoras de la calidad del agua encontradas en la microcuenca, podrá ser incorporado en una guía de campo que sirva como un instrumento de evaluación rápida y efectiva del recurso agua superficial que puede ser utilizado en cualquier parte del territorio nacional, ya que brinda información del ecosistema el cual es de gran importancia en programas de monitoreo multimétrico.

## **II. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar la calidad de las aguas superficiales de la microcuenca El Coyote, mediante parámetros biológica y fisicoquímica, integrados en un sistema multimétrico de indicadores.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

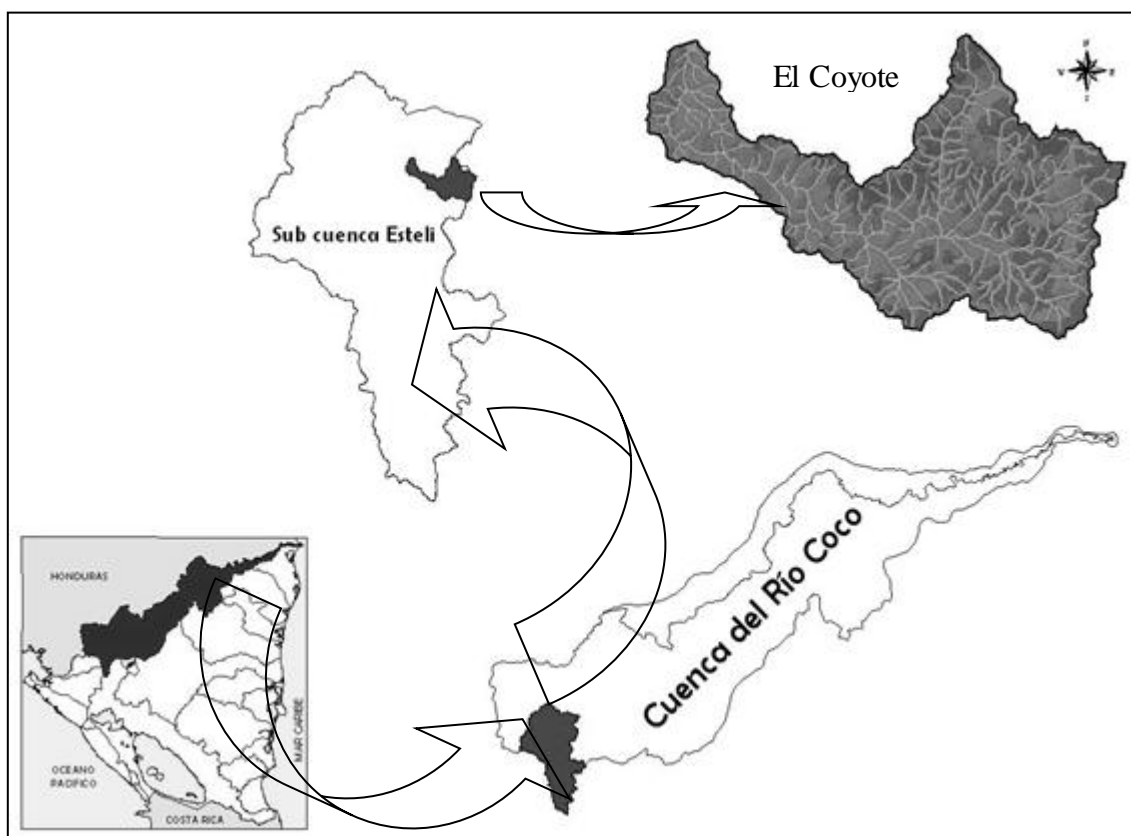
- Valorar el estado de la microcuenca de acuerdo a sus características morfométricas, caudal de corrientes, uso actual del suelo y condiciones ecológicas.
- Determinar la calidad del agua superficial utilizando parámetros biológicos y fisicoquímicos.
- Conocer la estructura, abundancia y distribución de las familias de macroinvertebrados acuáticos presente en las aguas superficiales en estudio.
- Aplicar el método BMWP/Col como criterio complementario para estimar el estado ecológico del agua superficial.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Caracterización general del área de estudio

##### 3.1.1 Localización

La microcuenca denominada “*El Coyote*” se ubica geográficamente entre las coordenadas 13°23’05” y 13°27’29” de latitud norte y 86°10’37” y 86°22’53” de longitud oeste. Forma parte del sistema de microcuencas de la Subcuenca del Río Estelí que a su vez es parte de la cuenca del Río Coco transfronteriza entre Nicaragua y Honduras (figura 1). Tiene una superficie de 37.14 km<sup>2</sup>, localizada entre las comarcas Río Grande (33.1%) del municipio de Palacagüina y comarcas de la Microrregión IX (3.15%), Microrregión X (5.65%) y Microrregión XI (58.1%) del municipio de Condega,

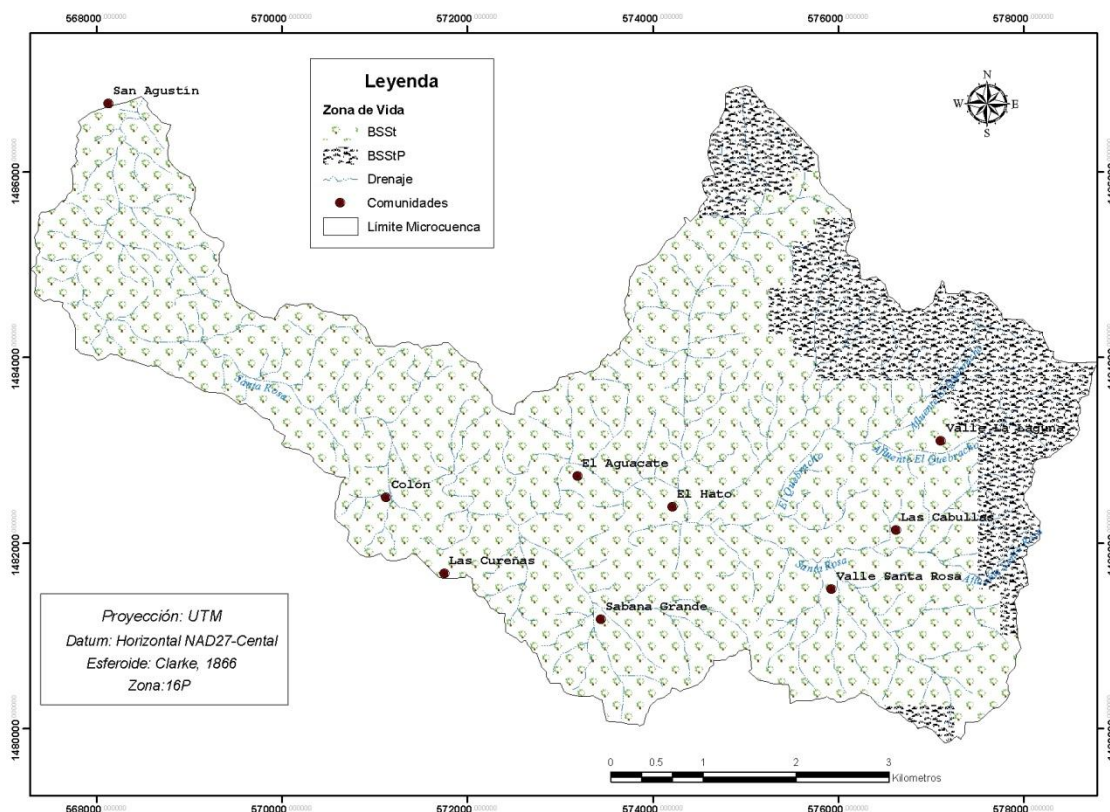


**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca El Coyote, Subcuenca del Río Estelí.

### 3.1.2 Clima

El área de estudio presenta elevaciones que varían entre 500 a 1300 msnm; utilizando la clasificación de KÖPPEN tiene condiciones de un clima de Sabana Tropical con modificaciones debido a la altitud. La precipitación promedio anual oscila entre los 800 y 900 mm, que la caracterizan como una zona seca con una canícula acentuada, teniendo una temperatura promedio anual que varían de los 20 a 24 °C.

Según la clasificación realizada por Mendoza (2000) basado en las zonas de vida de Holdridge, ubica a la microcuenca dentro de dos zonas (Figura 2), Bosque Seco Subtropical (BSSt) que cubre un áreas de 30.88 km<sup>2</sup> (83%) y Bosque Seco Subtropical Premontano (BSSp) con 6.26 km<sup>2</sup> (17%). En estas zonas de vida las condiciones climáticas se caracterizan por tener días claros y soleados durante los meses en que no llueve y parcialmente nublados durante la época de lluvias (Abril – Octubre).



**Figura 2.** Zonas de Vida de Holdridge en la microcuenca El Coyote. Según Holdridge. (Base cartográfica Mendoza, 2000).

### 3.1.3 Geología

El municipio de Condega se encuentra geológicamente en la Provincia Central o volcánica del periodo terciario, constituida principalmente por rocas volcánicas del terciario y sedimentos aluviales depositados en valles intramontanos y en las riberas de sus ríos, formando los sistemas de terrazas fluviales.

En el cuadro 1 se resume la formación geológica de la microcuenca El Coyote, tomando como referencia la clasificación realizada por el Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua (MAGFOR).

**Cuadro 1.** Descripción de la información geológica en la microcuenca El Coyote.

Clave	Cuaternario	Agua	Descripción	Km <sup>2</sup>	%
<b>T8</b>	Terciario. Rocas volcánicas	No hay agua subterránea	Grupo Matagalpa, rocas volcánicas sedimentarias indiferenciadas, del Premioceno, Terciario. Rocas volcánicas.	18.12	48.9
<b>T2</b>	Terciario. Rocas volcánicas	No hay agua subterránea	Flujo de cenizas (grupo coyol superior), del plioceno, Terciario. rocas volcánicas	13.06	35.1
<b>T7</b>	Terciario. Rocas volcánicas	No hay agua subterránea	Flujo andesítico y depósitos piroclásticos del grupo coyol inferior, del mioceno, terciario. rocas volcánicas	4.24	11.4
<b>Q1</b>	Cuaternario. Rocas sedimentarias	Fuente de agua subterránea	Depósitos aluviales, del cuaternario. rocas sedimentarias	1.72	4.6

Fuente. Base cartográfica, MAGFOR, 1998.

### **3.1.4 Suelos**

Utilizando la “Soil Taxonomy”, Soil Survey Staff (USDA.SSS, 1999) que analiza los suelos en base a procesos genéticos, se determinó que el municipio de Condega tiene suelos con diferentes grados de evolución y desarrollo; varían desde suelos jóvenes o incipientes (Entisoles y Vertisoles) hasta suelos maduros (Mollisoles y Alfisoles). Taxonómicamente los suelos se encuentran en los siguientes órdenes: Entisoles con (72.36%), Vertisoles (8.72%) Mollisoles (15.62%) y Alfisoles (3.11%).

### **3.1.5 Recursos hídricos**

El municipio de Condega cuenta con cinco ríos, siendo estos ríos el Pire, Río Pueblo Nuevo, Río Estelí, Río El Jocote, Río Yalí; la mayoría de los afluentes de estos ríos no tienen agua en época seca. Los afluentes del Río Estelí en orden de importancia son: el Río Pire (12.06 Km), Río Pueblo Nuevo (10.23 Km), también desembocan dos quebradas por el norte: Quebrada Seca, en cuyo cauce corre agua solo durante la época lluviosa, y Santa Rosa que mantiene caudal de forma permanente, aún en la época seca.

Las características de los recursos hídricos permite conocer que la lluvia que cae en las microcuencas de los ríos Pire y Jocote, se escurre rápidamente y la mayor parte del agua caída se pierde por escorrentía; causado por las pendientes fuertes, la pobre cobertura vegetal y la falta de manejo de prácticas de conservación de suelo, lo que provoca un proceso de erosión fuerte y una baja infiltración que alimente el manto acuífero.

### **3.1.6 Recursos forestales**

Según Báez (1995), el municipio de Condega disponía de un bosque denso (6.81%), bosques ralos (5.75%), bosques combinados con café (6.81%), es decir que, el 19.37% del área total del municipio estaba cubierto con este tipo de vegetación. Un 67.08% del área estaba ocupada con pastos y bosques de porte bajo, esto significa que, más del 50% del área estaba cubierto por recurso forestal (Anexo 3).

Por otro lado, el inventario forestal del bosque ripario de la microcuenca realizado por el Proyecto PIMCHAS (2010) se reporta un total de 255 individuos  $\text{ha}^{-1}$ , distribuidos en 16 familias botánicas; siendo las más representativas las *Fabaceae* y *Mimosaceae*.

### **3.1.7 Actividad productiva**

La actividad productiva de la microcuenca El Coyote se centra básicamente en el cultivo de granos básicos, hortalizas y ganadería, con una importante orientación para el autoconsumo (Anexo 3).

### **3.2 Proceso metodológico para la realización del estudio**

El proceso metodológico para la realización del estudio en la microcuenca “El Coyote” está dividido en tres grandes etapas: Planificación, colecta de la información de muestras y análisis e interpretación de la información (figura 3).

En el proceso de planificación se realizó la revisión bibliográfica relacionada con el estudio, se ubicó el área para la caracterización morfométrica y delimitación de la microcuenca. Asimismo, se establecieron criterios para la selección de los sitios de muestreo tales como: la localización (alta, media y baja) y uso del suelo, concluyendo esta etapa con la programación de todas las actividades a realizar en campo y el análisis e interpretación de la información secundaria.

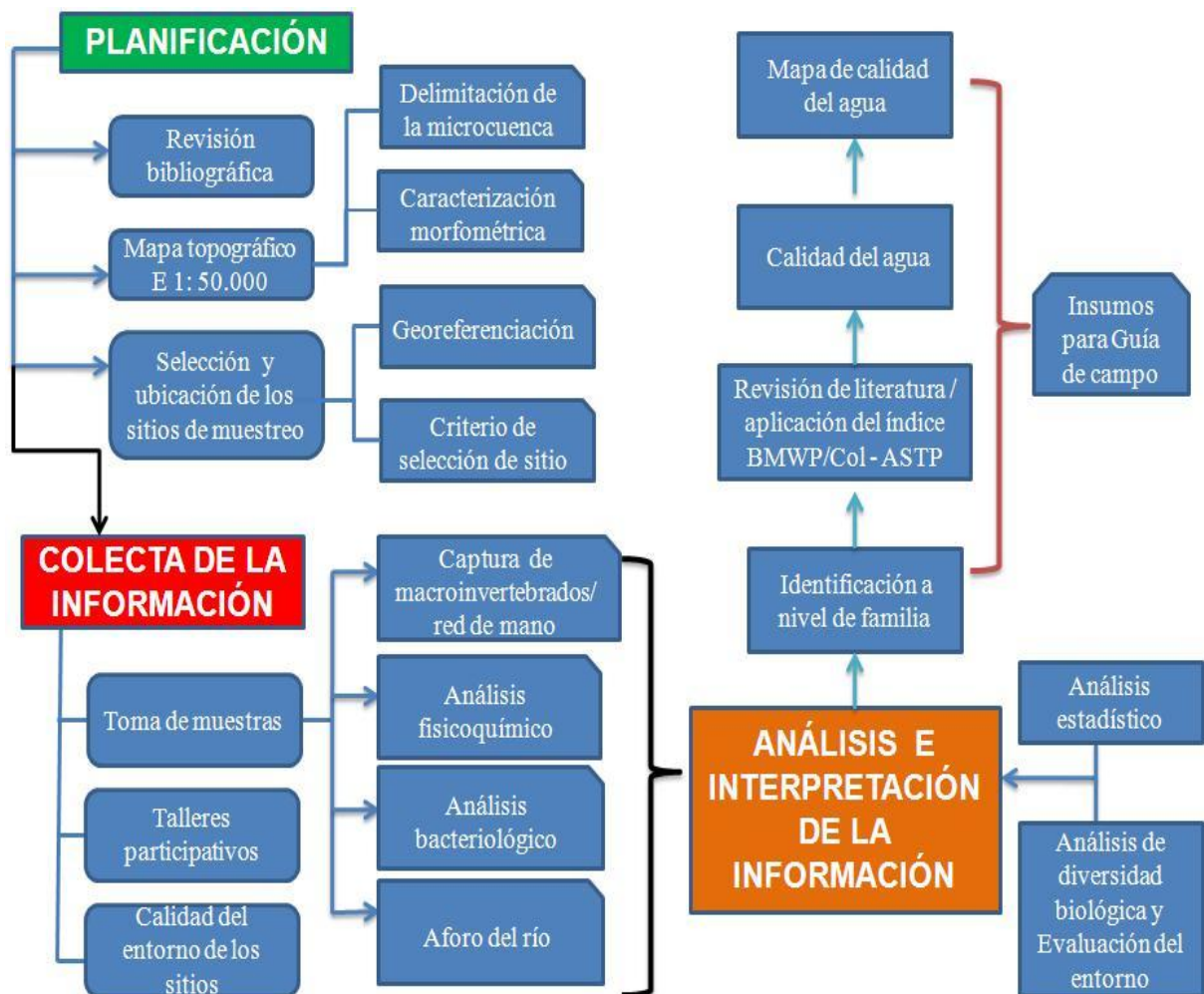
La colecta de muestras se realizó durante un año hidrológico, iniciado en el mes de febrero 2010 y concluido en el mes de febrero del 2011. Se realizaron siete muestreos distribuidos en los meses de Febrero, Abril, Junio, Agosto, Octubre, Diciembre del 2010 y Febrero del 2011, para recolectar organismos, valorar entorno y obtener parámetros del agua con kit de campo. En tres muestreos (Febrero, Octubre 2010 y Febrero 2011) los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos se analizaron en laboratorio especializado (LAQUISA, S.A).

Para obtener la información del uso actual del suelo y su evolución a través del tiempo se realizaron talleres participativos con pobladores de cada uno de los sitios de muestreo (Valle La Laguna, El Hato y El Aguacate).



Los resultados obtenidos se organizaron en base datos y se procesaron mediante estadística descriptiva e inferencial, para validar los datos y conocer los grados de significancia de los mismos, lo cual permitió el análisis del comportamiento de las variables estudiadas en la microcuenca El Coyote.

Después de la recopilación de los macroinvertebrados en la microcuenca El Coyote encontrados y su clasificación, se hizo uso de cámara digital integrada al estereoscopio triocular (para una mejor resolución de la misma) para obtener las fotografías. La Figura 3 muestra un esquema de todo el proceso metodológico realizado.



**Figura 3.** Esquema del proceso metodológico desarrollado en el estudio.

### 3.2.1 Etapa de planificación

#### *Revisión bibliográfica*

Consistió en la recopilación y selección de la información secundaria relacionada al municipio de Condega y la microcuenca El Coyote; 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, más específicamente de los recursos suelos, agua y vegetación.

#### *Delimitación de la microcuenca*

En el proceso de delimitar el área de la microcuenca se utilizó un mapa topográfico a escala 1:50,000, apoyados de un Sistema de Información Geográfico (SIG) y un Modelo Digital del Terreno (MDT). Previamente, se efectuaron talleres participativos con comunitarios, productores y socios del proyecto PIMCHA-MARENA para valorar el nivel de deterioro ambiental de la microcuenca y aprovechar su conocimiento sobre el territorio.

#### *Caracterización morfométrica de la microcuenca*

La caracterización se realizó con la herramienta SIG que permite la generación de un MDT para la obtención de parámetros de relieve de forma automatizada y con precisión.

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 tienen alguna incidencia directa con la calidad de agua y los indicadores biológicos.

***Parámetros de forma:*** Para el cálculo de Forma, se aplicó el Índice de Compacidad a partir de la fórmula según Gravelius.

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

$Cc$  = Coeficiente de compacidad.

$A$  = Área de la cuenca.

$Pc$  = Perímetro de la cuenca

De acuerdo a López (1994), el Índice de Compacidad es el índice admitido generalmente para representar la relación contorno-superficie de una cuenca, donde se compara la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo que tuviera la misma superficie.

El Cuadro 2 muestra la clasificación de la cuenca de acuerdo a lo establecido por Campos (1992).

**Cuadro 2.** Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.

Clase de Forma	Índice de Compacidad (Cc)	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26-1.50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente Campos, 1992.

*Coeficiente o Razón de Elongación (Re):* Se utilizó la fórmula propuesta por Schumm 1956.

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

*Re= Relación de elongación.*

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

*A = Área de la cuenca*

*Superficie de la cuenca:* Este dato se obtuvo mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG) empleando el software ArcView<sup>®</sup> 3.2; se originó un Modelo Digital del Terreno (MDT) que ayudó a una delimitación más precisa de la microcuenca. Este MDT a su vez fue derivado de las curvas a nivel cada 20 metros, cotas máximas de elevación, red de caminos y red de drenaje de los ríos, fueron digitalizados de los mapas topográficos de 1989 del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) a escala 1:50,000.

Para denominar la microcuenca según el tamaño a la microcuenca se tomó la clasificación de Campos (1992), la cual se presenta en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Clasificación de la cuenca según su tamaño.

Tamaño de la Cuenca (km <sup>2</sup> )	Descripción
Menos de 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2,500	Intermedia Grande
2500 a 5000	Grande
Más de 5000	Muy Grande

Fuente Campos, 1992.

**Parámetros de relieve.** La Pendiente de la cuenca, 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.

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

J = Pendiente media de la cuenca (%).

$\sum Li$  = 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>).

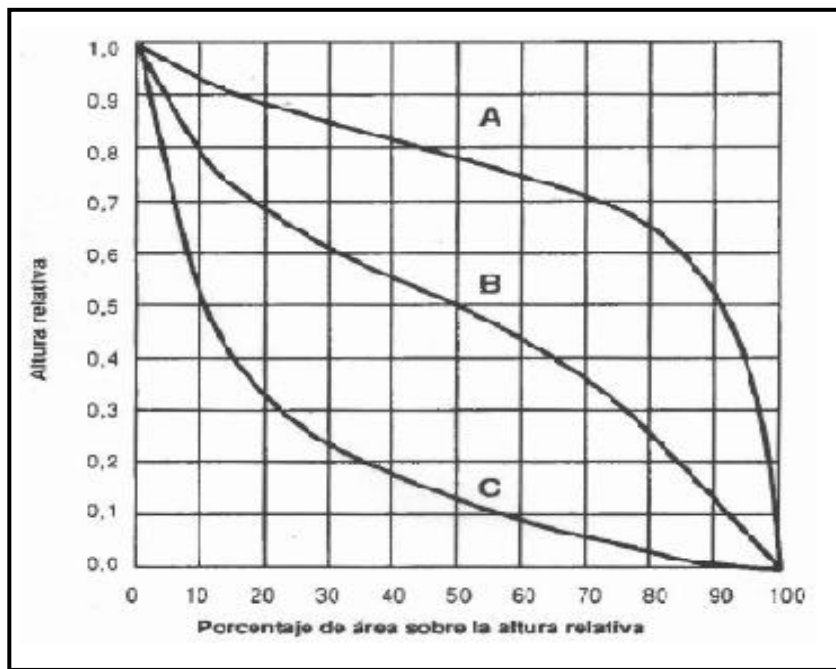
La influencia del relieve sobre el hidrográma es aún más evidente. A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de esorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal (Navarrete, 2004).

*La Curva hipsométrica:* permitió caracterizar el relieve; se obtuvo a partir de las cotas de altitud registradas en los modelos digitales de elevación 1:500,000 y complementado con la estimación de la superficie acumulada por cada cota.

Con el propósito de comparar la cuenca con otros sistemas hidrográficos se empleó el criterio propuesto por Campos (1999), que considera la relación entre las alturas parciales y la altura total, así como las áreas parciales entre curvas de nivel y el área total.

En base al análisis hipsométrico, se pudo comparar la microcuenca El Coyote con las curvas de la Figura 4 y determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en que ésta se encuentra.

En la figura 4 la curva superior (curva A: fase de juventud) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B: fase de madurez) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C: fase de vejez) es típica de una cuenca sedimentaria. Quedarían. Así, quedan representadas distintas fases de la vida de los ríos.

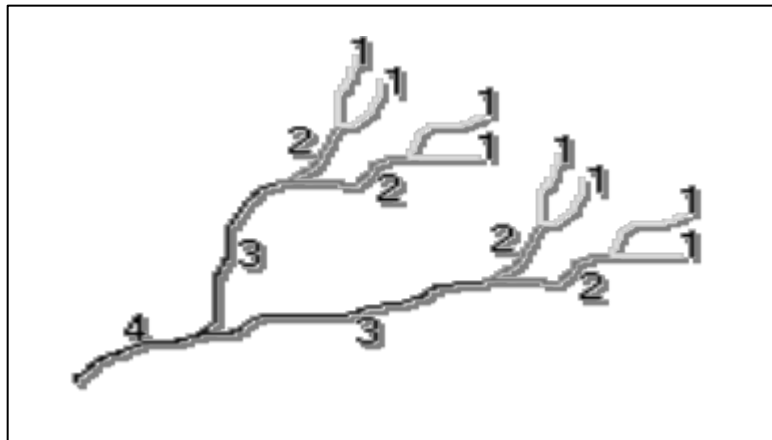


**Figura 4.** Curvas hipsométricas, características del ciclo de erosión, según Strahler.

**Parámetros relativos a la red de drenaje.** Según Llamas (1993), *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 consideraron los tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de las corrientes, densidad de drenaje y densidad de corrientes, las cuales se muestran a continuación.

*Orden de la corriente:* En este estudio se utilizó el método de Strahler ya que es el más común, el más comprensible y el más fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos.

Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercer donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente (Figura 5). En general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.



**Figura 5.** Esquema de Ordenes de corriente según Strahler.

*Densidad de drenaje:* Definida para una cuenca como la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la expresión:

$$D = \Sigma L / A$$

$D$  = Densidad de drenaje ( $km^{-1}$ ).

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

$A$  = Superficie de la cuenca ( $km^2$ ).

*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:

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

$Dc$  = Densidad de corriente.

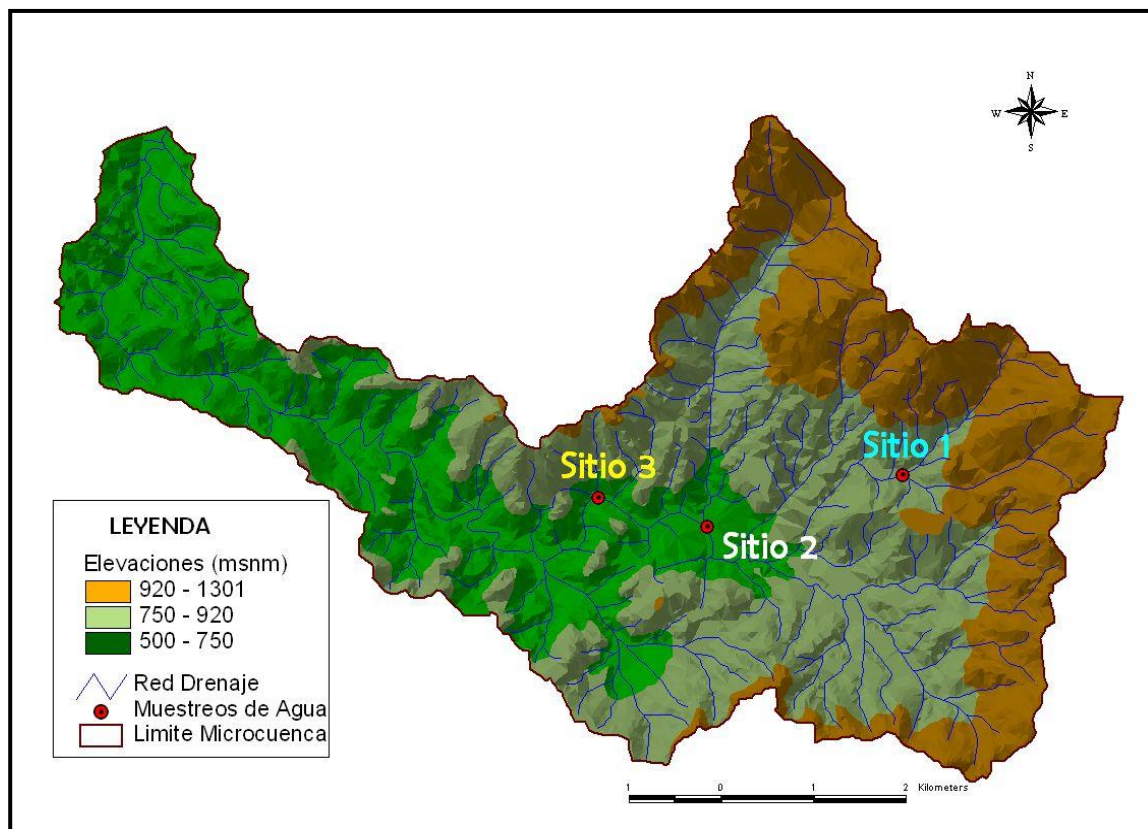
$Nc$  = Total de número de corrientes en la cuenca.

$A$  = Área de la cuenca en  $km^2$ .

Se refiere a la cantidad de afluentes naturales de la cuenca 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 escurrimientos proporcionará un mejor drenaje de la cuenca y por lo tanto, favorecerá el escurrimiento.

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

Para la selección de los sitios se usaron como criterios básicos; el área con influencia humana, área de confluencia de afluentes, áreas de uso agropecuario y forestal y según la toposecuencia de la microcuenca. De esa manera se establecieron tres sitios (1) ubicado en la parte alta, específicamente en las laderas del cerro El Fraile, en el punto de congruencia de aguas superficiales del valle “La Laguna” con altitud de 996 msnm; el sitio (2) se ubicó en la parte media en la comunidad “El Hato” con altitud de 853 msnm; y el sitio (3) se localizó en la parte baja en la comunidad “El Aguacate”, con altitud de 712 msnm. En la siguiente figura se muestran los puntos de muestreos.



**Figura 6.** Ubicación de los sitios de muestreo en la microcuenca El Coyote.

### 3.2.2 Etapa de colecta de la información

Para el diseño muestral se consideraron; los sitios seleccionados, el tiempo para la obtención de las muestras tomando en cuenta las épocas seca – lluviosa, así como y los parámetros: fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos del agua que interesaban conocer.

Se planificaron siete muestreos en el transcurso del estudio, con una periodicidad de dos meses entre cada uno; en todos ellos se recolectaron las muestras de macroinvertebrados en los sitios seleccionados, y con kit de campo se realizaron las determinaciones de temperatura del aire y del agua, pH; Carbonato, Iones indicadores de contaminación: Nitrato, Nitrito, Fosfato, Nitrógeno amoniacal, la presencia de coliformes en el agua, tomándose una muestra de 100 ml en una bolsa plástica Pyrex a la cual se le agregaba una cápsula de medio de cultivo "Pathoscreen P/A"(Hach Co., Loveland, CO, Cat.# 26106-96 ).

Adicionalmente, se realizaron tres muestreos de agua en los meses de Febrero, Octubre y Febrero (época de verano e invierno), muestras que se llevaron al laboratorio LAQUISA para su análisis.

La colecta de macroinvertebrados acuáticos, el análisis *in situ* con Kit de campo (Cuadro 4), el aforo de la corriente y la evaluación del entorno, para cada uno de los sitios, se realizaron en cada muestreo en la hora planificada para mantener uniformidad en los datos.

**Cuadro 4.** Calendarización de los muestreos realizados en la microcuenca El Coyote.

Meses	Fisicoquímico/ Bacteriológico	Fisicoquímico/ Bacteriológico	Macroinvertebrados
	Laboratorio	Kit de campo y reactivo para coliformes	
Febrero 2010	☒	☒	☒
Abril		☒	☒
Junio		☒	☒
Agosto		☒	☒
Octubre	☒	☒	☒
Diciembre		☒	☒
Febrero 2011	☒	☒	☒



### *Aforo de corriente*

Se midió el caudal circulante en un momento determinado (en el periodo de febrero 2010 a febrero 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 4.5 metros / segundo. Este instrumento mide la velocidad, en un punto dado del curso 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 ha dado un cierto número de ciclos, sobre un contador o contómetro.

Para obtener los valores de caudal, cauce se dividió en varias secciones del mismo ancho; en los extremos por tener forma de triángulo se aplicó la fórmula  $\Delta = (h \cdot d) / 2$ , y las secciones internas por tener forma de trapecio, se aplicó dicha fórmula  $\square = ((hm + hM) / 2) \cdot d$ . El área de la sección transversal se determinó sumando las áreas de cada una de las secciones.

Para calcular el caudal se utiliza la siguiente fórmula

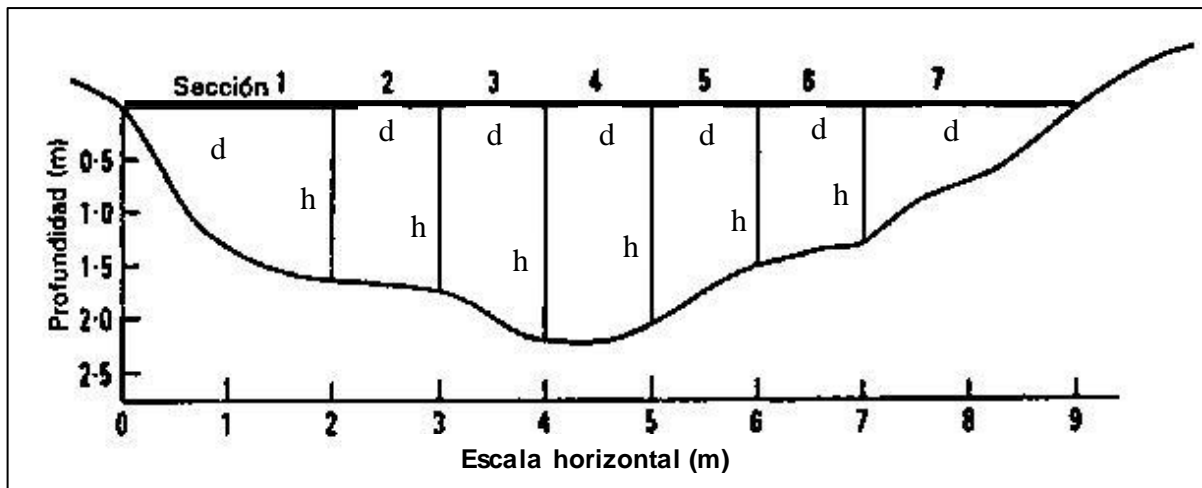
$$Q = A \cdot V.$$

Q= Caudal ( $m^3/s$ )

A= Área de la sección trasversal ( $m^2$ )

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

El caudal total del cauce se obtuvo de la suma de los caudales de cada sección. En la Figura 7 se muestran las divisiones en secciones del cauce para el cálculo de su área transversal en la microcuenca El Coyote.



**Figura 7.** División en secciones del cauce para el cálculo del área transversal en la microcuenca El Coyote.

#### *Uso actual del suelo*

Se utilizó imagen de satélite del sensor Landsat5 TM correspondiente al mes de enero del 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.

Debido a la alta heterogeneidad ambiental encontrada en el área al momento de realizar la identificación de los microhábitats existente, se consideró aplicar Generalización Cartográfica a los resultados, ya que la variedad de tipos de vegetación, condición ambiental (conservación natural original, pastoreo, porcentaje de suelo desnudo) y al pequeño tamaño relativo de las áreas de vegetación homogénea presentes en este tipo de paisajes, tienden a manifestar una combinación de diferentes respuestas espectrales en la imagen, lo cual dificulta su separación.

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

Para obtener información de los cambios del uso que han sufrido los suelos en los últimos 30 años, se decidió rescatar la memoria histórica principalmente de los pobladores mayores de edad y que han habitado en la microcuenca desde antes de 1980.

Utilizando metodologías participativas se realizaron talleres en las comunidades de Valle La Laguna, El Hato y El Aguacate.

Se modificó lo propuesto por Geilfus (1997) para elaborar una guía de orientación acerca de la información histórica a obtener (Anexo 4) incluyendo las actividades que los comunitarios realizan durante el año dentro de la microcuenca, esto permitió realizar el diagrama histórico de sus zonas, y en conjunto se elaboró en un papelógrafo un mapa de los diferentes usos que la comunidad le da a la tierra en la actualidad.

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.

#### *Procedimientos para la recolección y análisis de parámetros fisicoquímico y bacteriológico*

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

El laboratorio LAQUISA (especializado en el análisis fisicoquímico de aguas) fue el encargado de cuantificar los parámetros: nitritos, nitratos, alcalinidad, potasio, sodio, calcio, magnesio, cloruro, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y presencia de coliformes fecales y totales; 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. Las unidades y métodos utilizados se especifican en el siguiente (Cuadro 5), de acuerdo a la información brindada por el laboratorio.

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron comparados con las normas establecidas para la clasificación de los recursos hídricos de Nicaragua, la “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 usos a que se destinen. En este estudio se buscó determinar la calidad del agua para uso doméstico y uso agropecuario.

Sin embargo, para enriquecer la discusión también se tomaron en cuenta las normas y parámetros que establecen organismos especializados: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Directiva Marco de Agua (DMA), la Comisión Nacional del Agua (CNA/ México), Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistema Acuático (MAPSA) y se utilizó el Diagrama de Riverside para valorar el uso del agua con fines agropecuarios.

**Cuadro 5.** Parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio.

N°	PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGIA
1	<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg / l	AWWA Método 5210 B *
2	<b>DQO</b>	mg / l	Método 5250-C*
3	<b>Nitritos</b>	mg / l	Método calorimétrico
4	<b>Nitratos</b>	mg / l	Método de mohr
5	<b>Potasio</b>	mg / l	Método por emisión de llama
6	<b>Sodio</b>	mg / l	Método por emisión de llama
7	<b>Calcio</b>	mg / l	Método de absorción atómica
8	<b>Magnesio</b>	mg / l	Método de absorción atómica
9	<b>Carbonato</b>	mg / l	
10	<b>Bicarbonato</b>	mg / l	
11	<b>Sulfato</b>	mg / l	
12	<b>Cloruro Cl<sup>-</sup></b>	mg / l	Método de Mohr
13	<b>pH</b>	-	Método potencio-métrico.
14	<b>Conductividad</b>	µS / cm	
15	<b>Fosfatos</b>	mg / l	
16	<b>Dureza C<sub>a</sub> CO<sub>3</sub></b>	mg / l	
17	<b>Fluoruros</b>	mg / l	
18	<b>Coliformes totales</b>	UFC /100 ml	Método de tubos múltiples (FGTM)
19	<b>Coliformes fecales</b>	UFC /100 ml	Método de tubos múltiple (FGTM)

\* Según Standard Methods. Analizados por el laboratorio LAQUISA

Los análisis realizados con el **Kit de Campo**, se muestran en Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Parámetros medidos “in situ”.

N°	PARAMETROS	UNIDAD	METODOLOGIA
1	Temperatura. Ambiente	°C	Termómetro
2	Temperatura. del agua	°C	Termómetro
3	pH	u Ph	Colorimetría
4	Amonio	mg/L	Colorimetría
5	Nitratos	mg/L	Colorimetría
6	Nitritos	mg/L	Colorimetría
7	Fosfatos	mg/L	Colorimetría
8	Oxígeno disuelto	mg/L	Titulación
9	Carbonato	mmol/L	Titulación
10	Dureza total	mmol/L	Titulación
11	Alcalinidad	ppm	Colorimetría
12	Coliformes	Ninguna	Colorimetría

Análisis realizado con kit de campo (Aquamerck®)

#### *Aplicación del Diagrama de Riverside*

La calidad del agua para riego se expresa en función de dos variables:

#### *Conductividad Eléctrica CE,*

Es una variable que mide indirectamente las sales disueltas en el agua y es utilizada debido a que las determinaciones se pueden hacer rápidamente con bastante precisión.

#### *Relación de Adsorción de Sodio RAS*

Cuando la concentración de sodio en la solución del suelo es elevada en relación con la de los otros cationes disueltos, se provoca la dispersión y la defloculación de dicho suelo y como consecuencia pierde su estructura. El RAS, es un índice sencillo de calcular y además está correlacionado con el por ciento de sodio intercambiable que tendrá el suelo una vez que se equilibra con el agua.

Se hizo uso del Diagrama de Riverside que establece una relación entre la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y el índice RAS (relación adsorción sodio), lo cual da idea del riesgo de sodificación del complejo de cambio.

Este diagrama hace referencia a la proporción relativa en la que se encuentra el ion sodio y los iones calcio y magnesio utilizando la siguiente fórmula:

Conductividad eléctrica (CC de sales en agua de riego)

$$\text{RAS} = \frac{\text{Sodio}}{\sqrt{\frac{\text{calcio} + \text{magnesio}}{2}}}$$

Diagrama de Riverside

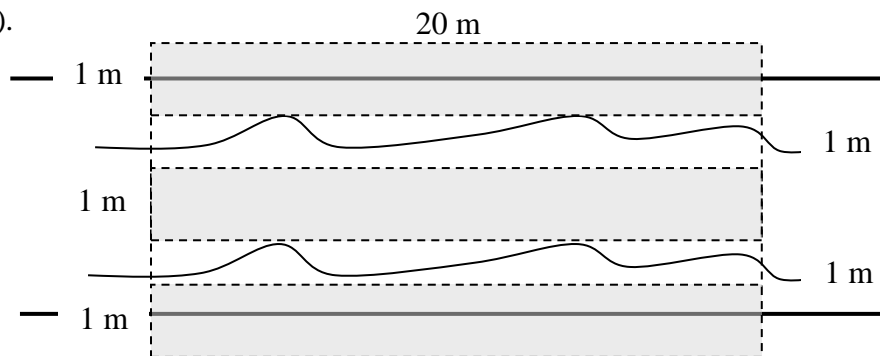
$N_a$ ,  $C_a$  y  $M_g$  están en me/l.

RAS en  $(\text{me/l})^{1/2}$  (Diagrama de Riverside)

Estos dos índices establecen rangos para clasificar el agua, a partir de sus atributos o aptitud que tiene para su uso en agricultura. De acuerdo a las letras C y S afectadas de un subíndice numérico (Anexo 5).

#### *Procedimientos para la recolección de muestras de macroinvertebrados*

Para la recolección de macroinvertebrados acuáticos, en cada sitio de muestreo se tomó un tramo de 20 metros de longitud por un metro de ancho lo más representativo posible de la generalidad del río, en cada uno de los tramos de este transecto se identificaron los diferentes hábitats acuático que tienden a favorecer la biodiversidad de organismos. Como se muestra en las Figuras 8 y 9, se tomó material en los diferentes tramos diseñados (sustrato suave, sustrato duro, zonas con corriente suave, corriente fuerte, vegetación acuática sumergida) tanto dentro del río como en sus orillas y materia en descomposición (hojarasca, sedimento, piedra y macrófita).



**Figura 8.** Esquema de las dimensiones y forma de muestreo de macroinvertebrados.



**Figura 9.** Forma y disposición de las unidades de muestreo para la recolecta de macroinvertebrados acuáticos.

La recolección de muestras de macroinvertebrados se realizó con un colador de mano, en un tiempo total de 60 minutos en cada muestreo; luego, los organismos extraídos se colocaron en bandejas y con la ayuda de pinzas se depositaron en frascos de plásticos etiquetados, que contenían etanol al 70 %. El cuadro 7 muestra la lista de los equipos y materiales utilizados para llevar a cabo el proceso de captura de macroinvertebrados.

Posteriormente, los organismos recolectados en los sitios de estudio fueron trasladados al laboratorio, identificados con ayuda de los estereoscopios y claves taxonómicas (Roldan, 1988; Sánchez, 2005; Zamora, 2005; Springer, 2006), registrados en el phylum, clase, orden y familia correspondiente y cuantificado el número de individuos recolectados.

**Cuadro 7.** Materiales utilizados en la captura de macroinvertebrados.

<b>Equipo</b>	<b>Especificaciones</b>
Colador grande de cedazo metálico	Utilizado para la recolección de los macroinvertebrados en los sitios de muestreo establecidos. Presentando poros con diámetros de 300 micras.
Bandeja de muestreo	De plástico, por su bajo peso y poco riesgo de rotura; amplia para permitir el vaciado del material colectado; de colores claros porque facilitan la localización de los invertebrados.
Botes para muestras	De plástico, cilíndricos (boca amplia), con cierre hermético, tapa de rosca, y de 500 ml de volumen. Facilidad de limpieza y reutilización.
Garrafa plástica	Para el etanol.
Papel etiquetas	Es de cartulina, utilizado en la rotulación de muestra.
Rotuladores punta fina / lápices	Para el etiquetado exterior de los botes
Pinzas finas	Facilitan la colecta de ejemplares en la bandeja y red de muestra.
Esteroscopio MEIJI EMT 81848	Para la determinación de los macroinvertebrados en el laboratorio.
Viales	Para la conservación de muestra, con cierre hermético. Tamaño de 25 ml y 50 ml.
Cámara Mini Lw Scientific 800.726.7345 DCM310 (USB2.0)	Para tomar fotos a los ejemplares identificados.
Claves y guías taxonómicas para el estudio de macroinvertebrados acuáticos.	Identificación de organismos a nivel de familia, utilizando a Roldan, 1988; Sánchez, 2005; Zamora, 2005; Springer, 2006.


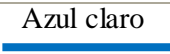

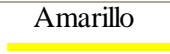
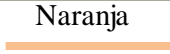



A continuación se procedió a asignar los puntajes de las familias identificadas, fueron establecidos los valores indicadores (suma de puntajes) de cada sitio para así determinar el índice BMWP/Col de dicho sitio. Los diversos autores han realizado modificaciones a la asignación de puntaje (Roldán, 2003 y 2008; Álvarez, 2005; Zamora, 2005) por lo que después de realizar un análisis comparativo de los mismos (Anexo 11), se decidió utilizar los puntajes de Zamora (2005) (Anexo 6) debido a que en este estudio aparecen la mayoría de familias encontradas también en la microcuenca El Coyote. El Cuadro 9 muestra un resumen didáctico de la asignación de puntaje por familia utilizado.

Adicionalmente, cada individuo fue identificado hasta la categoría de familia y fue fotografiado para crear base de datos que posteriormente será utilizada el registro fotográfico de las familias encontradas para la elaboración de una guía de campo que sirva como instrumento de evaluación rápida y efectiva del recurso agua superficial brindando información del ecosistema en programa de monitoreo multimétrico (Anexo 1).

Para caracterizar con esta técnica el estado de salud o la calidad de agua superficial de la microcuenca, se suma el puntaje asignado a cada una de las familias de acuerdo al índice que asigna el BMWP/Col, el valor que resulta determina la calidad del agua. El cuadro 8 muestra los rangos establecidos.

**Cuadro 8.** Clasificación de la calidad del agua mediante el Índice BMWP/Col.

Clase	Rango $\Sigma$ BMWP	Calidad	Características	Color Cartográfico
I	$\geq 121$	Muy Buena	Aguas muy limpia	
II	101 – 120	Buena	aguas limpias	
III	61 - 100	Aceptable	aguas medianamente contaminadas	
IV	36 - 60	Dudosa	aguas contaminadas	
V	16 - 35	Crítica	aguas muy contaminadas	
VI	$\leq 15$	Muy Crítica	aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Zamora, 2005.

**Cuadro 9.** Valores utilizados para la determinación del Índice BMWP/Col.

Familias	Puntaje	Familias	Puntaje
<i>Tubificidae (Tubifex)</i>	<b>1</b>	Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda) Palaemonidae. Pseudothelpusidae. (Cl:Crustácea)	<b>8</b>
Todas las familias (Excepto Tubifex) Chironomidae. Ephydriidae. Syphidae	<b>2</b>	Dixidae Pleidae. Saldidae. Guerridae. Velidae. Hebridae. Lestidae. Calopterygidae. Dytiscidae. Dryopidae. Hidopsychidae. Leptoceridae. Helicopsychidae. Baetidae. Caenidae.	
Glossiphoniidae. Cyclobdellidae. Cylicobdellidae. Physidae. (Cl: Gastrópoda). Culícidae, Muscidae. Sciomizidae	<b>3</b>	Hirudinae. (Cl: Hirudinea) Ampullariidae. (Cl: Gastrópoda) Pyrilidae Gordiidae. Chordodidae. (Cl: Nematomorpha) Simullidae. Gomphidae. Megapodagrionidae. Coenagrionidae. Gyrinidae. Scirtidae. Hydrobiosidae. Philopotamidae. Xiphocentronidae. Leptophlebiidae. Efemeridae.	<b>9</b>
Limnaeidae. Sphaeridae..(Cl: Gastrópa). Tipulidae. Ceratopogonidae. Hidrophilidae. Noteridae. Hydraenidae. Noteridae	<b>4</b>	Hidridae. (Cl: Hydrozoa) Lymnessiidae. (cl:Arachnoidea o Hidracarina) Unionidae. (Cl: Bivalva o Pelecypoda) Blepharoceridae. Polythoridae Psephenidae. Ptilodactylidae. Lampyridae. Odontoceridae. Glossosomatidae. Rhyacophilidae. Calamoceratidae.	<b>10</b>
Thiaridae. (Cl: Gastrópoda) Tabanidae. Stratiomyidae. Empididae. Chrysimelidae. Haliplidae. Curculiónidae.	<b>5</b>	Hydroptilidae. Anomalopsychidae. Atriplectididae Oligoneuridae. Euthyplociidae. Polymtarcyidae. Perlidae.	
Planariidae. Dugesiidae Hyalellidae. (Cl: Crustácea) Atyidae. (Cl: Crustácea) Corydalidae. Sialidae. Dolichopodidae. Belostomatidae. Hydrometridae. Gelastocoridae. Nepidae Libellulidae Limnichidae. Lutrochidae.	<b>6</b>	Neritidae. (Cl: Gastrópoda) Melaniidae. Hydrobiidae (Cl: Gastrópoda) Ancylidae. Planorbidae. (Cl: Gastrópoda) Psychodidae Naucoridae. Notonectidae. Mesovelidae.	<b>7</b>

Fuente: Modificado de Zamora, 2005.

Finalmente, el ASPT se calculó dividiendo el valor del índice BMWP del sitio correspondiente entre el número de taxones recolectados. Este índice fue también aplicado en la evaluación de la calidad de agua (Cuadro 10) y en la realización del mapa calidad de agua de la microcuenca El Coyote, al utilizar colores y significado establecido para ellos.

**Cuadro 10.** Significado de valores ASPT para la determinación de la calidad del agua.

Clase	Calidad	ASPT	Significado	Color
I	Buena	9 - 10	Aguas muy limpias. 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

Fuente: Armitage et al., 1992.

### 3.2.3 Análisis de la diversidad biológica

El análisis básico de la diversidad biológica implica el cálculo de la riqueza, abundancia y diversidad (Moreno, 2001). La razón ecológica del uso de estos parámetros, es determinar el grado de dominancia o el grado de equidad en el que se distribuyen los individuos en cada una de las familias. Sabiendo que el grado de dominancia indica que una o unas pocas familias están dominando la comunidad en término de número de individuos, y por lo tanto absorben mayor recursos (luz, alimento, espacio, entre otros.) pueden desplazar al resto de las taxas, de tal forma que una comunidad dominante se considera menos diversa. En este sentido, lo opuesto “Equidad” indicaría que en la comunidad de organismos la mayoría de las taxas (familias) tiene 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.

$$\sum N$$

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 Margalef

Es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

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

S = número de especies

N = número total de individuos.

ln = logaritmo natural.

### 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. Para 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).

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

H = índice de diversidad,

$n_i$  = número de individuo perteneciente a la i-esima especie en la muestra.

N = número total de individuos en la muestra.

Log = logaritmo.

### 3.2.4 Evaluación de la calidad del entorno de los sitios de monitoreo de agua

Con el interés de ampliar el conocimiento acerca del estado de salud del ecosistema acuático se realizó una evaluación de la calidad del entorno de los sitios de muestreos, utilizando el índice de integridad física de la estación de monitoreo, de acuerdo a la metodología elaborada por García (s.f), (Anexo 7).

La información que se recolectó para aplicar esta metodología fue la siguiente: sustrato disponible para fauna, perturbación de los hábitats disponibles, velocidad/profundidad, depositación 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 11.

**Cuadro 11.** Clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo

Clasificación	Puntaje
Óptimo	20 - 16
Sub - óptimo	10 - 15
Marginal	5 - 10
Pobre	0 - 5

Fuente: Armitage et al., 1992.

### 3.2.5 Evaluación estadística de la información

En esta investigación se utilizó la estadística descriptiva e inferencial para el análisis de los datos. Mediante la estadística descriptiva se implementaron técnicas de resumen y presentación de datos, entre éstos, se realizaron: cálculo de media como medida de tendencia central y los gráficos de línea para presentar la información resultante.

También se realizaron pruebas descriptivas multivariadas, como el análisis de componentes principales, cuyo fin es determinar mediante un gráfico biplot las relaciones existentes entre las variables y entre los eventos (muestreos, sitios); en éste, cada variable es transformada mediante un algoritmo matemático a un vector cuya dirección depende de las coordenadas calculadas gracias a la variabilidad de cada una de ellas.

Mediante la estadística de inferencia o pruebas de hipótesis, se realizó un análisis de normalidad por medio de la prueba de Shapiro Wilks, para determinar si los datos de cada variable se ajustan a la distribución normal como requisito para aplicar otras pruebas.

Los datos de las variables que no tienen distribución normal fueron normalizados con logaritmos neperianos. Se utilizaron pruebas con nivel de significancia de 0.05 que se muevan en las dos colas de la distribución normal.

Con el fin de determinar diferencias significativas al comparar las variables en tiempo o en espacio se aplicó una prueba de comparación de promedio de Análisis de Varianza (ANOVA) con separación de media de LSD de Fisher; ésta última con el fin de determinar específicamente el evento que está haciendo la variación.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características Morfométricas de la Microcuenca

Las características morfométricas representan el espacio que permite analizar y comprender el comportamiento, distribución y abundancia de los microorganismos que se encuentran presentes en las aguas superficiales y sirven como bioindicadores de su calidad, los resultados obtenidos para su discusión están contenidos en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Resultados morfométricos de la microcuenca El Coyote.

Parámetros	Indicadores	Resultados
<b>Forma</b>	Superficie	37.14 km <sup>2</sup>
	Perímetro	40.64 km
	Índice de compacidad (Cc)	1.88
	Razón de elongación (Re)	0.39
	Factor de Forma (F)	0.12
<b>Relieve</b>	Pendiente Media	28.8 %
	Curva Hipsométrica (R <sup>2</sup> )	0.99
<b>Red de Drenaje</b>	Afluentes	144
	Longitud total de afluentes	32.25 km
	Longitud de corriente principal	17.5 km
	Pendiente media de corriente principal	3.38 %
	Orden de corriente	4
	Densidad de drenaje	3.8 km/ km <sup>2</sup>
	Densidad de corriente	5.33 corrientes / km <sup>2</sup>

Viramontes et al. (2007) en su estudio sobre morfometría de la cuenca del río (San Pedro, Conchos, Chihuahua) menciona 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 microcuenca El Coyote.

La denominación de microcuenca está acorde al sistema de clasificación utilizado por INETER que jerarquiza las cuencas de Nicaragua haciendo uso del sistema de clasificación y codificación establecido por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA)

cuyos criterios principales son los afluentes principales y secundarios de la corriente; así un afluente que desemboca a una corriente principal de una cuenca y su área que la delimita se denomina subcuenca y la corriente que desemboca a la corriente principal de una subcuenca y su área que la delimita se denomina microcuenca. Usando estos criterios se puede utilizar la denominación microcuenca El Coyote, ya que su corriente desemboca en el cauce central de la subcuenca del Río Estelí.

Por la extensión del área de la microcuenca  $37.14 \text{ km}^2$  su denominación también se corresponde con la clasificación que propone Campos (1992) donde nombra como “cuenca pequeña” a todas aquellas que se encuentran dentro del rango de 25 a  $250 \text{ km}^2$  de extensión superficial (Anexo 8a).

Para describir su forma, los resultados encontraron un índice de compacidad o coeficiente de Gravelius (Cc) de **1.88**; utilizando la clasificación Campos (1992) significa que la microcuenca tiene una forma que se orienta de oval-oblonga a rectangular alargada, para confirmar esta apreciación se analizó su razón de elongación (Re) de **0.39**, lo que corresponde a una cuenca alargada. Cuando se relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma al cuadrado, que es lo que se conoce como factor de forma, resulta un índice de **0.12**; con este valor al representarse en una configuración geométrica y proyectarse sobre un plano horizontal (Llamas, 1993), se concluye que es oval-oblonga y alargada (Anexo 8b).

La importancia de la forma tiene que ver con la capacidad que tiene la microcuenca de administrar el volumen de agua que por ella circula, estudios comparativos sobre cuencas González (2004) menciona que la forma permite gobernar la tasa de suministro de agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura. Para Maldonado *et al.* (2001) esta característica puede ser un indicador para prevenir inundaciones o llegadas repentinas de agua en ciertos poblados cercanos a cauces o arroyos; el tiempo de concentración al cauce principal puede ser más rápido.

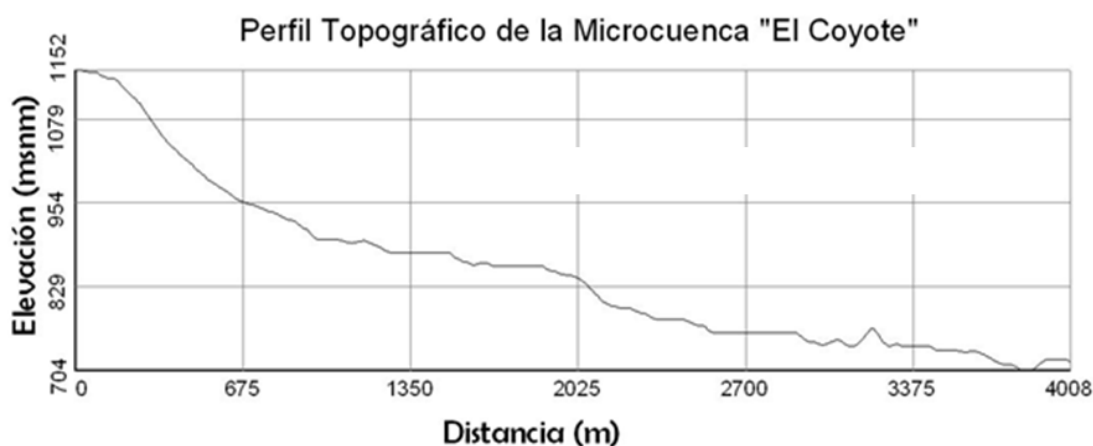
La forma de la microcuenca *El Coyote* se corresponde con los criterios expresados anteriormente, donde según lo observado durante el tiempo en que se realizó el estudio, el agua circula por un solo cauce principal de 17.5 km; esta característica intensifica el vigor de la avenida en la desembocadura y la onda de crecida se manifiesta fuertemente antes del



cauce principal, convirtiendo a la microcuenca en una zona moderadamente retardada el inicio de la precipitación y la crecida en la desembocadura.

Para analizar este comportamiento también se valoran los resultados de los parámetros de relieve, encontrándose que la pendiente media de la microcuenca es 28.8%, que significa la existencia de un territorio bastante escarpado con un potencial de escorrentía superficial alto, este porcentaje de pendiente ayuda a que se incremente el drenaje y el riesgo de erosión causada por el agua. Al respecto Navarrete (2004) señala que los valores de la pendiente media en una microcuenca presenta una dinámica, cuando se incrementa la pendiente se produce una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal, de igual manera se incrementa la velocidad de escorrentía superficial, lo que favorece su capacidad de desprender y arrastrar sedimentos a la red de drenaje (Anexo 8d).

Se confirma este riesgo de erosión cuando se analiza el perfil topográfico obtenido en la microcuenca El Coyote, donde se tomó como punto de inicio el centro del cauce principal hasta un punto del parteagua, (Figura 10).



**Figura 10.** Perfil topográfico en la microcuenca El Coyote.

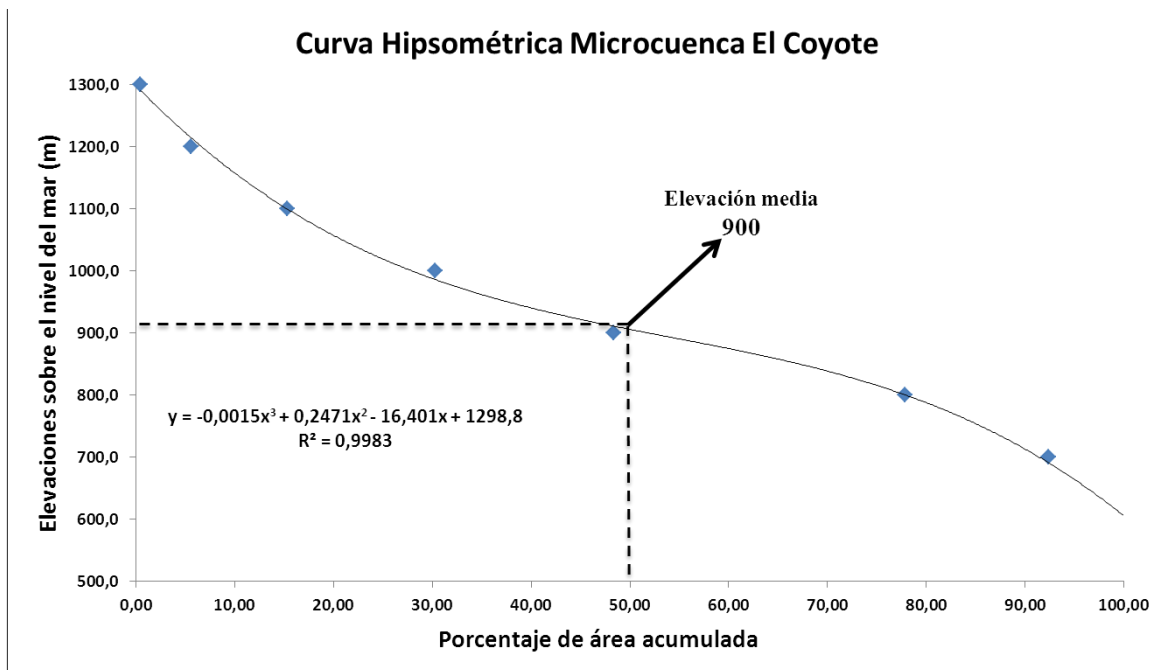
La relación entre la altitud con el área que sufre cambios por efectos de la erosión a través del tiempo permite estimar el estado actual y en que etapa de desarrollo se encuentra la cuenca, utilizando el concepto que la mayor parte de los fenómenos hidrológicos se encuentran influidos por las geoformas del terreno. Esto es posible observarlo por medio del análisis hipsométrico de la microcuenca El Coyote, Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Hipsometría de la microcuenca El Coyote.

<b>Intervalo de Curvas a nivel (msnm)</b>	<b>Cota media (m)</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Área Acumulada (%)</b>	<b>Porcentaje Acumulado (%)</b>
500-600	550	286.64	7.68	286.64	7.68
600-700	650	537.66	14.50	824.30	22.18
700-800	750	1091.74	29.47	1916.04	51.65
800-900	850	670.73	18.05	2586.77	69.70
900-1000	950	556.30	14.97	3143.07	84.67
1000-1100	1050	360.40	9.78	3503.47	94.45
1100-1200	1150	189.07	5.10	3692.54	99.55
1200-1301	1250.5	21.01	0.48	3713.55	100.03

Los datos de la distribución del análisis hipsométrico representan un coeficiente  $R^2$  igual a 0.99, aplicando el esquema de Strahler (1952), la microcuenca El Coyote se encuentra en una etapa intermedia o de transición de la fase de desequilibrio juvenil a la fase de equilibrio relativo de madurez. Es decir, que de acuerdo a su relieve no se deben esperar mayores disturbios causados por la erosión, salvo a aquellos que son normales por efectos del tiempo (Figura 11).

Como elemento de discusión es importante señalar que Guerra y González (2002) atribuyen las diversas formas de la curva hipsométrica a una actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y la degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca. En el caso de la microcuenca El Coyote, este concepto toma validez siempre y cuando se incrementan los factores que provocan los procesos de erosión, es decir, si se mantienen las actividades que generan la degradación ambiental en un tiempo menor se puede llegar a la fase de envejecimiento.



**Figura 11.** Curva hipsométrico de la microcuenca El Coyote.

Conociendo los parámetros de forma y relieve, se revisó la red de drenaje de la microcuenca, que según González (2004) son los responsables de transportar la materia y energía en el interior de toda una cuenca. Los datos obtenidos señalan la presencia de 144 cauces que suman una longitud de 32.25 km; indica una microcuenca con una densidad de drenaje muy alta (3.8 km / km<sup>2</sup>), es decir, con una capacidad de transportar altos volúmenes de agua en un tiempo mínimo sin sufrir afectaciones considerables en su relieve. Para efectos del estudio de macroinvertebrados, esta característica es importante por que implica que los organismos que ahí se encuentran deben enfrentar esta dinámica propia de la microcuenca.

Para tener esta capacidad de drenaje, la estructura de la microcuenca responde a un patrón de drenaje dendrítico, es decir, existe una red de cauces fluyendo unos sobre otros hasta llegar al cauce principal; esta característica es importante por que indica que la cuenca tiene alta capacidad de drenaje de acuerdo a su forma y relieve, su estructura le permite hacerlo de forma controlada por su alto número de afluentes.

Según Hernández (2006) una clasificación de densidad de drenaje permite la comparación de la respuesta de una cuenca con respecto a su capacidad de evacuar agua de escorrentía (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Clasificación de la densidad de drenaje según el valor calculado.

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: Hernández, 2006.

Como se muestra en el cuadro 14, la microcuenca El Coyote tiene una densidad de drenaje de **3.8** km / km<sup>2</sup>, su densidad es muy alta; esto le permite dar una respuesta rápida frente a una tormenta extrema, evacuando el agua en menos tiempo que otra microcuenca del mismo tamaño, con menor valor de densidad de drenaje.

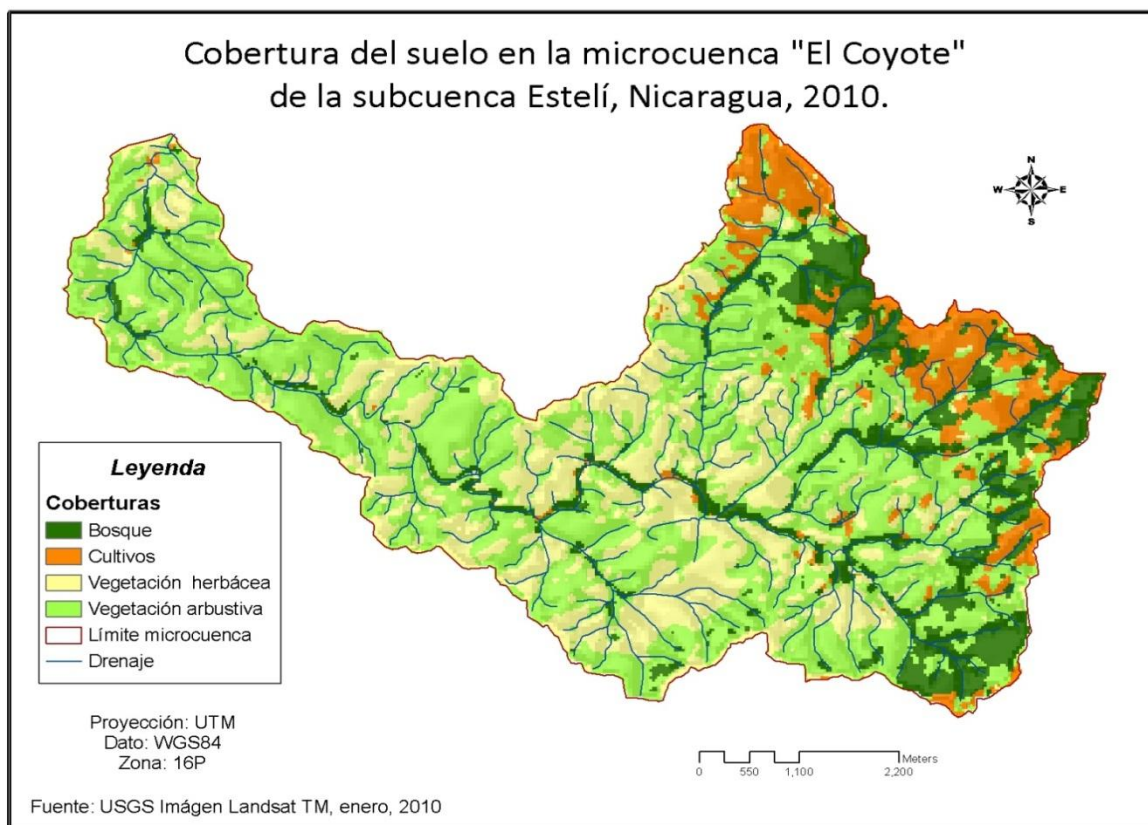
Como principal conclusión sobre las características morfométricas de la microcuenca El Coyote, tiene forma oval-oblonga–alargada, con aguas superficiales transcurriendo por un cauce principal que se alimenta de 144 cauces secundarios distribuidos en un patrón dendrítico, con una pendiente media y una densidad de drenaje que le permite gobernar la tasa de suministro de agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura y su longitud extendida, lo cual contribuye 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**

Utilizando imagen Landsat TM5, enero (2010) se obtuvo un mapa de la microcuenca El Coyote donde se identifican de una forma generalizada los diferentes usos y coberturas existentes, (Figura 12).

La generalización consistió en agrupar diferentes usos y coberturas en cuatro categorías principales tales como: las áreas de cultivos, bosques, vegetación herbácea y vegetación arbustiva.

La generalización implica cierta pérdida de información particular sobre cada cobertura existente, ya que se agrupan en categorías de fisonomía similar a fin de facilitar la comprensión del mapa final y representar de una forma simplificada las formaciones vegetales más predominantes presentes en la microcuenca.



**Figura 12.** Cobertura del suelo en la microcuenca El Coyote.

Las leyendas en el mapa se deben de considerar bajo los siguientes criterios: **Bosques**, comprenden bosques de pino, latifoliado y bosque riparió o de galería (árboles sobre riberas de los ríos). **Vegetación herbácea**, incluye áreas cubiertas por algunas gramíneas y otros tipos de herbáceas que por su tamaño, estructura y condición fenológica de estrés; se observan en la imagen como suelo descubierto.

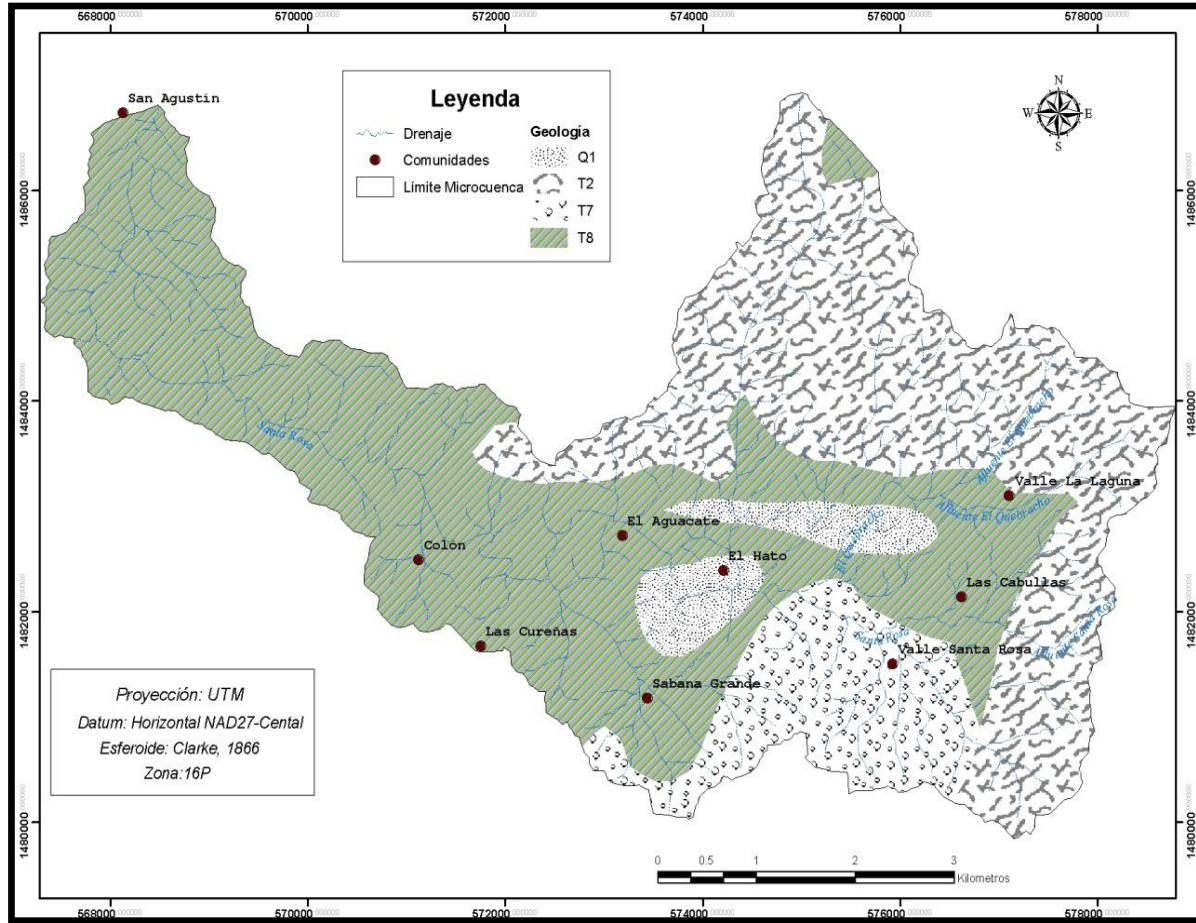
**Vegetación arbustiva**, son todas aquellas especies vegetales arbustivas y árboles latifoliados de porte mediano que por la resolución de la imagen no fue posible separar. **Cultivos**, son aquellos sitios que presentan algún tipo de cobertura sin condición de estrés, sin ser árboles ó arbustos, presentando algún tipo de vegetación herbácea con cierto vigor.

La interpretación de la imagen señala que la mayor parte de la microcuenca está cubierta por vegetación herbácea y arbustiva; se observan remanentes de bosques en áreas de la zona alta y sobre la ribera de los ríos, principalmente ubicados en el cerro el Frayle. En las visitas en la microcuenca fueron verificados como pinares y bosques latifoliados. Las áreas de cultivo se concentran en su mayoría junto a las áreas de bosques y puede estar asociado a la presencia de pequeñas parcelas de café bajo sombra y musáceas, los cultivos de granos básicos ocupan la parte media de la cuenca que en la imagen dan una respuesta espectral de una vegetación herbácea con cierto grado de vigor.

Según la clasificación Taxonomía de Suelo NRCS-USDA (2006), en la microcuenca predominan los suelos pertenecientes a los órdenes Entisol y Molisol. Existe una predominancia de los suelos de acuerdo a su altitud, en la parte alta y media predominan los ordenes Molisol y Vertisol, lo cual favorece a la zona de recarga; no obstante, en las áreas más escarpadas predomina los Entisoles. En la parte baja predomina el suelo Molisol, seguido del Entisol y Vertisol. Según este análisis los suelos apropiados para uso agrícola se encuentran en un área reducida de la parte media de la microcuenca donde predominan las rocas sedimentarias.

La mayor parte de los suelos de la microcuenca (95.36%) están en rocas volcánicas, sin fuente de aguas subterráneas; se considera que el 4.64% descansan sobre rocas sedimentarias originadas del cuaternario, con fuente de aguas subterráneas y depósitos aluviales (Figura 13).

Por las características de los suelos y el relieve en que se encuentran, se considera que el 35% (12.99 km<sup>2</sup>) de los suelos de la microcuenca El Coyote son de clase VIII, esto significa que son recomendados para la protección de la vida silvestre (Informe PIMCHAS, 2010).



**Figura 13.** Formaciones Geológicas en la microcuenca El Coyote.

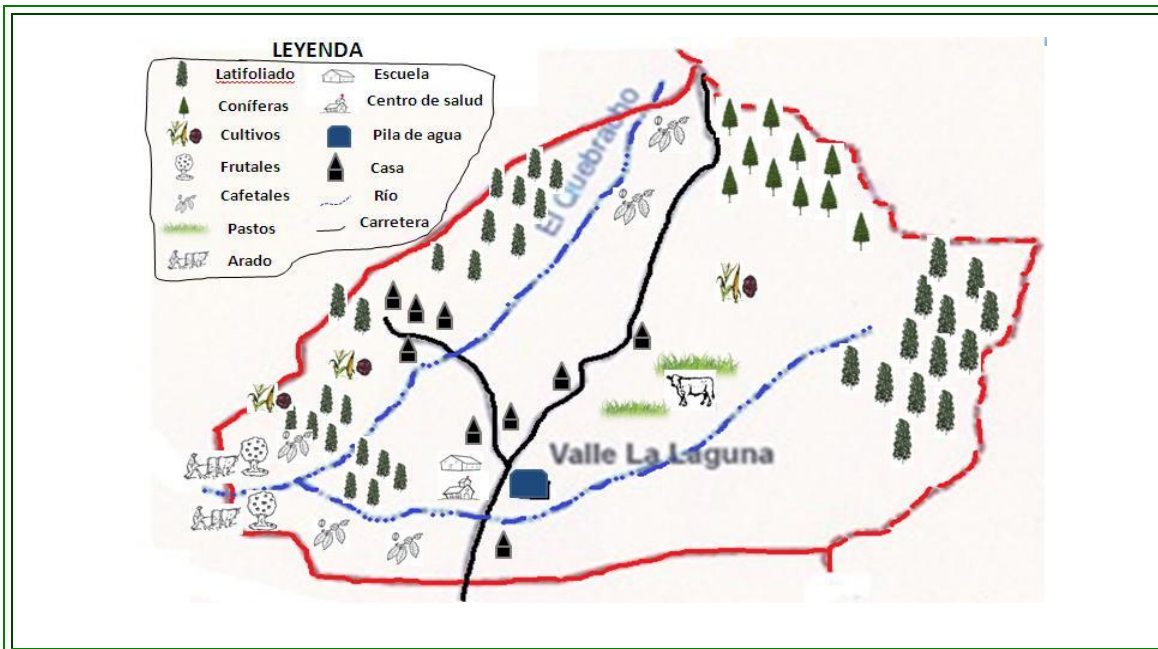
Fuente: Cartográfica, MAGFOR, 1998.

T= (terciario, rocas volcánicas) Q = (Cuaternario, rocas sedimentarias)

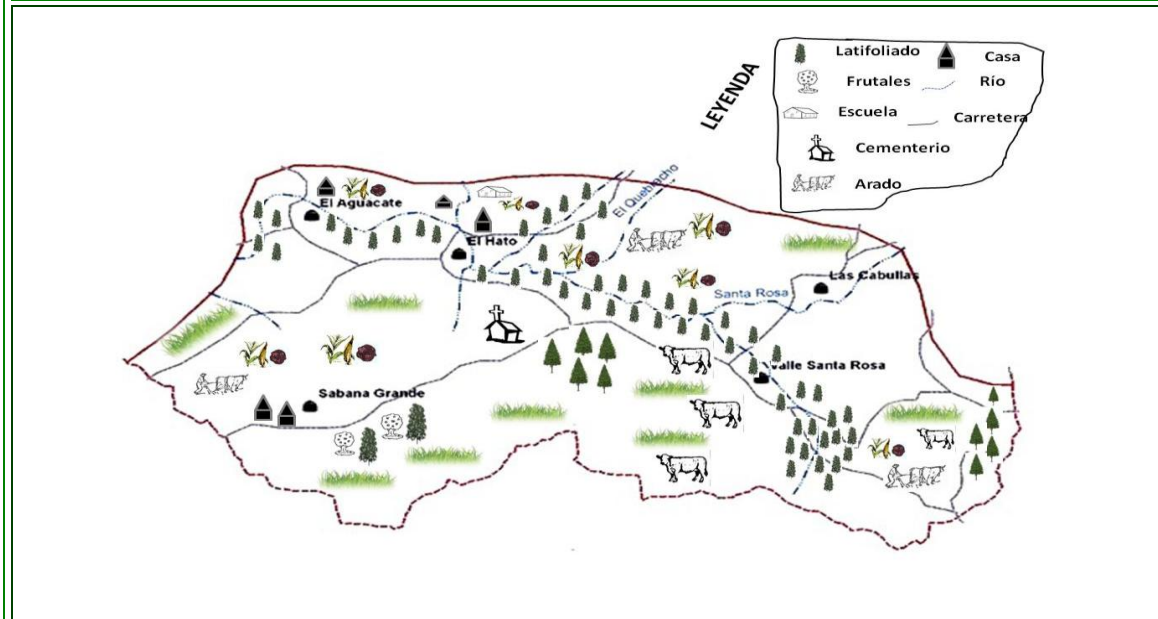
En el estudio de inventario forestal del bosque ripario o galería realizado por el Proyecto UNA - MARENA - PIMCHAS (2010) se reportaron un total de 255 individuos  $ha^{-1}$ , distribuidos en 16 familias botánicas, siendo las más representativas las pertenecientes a *Fabaceae* y *Mimosaceae*. El análisis del relieve, inventario forestal y tipo de suelo indica que la microcuenca no representa un potencial forestal de aprovechamiento; actualmente este recurso está sobre explotado y las pequeñas áreas de bosque denso y semidenso que aún existen están ubicadas en suelos con poca capacidad de recarga.

En la figura 14 se refleja el análisis participativo del uso histórico de los suelos, expresado en dibujos por los habitantes del sector en los talleres participativos, donde se rescata los conocimientos y experiencia, de comunitarios de La Laguna, El Hato y El Aguacate.





**Uso actual del suelo identificado por los comunitarios en la comunidad Valle la Laguna (2010)**



**Uso actual del suelo identificado por los comunitarios en las comunidades El Hato y El Aguacate (2010).**

**Figura 14.** Uso actual del suelo, elaborado por los comunitarios de la microcuenca El Coyote.

Los mapas elaborados por los comunitarios, presentan coincidencia con lo obtenido de la interpretación de satélite, El valle La Laguna es la parte alta de la microcuenca donde se observa la presencia de bosques de pinos y latifoliadas, cultivo de café, frutales, pastizal para ganadería y zonas de arado se ubican en los límites con la zona media.



Las comunidades del Hato y el Aguacate representan las zonas medias y baja respectivamente, se observa el incremento en pastos para ganadería, cultivos, arados y un bosque escaso principalmente riparió.

La coincidencia entre el mapa elaborado por los comunitarios y el mapa satelital refuerza la conclusión que el uso actual del suelo en la microcuenca El Coyote es inadecuado y representa una tendencia a deterioro ambiental de los recursos suelo, agua y bosques si no se reorientan las actividades que en ella se realizan.

El uso actual del suelo en la microcuenca tiene un origen histórico, en los talleres participativos se analizaron los cambios ocurridos durante el período 1980 – 2010, la descripción del proceso evolutivo partió de reconocer cuál era la situación de los bosques, la agricultura, la ganadería, la infraestructura y las personas en 1980, como manifiestan que se encontraban en 1991 y cuál es la diferencia al año 2010. Los resultados de este ejercicio se observan en la figura 15.



**Figura 15.** Diagrama histórico del uso del suelo, según los comunitarios de la microcuenca El Coyote

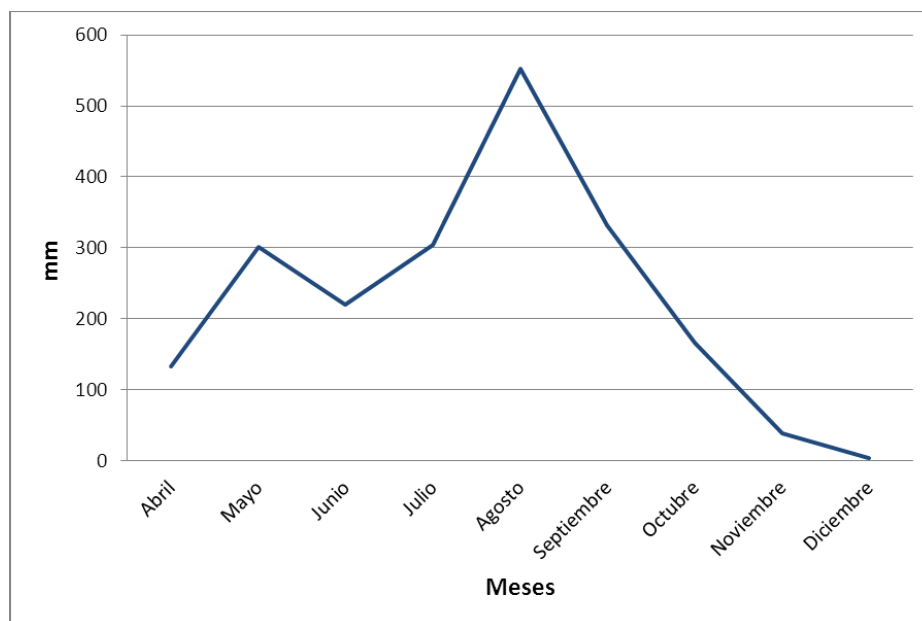
Los comunitarios coinciden en que se ha producido una disminución del bosque en general hasta en más de un 50%, y lograron asociar que con la disminución del bosque ripario o de galería también se ha presentado una disminución en la cantidad de agua superficial.

Las causas de la disminución del bosque están relacionadas con el incremento que se han presentado en los cultivos. Hasta 1980 en la zona alta el principal cultivo era café y pequeñas áreas de granos básicos; con la introducción en ese periodo de cooperativas, llegadas de colonos, y por lo tanto incremento de la población, se inicio 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 de la figura 15 indica que los cambios en el uso del suelo ocurridos históricamente en la microcuenca, son factores que han afectado directa e indirectamente la cantidad 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 microcuenca, incidiendo directamente en la calidad del agua y por ende en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al cuerpo de agua.

#### **4.3. Comportamiento de la corriente superficial de agua**

Los caudales fueron medidos en un año de precipitación que presentó un acumulado de 2,049.75 mm, según pluviómetro localizado en la parte alta de la microcuenca (figura 16). Estas precipitaciones se aproximan a las observadas en una estación localizada en el municipio de Condega, con un acumulado de 1,648.3 mm  $\pm$  34.4 para ese mismo año (Ruíz et al., 2012); ambos registros se encuentran dentro del rango histórico para la zona, ya que según INETER (2005), en el periodo de 1971 al 2000 para la zona norcentral del país, las precipitaciones media anuales oscilaron en el rango de 700 mm a 2,500 mm.



**Figura 16.** Precipitaciones registradas en la parte alta de la microcuenca El Coyote, 2010.

La corriente promedio de las aguas superficiales fue de  $0.239 \text{ m}^3/\text{s}$ , con variaciones significativas entre la época seca del mes de febrero que presenta  $0.020 \text{ m}^3/\text{s}$  al promedio alcanzado en el mes de agosto de  $0.768 \text{ m}^3/\text{s}$ ; esta situación indica altas crecidas por las precipitaciones de acuerdo a las época del año (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Promedios del aforo determinado en la microcuenca El Coyote.

Meses	Sitios Muestreados			Promedio
	Alta $\text{m}^3/\text{s}$	Media $\text{m}^3/\text{s}$	Baja $\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$
<b>Feb-11</b>	0,001	0,03	0,03	0,020
<b>Feb-10</b>	0,02	0,295	0,01	0,108
<b>Abril</b>	0,0675	0,005	0,002	0,025
<b>Promedio en la estación seca</b>				<b>0.07</b>
<b>Junio</b>	0,0615	0,94	0,367	0,456
<b>Agosto</b>	0,16	0,928	1,216	0,768
<b>Octubre</b>	0,013	0,326	0,348	0,229
<b>Diciembre</b>	0,002	0,1	0,1	0,067
<b>Promedio de la estación lluviosa</b>				<b>0.38</b>
<b>Promedio</b>	<b>0,046</b>	<b>0,375</b>	<b>0,296</b>	<b>0,239</b>

Según los sitios de muestreos el mayor caudal se alcanza en la parte media lo cual responde a las características morfológicas de la cuenca, ya que es el sector que presenta una amplia recepción de afluentes y una topografía del terreno menos accidentada.

Los valores resultantes del cálculo de los parámetros de forma ( $C_c = 1.88$ ;  $R_e = 0.39$ ;  $F = 0.12$ ), pendiente media (28.8%), pendiente media de la corriente principal (3.38%), densidad de drenaje (3.8 km/km<sup>2</sup>) y densidad de corriente (5.33 corrientes /km<sup>2</sup>) determinados en la microcuenca, la caracterizan como un área escarpada con un potencial alto de escorrentía superficial, los volúmenes de agua escurren más rápidos que otras cuencas (que tienen la misma área pero con una forma menos alargada) que sumados a un uso inadecuado del suelo y una alta pluviosidad, podrían explicar las variaciones en los volúmenes de agua que circulan en el cauce principal, las cuáles son significativas, ya que se incrementan en un 542 % de la estación seca a la lluviosa; así mismo, esta dinámica hidrológica, tiene una alta incidencia sobre la integridad física del entorno en los sitios muestreados y los efectos causados en la calidad del agua, es decir, sobre los componentes físicoquímicos y biológicos.

#### **4.4. Entorno 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, señalan un comportamiento semejante en los tres sitios con un puntaje promedio general de 11.3, que ubica a la microcuenca en la calificación subóptima (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Clasificación del entorno en la microcuenca El Coyote.

Parámetros del hábitat	Sitios de Muestras (índice)			Promedio General
	Alta	Media	Baja	
Sustrato disponible para fauna	10.57	12.29	6.8	9.9
Perturbación de hábitat	16,29	18	12.3	15.5
Velocidad Profundidad	14.86	15.14	10.7	13.6
Deposición de sedimentos	15.57	15.43	11.3	14.1
Flujo del canal	12	15.43	10.4	12.6
Alteración del canal	20	20	14	18.0
Frecuencia de hábitat	13.14	12.29	6.8	10.7
Estabilidad del canal	13.57	11.43	8.7	11.2
Protección por vegetación	3.57	8	3.1	4.9
Ancho de la zona riparia	2.57	4.71	1.3	2.9
<b>Total del Puntaje</b>	122.14	132.71	85.4	113.4
<b>Promedio</b>	<b>12.21</b>	<b>13.27</b>	<b>8.54</b>	<b>11.3</b>
<b>Calificación obtenida</b>	<b>Sub Optimo</b>	<b>Sub Optimo</b>	<b>Marginal</b>	<b>Sub Optima</b>

Los indicadores con puntuación más baja son los relativos a la protección vegetal y el ancho que presenta la zona riparia o galería, ya que de acuerdo al puntaje obtenido se clasifican como pobre; esta condición posiblemente esta asociada a las actividades humanas que utilizan los recursos del bosque para sus necesidades inmediatas de auto consumo y dañan la protección vegetal de la corriente del río, así como por actividades tales como baño de personas, lavado de ropa y toma de agua del ganado.

Otro parámetro que se encuentra clasificado como marginal es el sustrato disponible para fauna, el que se evalúa con el criterio de disponibilidad para la vida de los organismos acuáticos; de acuerdo a estos resultados, es de suponer que la abundancia de organismos a encontrarse será menor sobre todo en la zona baja que es la que presenta mayor afectación en este parámetro.

Los resultados muestran que el área de mayor afectación es la zona baja, obteniendo en su conjunto una valoración de marginal; una posible explicación es que en la misma se depositan

los sedimentos y residuos de los otros sitios, creando un entorno de mayor deterioro en su integridad física.

Existe una relación entre las características que presentan los sitios de muestreo en su entorno físico y las que presenta la microcuenca El Coyote, 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 microcuenca 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 macroinvertebrados como bioindicadores de la misma desde los sitios de muestreo sean representativos para toda la microcuenca.

#### 4.5. Calidad del sistema superficial del agua

##### *Parámetros fisicoquímicos del agua*

El Cuadro 17 contiene los resultados de los parámetros de pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto en el agua de la microcuenca El Coyote, determinado con Kit de campo.

La temperatura promedio del agua resultó ser de 22°C con un promedio de oxígeno disuelto (OD) en el agua de 5.7 mg/l y un pH de 7.5 el cual mantiene un equilibrio entre ácido y alcalino.

**Cuadro 17.** Valoración del pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto en la microcuenca El Coyote.

Sitio	PH	Promedio T <sup>o</sup> del agua / ° C	Promedio Oxígeno disuelto	Valores según Bain y Stevenson 1999 Temperatura Aceptable		Valoración de acuerdo a esta escala
Alta	7.0	21.14	5.99	21 °C	8.63	Aceptable
Media	7.7	23.43	5.75	23 °C	8.38	Aceptable
Baja	7.9	22.14	5.36	22 °C	8.53	Aceptable
Promedio	<b>7.5</b>	<b>22.2</b>	<b>5.7</b>			

El oxígeno disuelto es aceptable de acuerdo a la red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos RED MAPSA (2007) que establece que aguas con valores de 5 a 8 de oxígeno disuelto son aceptables para la vida de la gran mayoría de especies de peces y

otros organismos acuáticos. Se considera que por debajo del parámetro establecido por MAPSA, los organismos y especies más sensibles tienden a desaparecer debido a un proceso de falta de oxígeno que sufre los organismos que se conoce como hipoxia.

Entre las muchas causas posibles que provocan la disminución de OD Bain y Stevenson (1999), señalan que existe una dependencia entre la concentración oxígeno disuelto con la temperatura del agua, estableciendo una relación de estos dos parámetros que se observa en el cuadro 17; de ahí se puede deducir que la microcuenca al presentar una temperatura promedio de 22°C la cantidad recomendada de (OD) es 8.53 mg/l, es decir que, si sus rangos permiten considerarla como aceptable, los mismos se encuentran en el límite inferior que la puede convertir en hipoxia según este desbalance de relación con la temperatura.

El cuadro 18 muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua obtenidos en laboratorio, sus concentraciones permiten valorar sus nutrientes, grados de contaminación y posibilitan recomendar el uso que de acuerdo a los valores obtenidos.

Los compuestos nitritos y nitratos cuando se suman resulta un promedio de concentración de 9.75 mg/l. Según las Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüense (NTON 05 007-98/ 2000), el límite o rango máximo aceptable es de 10.0 mg/l para que el agua pueda ser de consumo humano; cuando se encuentran valores superiores al límite se recomiendan tratamientos convencionales para potabilizarla, de lo contrario se puede utilizar para riego de cultivos. De acuerdo a este parámetro el agua de la microcuenca puede ser utilizada por la población.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) incluye a los nitratos entre los componentes del agua que pueden ser nocivos para la salud. Son peligrosos en concentraciones superiores a 50 mg/l. El nitrato es uno de los más frecuentes contaminantes de aguas en áreas rurales e indican la posible presencia de otros contaminantes más peligrosos procedentes de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas, el origen de los nitratos en las aguas es principalmente por el uso de fertilizantes o presencia de estiércol.



**Cuadro 18.** Parámetros fisicoquímicos del agua obtenidos en la microcuenca El Coyote.

Sitios	Nitrato mg/l	Nitritos mg/l	Carbonatos mg/l	Bicarbonatos mg/l	Sulfatos mg/l
<b>Alto</b>	27.4	0.024	2.6	199.6	13.2
<b>Medio</b>	0.9	0.03	1.17	430.4	1
<b>Bajo</b>	0.9	0.016	3	441.6	12.3
<b>Promedio Total</b>	<b>9.73</b>	<b>0.02</b>	<b>6.77</b>	<b>357.20</b>	<b>8.83</b>
Sitios	Cloruros mg/l	Fluoruro mg/l	Fosfato mg/l	Calcio mg/l	Magnesio mg/l
<b>Alto</b>	15.8	0.21	0.1	49.1	7.6
<b>Medio</b>	25.5	0.1	0.22	83.3	28.7
<b>Bajo</b>	25.5	0.55	0.72	80.5	29.3
<b>Promedio Total</b>	<b>0.35</b>	<b>0.29</b>	<b>0.35</b>	<b>70.97</b>	<b>21.87</b>
Sitios	Sodio mg/l	Potasio mg/l	Dureza mg/l	Conductividad. Eléctrica µS/cm	
<b>Alto</b>	21.7	3	154.1	399	
<b>Medio</b>	37.5	2.4	326.1	799	
<b>Bajo</b>	44.2	4.3	321.7	821	
<b>Promedio Total</b>	<b>34.47</b>	<b>3.23</b>	<b>267.30</b>	<b>673.00</b>	

Los valores promedios de carbonatos, sulfatos, cloruros, sodio y potasio son satisfactorios, de acuerdo a lo establecido por las normas (NTON 05 007-98/ 2000) dentro de los rangos de contenido de aguas naturales, que permiten que el agua puedan ser utilizada tanto para consumo humano con previo tratamiento y para riego.

La concentración de fosfato de 0.35 mg/l muestra una tendencia de contaminación inorgánica, superior a lo establecido por las normas nicaragüenses donde el límite de concentración es 0.1 mg/l.

Según los niveles encontrados, el cuerpo de agua está en una etapa incipiente de contaminación por acumulación de fosfatos, principalmente si se observan los resultados en la zona baja y media de la microcuenca; esto puede estar asociado a que en la zona media es donde predominan la mayor parte de los cultivos y crianza de ganado y la parte baja es donde se depositan los sedimentos que son arrastrados por las corrientes.

El proceso de contaminación más común resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, la descomposición de la materia orgánica de la basura y los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados al río. Durante las épocas seca la sobrecarga de estos productos químicos, sirven de nutrientes y generan el crecimiento acelerado de vegetales, los cuales al morir y ser descompuestos por las bacterias aerobias, provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno.

Los valores encontrados en nitritos de 0.02 mg/l, muestran una tendencia de contaminación orgánica. Lo recomendable es la ausencia de nitritos en aguas de consumo humano, el nivel máximo tolerable es 0,1 mg/l, cantidades superiores hacen suponer que el agua es rica en materia orgánica en vía de oxidación.

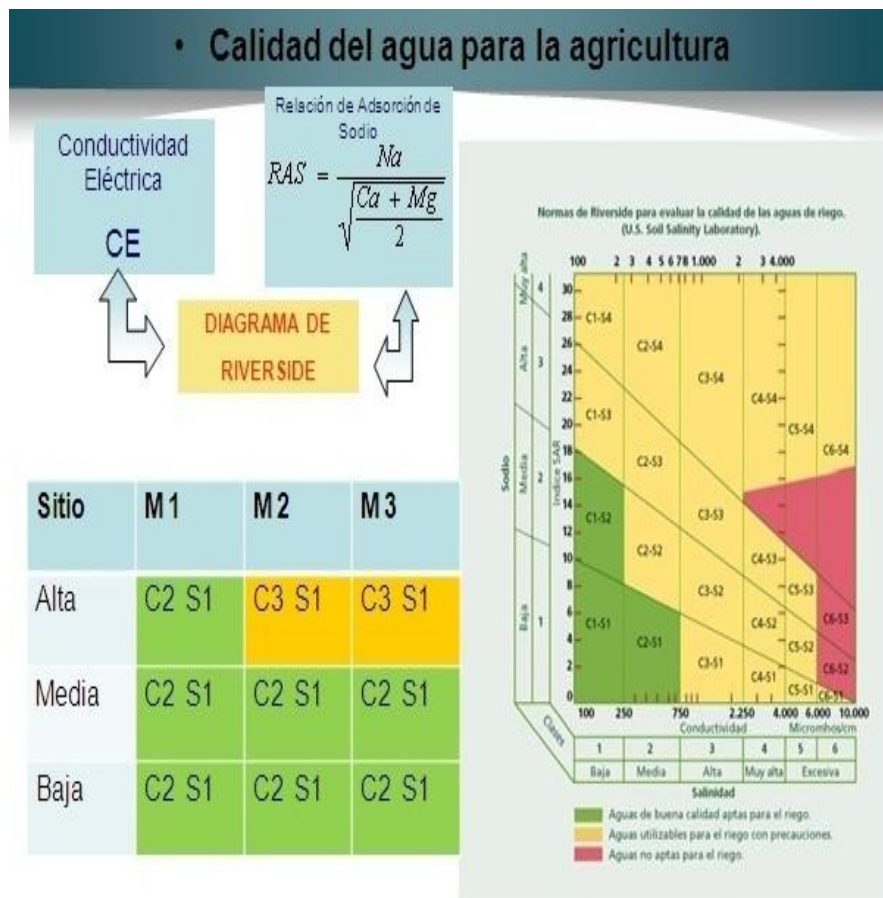
Los nitritos son compuestos no deseados en la composición de las aguas de consumo humano. Su presencia puede deberse a una oxidación incompleta del amoníaco o a la reducción de nitratos existentes en el agua. La reducción de nitratos a nitritos puede llevarse a efecto por la acción bacteriana. El agua que contenga nitritos puede considerarse sospechosa de una contaminación por materias fecales.

La cantidad de fosfato y nitritos encontrados en el agua de la microcuenca, indican una tendencia incipiente a la contaminación tanto inorgánica como orgánica, la presencia de estos iones sin un tratamiento adecuado solo permitiría el uso de estas aguas para riego de cultivos.

La dureza del agua fue de 92.7 mg/l, obtenida de la sumatoria de los iones de calcio y magnesio; estos valores clasifican las aguas de dureza media según los criterios de Roldán (1992), que asigna esta categoría a las aguas que se encuentran entre 50 – 100 mg/l.

Considerando que este parámetro se obtiene de los componentes provenientes de la disolución de rocas y minerales donde el mismo aumenta dependiendo del nivel de acidez del agua, por el estado ligeramente alcalino que presentan las aguas de la microcuenca es de esperarse que la tendencia de degradación por efectos naturales sea mínima, lo que puede incrementar esta tendencia es el uso de ingredientes químicos en el suelo, que pueden ser arrastrados posteriormente a las corrientes de agua.

La aplicando del diagrama de Riverside permite determinar la calidad del agua de acuerdo a la conductividad eléctrica (figura 17).



**Figura 17.** Calidad de agua en la microcuenca El Coyote según Diagrama de Riverside.

La conductividad eléctrica del agua fue de 673  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que según el diagrama propuesto por Riverside muestra una salinidad y sodicidad que la clasifica en la categoría C2-S1, que significa ser de buena calidad y apta para riego. Al no encontrarse variación significativa entre los muestreos ( $F= 0,6$   $p<0,55$ ) se puede generalizar la calidad obtenida.

Sin embargo, es de hacer notar que en dos muestreos de la zona alta (Valle la Laguna) los parámetros obtenidos registraron el valor promedio de 399  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; estadísticamente no varió su significancia con respecto a las otras zonas, pero la conductividad eléctrica que presenta hace posible clasificar esta área con la categoría de C3-S1, es decir que, pueden ser aguas utilizable para riego con precaución (Figura 17).

#### 4.6. Calidad del agua según DBO y DQO

El Cuadro 19 muestra los resultados obtenidos de la demanda biológica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), y la demanda química de oxígeno (DQO), así como la relación existente entre ellos en la microcuenca. Ambos parámetros se utilizan para medir la cantidad de materia orgánica presente; se basan en la cantidad de oxígeno necesario para descomponer u oxidar los productos orgánicos por medios bioquímicos ( $\text{DBO}_5$ ) o químicos (DQO) y el grado de biodegradabilidad de la misma.

**Cuadro 19.** Comportamiento DBO y DQO (mg/l) en los sitios de muestreo.

Sitios	Promedio $\text{DBO}_5$ Mg /l.	Promedio DQO mg /l.	DBO/DQO (naturaleza del sustrato)	DQO/DBO (Índice de biodegradabilidad)
<b>Alto</b>	7.7	8.3	0.93	<b>1.08</b>
<b>Medio</b>	15.2	24.2	0.63	<b>1.59</b>
<b>Bajo</b>	12.7	15	0.85	<b>1.18</b>
<b>Promedio Total</b>	<b>11.8</b>	<b>15.8</b>	<b>0.80</b>	<b>1.28</b>

El promedio de  $\text{DBO}_5$  en el agua fue de 11.8 mg/l, el cual, si es comparado con lo establecido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007), se clasifica en la categoría de

aceptable, ya que está se aplica a aguas comprendidas entre los valores  $6 < \text{DBO}_5 \leq 30$  y significa que tienen indicios de contaminación; generalmente son aguas superficiales con capacidad de autodepuración.

El DQO resultó ser de 15.8 mg/l, considerada agua de buena calidad utilizando los parámetros de CONAGUA, que establece valores  $10 < \text{DQO} \leq 20$ , en aguas superficiales y con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

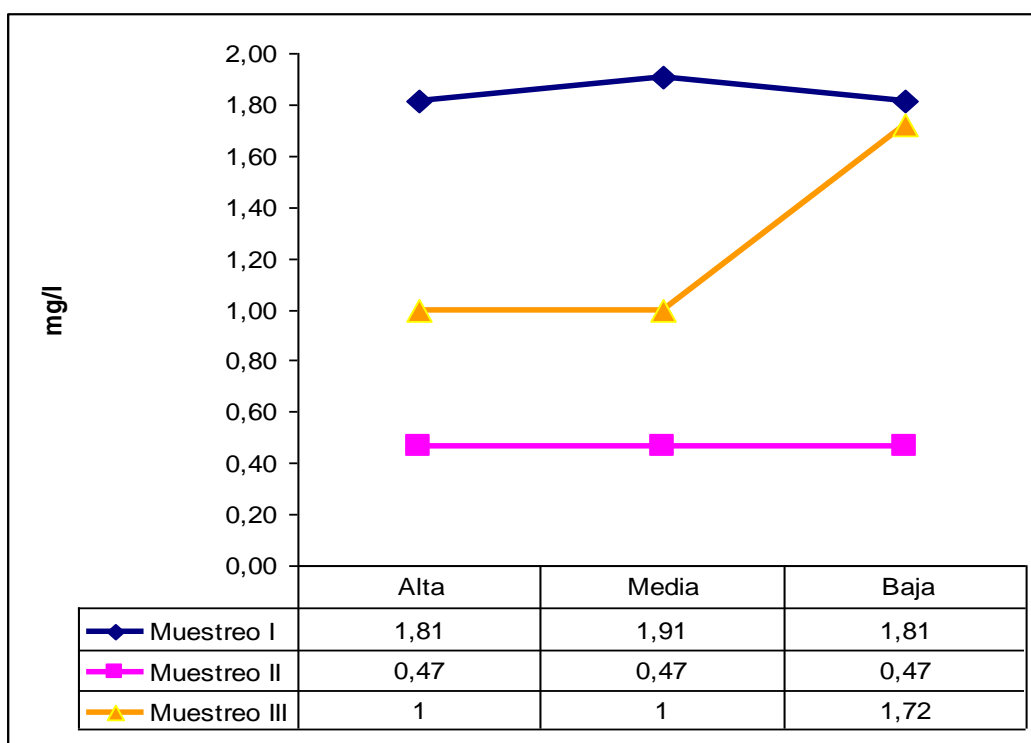
De acuerdo a estos dos parámetros, las aguas de la microcuenca se encuentran clasificadas entre los rangos de buena calidad y aceptables. El incremento del DQO con respecto al  $\text{DBO}_5$  se considera normal por las diferencias que existen entre los métodos para valorar la demanda de oxígeno y sobre el sustrato que actúan; por esa razón se utilizan parámetros multimétrico para valorar la calidad del agua.

El uso por separado de los parámetros anteriores clasifica la calidad del agua de la microcuenca en dos categorías. Sin embargo, para escudriñar un poco acerca de la posible naturaleza del sustrato se utilizó el índice de relación entre ambos componentes, que será un indicativo del tipo de materia predominante (orgánica o inorgánica) y del nivel de biodegradabilidad o de degradabilidad de la misma.

La relación  $\text{DBO}_5 / \text{DQO}$  resultó ser de 0.8, de acuerdo a las normas de la Directiva Marco de Aguas (2000/60/CE) establece rangos que a valores  $> 0.6$  los contaminantes son de naturaleza biodegradables. La relación  $\text{DQO} / \text{DBO}_5$  fue de 1.28 que según las mismas normas, valores  $\leq 1.5$  considera a la materia orgánica como muy degradable. Esta situación sugiere que la materia contenida en las aguas de la microcuenca El Coyote es de naturaleza orgánica, biodegradable y muy degradable.

Fue de interés del estudio conocer si los parámetros DBO y DQO se comportan de igual manera en los sitios de acuerdo a los muestreos realizados, con tal fin se valoró el nivel de significancia de los datos obteniendo las figuras que muestran las relaciones entre ambos.

La Figura 18, muestra que la relación DBO/DQO entre los sitios de muestreos no varió significativamente ( $F= 2,57$ ,  $p<0,082$ ), es de suponer que todos los sitios mantienen concentraciones semejantes de materia en el agua. En el tercer muestreo los valores presentaron una diferencia significativa ( $F= 233,67$ ,  $p<0,0001$ ) en la zona baja; esto podría estar asociado con una mayor deposición de materia no biodegradable en el agua, lo cual se corresponde con la valoración obtenida sobre esta zona en la evaluación del entorno.



**Figura 18.** Relación del DBO/DQO en los sitios de la microcuenca El Coyote.

La figura 19 muestra que la relación DQO/DBO entre los sitios de muestreos presenta un comportamiento semejante al obtenido entre el DBO/DQO, sin variaciones significativas entre los sitios e igual tendencia significativa en el tercer muestreo de la zona baja; lo indicativo de este resultado es que en la medida que aumentó la materia en el agua, también se incrementó el nivel de biodegradabilidad, haciendo suponer que el incremento de la materia es de origen orgánico.

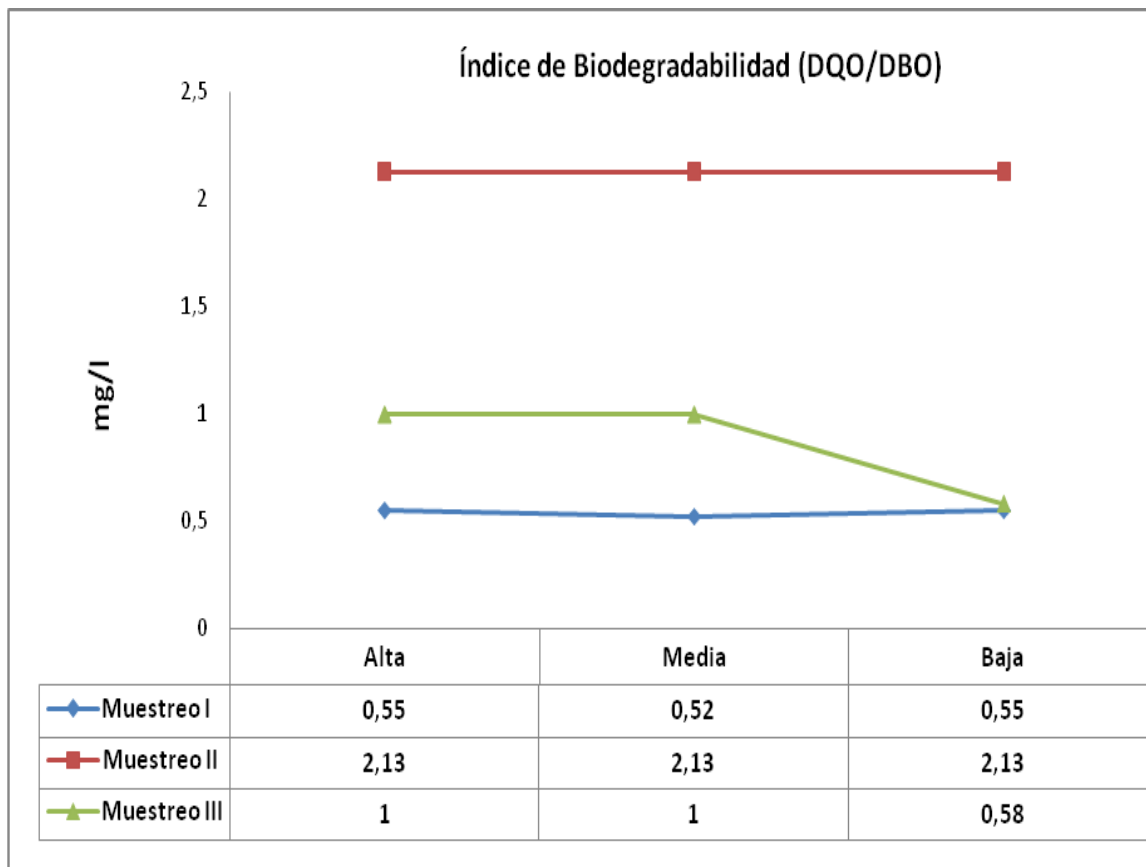


Figura 19. Relación del DQO/DBO en los sitios de la microcuenca El Coyote.

Estos resultados muestran que al utilizar ya sea la relación **DQO / DBO** o el **índice de biodegradabilidad**, la calidad de las aguas de la microcuenca en estudio resulta similar (clasificación en categoría de aceptables y de buena calidad). El área que presenta mayores concentraciones resultó ser la zona baja, lo cual pudiera estar asociada con las deposiciones de sedimentos procedentes de los otros sitios

#### 4.7. Calidad del agua por análisis bacteriológico

Según los resultados obtenidos por medio de Kit de Campo, que genera información cualitativa, todas las muestras resultaron positivas de presencia de coliformes.

El Cuadro 20 contiene los resultados de laboratorio (LAQUISA) mostrando promedios de 44.33 UFC/100 ml de coliformes fecales y 124.1 UFC/100 ml de coliformes totales.

**Cuadro 20.** Promedios de coliformes fecales y totales en la microcuenca El Coyote.

Muestreo	Coliformes fecales UFC /100ml			Promedio	Coliformes totales UFC /100ml			Promedio
	Alta	Media	Baja		Alta	Media	Baja	
<b>M1</b>	40	100	20	<b>53.3</b>	76	<b>592</b>	62	<b>243.3</b>
<b>M2</b>	0	0	0	<b>0.00</b>	4	0	4	<b>2.6</b>
<b>M3</b>	82	111	46	<b>79.6</b>	152	<b>176</b>	52	<b>126.6</b>
<b>Promedio</b>	<b>40.6</b>	<b>70.3</b>	<b>22</b>	<b>44.33</b>	<b>77.3</b>	<b>256</b>	<b>39.3</b>	<b>124.1</b>

Según estos resultados las aguas de la microcuenca no se pueden utilizar para consumo humano. La organización mundial de la salud (OMS) establece como norma 0 UFC/100ml tanto para coliformes totales y fecales. En la práctica todos los países adoptan estos valores en relación a los coliformes fecales; con respecto a los coliformes totales, existen países entre los que se encuentra Nicaragua que permiten de 2 a 4 UFC/100ml.

El uso adecuado de estas aguas tiene que ver con lo establecido por los organismos competentes en la materia, así, las Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüense (NTON 05 007-98) basa su clasificación en la presencia de coliformes dentro de un rango permisible, clasificando el agua superficial de la microcuenca El Coyote en Tipo 2 (Categoría 2-B) que son aguas destinadas para riego de cualquier tipo de cultivo y uso pecuario.

De acuerdo a los sitios de muestreos la parte media de la microcuenca es la que presenta los mayores promedios de UFC/100ml; esto se puede asociar con el mayor uso del suelo en esta área sobre todo para actividades pecuarias, lo cual se confirmó con los comunitarios en los talleres participativos, y la misma presencia humana que hacen sus defecaciones en la rivera del río. Chará (2003) & Niemi y Niemi (1991), postulan que la cantidad de coliformes en ríos y quebradas aumentan al incrementar el número de animales por hectárea.



#### 4.8. Comunidad de macroinvertebrados acuático de la microcuenca El Coyote

Se recolectaron 2,850 individuos distribuidos principalmente en los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera, Basommatophora, Tricladida, Diptera, Unionoidea, Odonata, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera y Plecoptera. Cabe destacar la presencia de individuos de la familia Perlidae a los 756 m y a los 996 m de altura, así también, los colectados en aguas categorizadas como aceptable y en el límite de dudosa, en corrientes muy lentas y en río de orden cuatro (figura 20). Según, Sánchez et al., 1989 estas son indicadoras de buena calidad del agua por ser intolerante a la deficiencia en oxígeno; pero algunas especies de la zona neotropical pueden tolerar un cierto grado de contaminación orgánica relacionada a la deficiencia en oxígeno. De acuerdo a Maes (1988) la fauna nicaragüense tiene reportadas las especies del género *Anacroneuria* que se encuentran en ríos desde 10 m a 3,500 m de altura, del orden uno a seis. Las ninfas prefieren las partes rápidas del río (velocidades hasta 2.99 ms<sup>-1</sup>) pero también pueden encontrarse en lugares sin corrientes.



**Figura 20.** Familia Perlidae indicadora de agua de buena calidad en estado de larva.

El cuadro 21 contiene la cantidad total de macroinvertebrados encontrados, el porcentaje de las familias de mayor representación y la cantidad de taxones de acuerdo a jerarquía identificados. Indica que en la microcuenca El Coyote se recolectaron 2,850 individuos, identificados y clasificados en laboratorio según jerarquía taxonómica a nivel de familia, genero o especie distribuidos en 44 familias, 16 órdenes, 7 clases y 4 phylum.

**Cuadro 21.** Porcentaje de individuos por familia encontrada en la microcuenca El Coyote.

Phyllum	Clase	Orden	Familias	Individuos encontrados	Familias más Abundancia	% del total encontrado
Platyhelminthes	1	1	1	2850	Leptohyphidae	25.58
Mollusco	2	3	6		Hydropsychidae	15.65
Anellido	2	3	3		Baetidae	15.75
Arthropodo	2	9	34		Physidae	5.65
Total encontrado	7	16	44		Chironomidae	6.28
					<b>Sub Total</b>	<b>68.89</b>
					39 familias mas	<b>31.11</b>
					<b>Total</b>	<b>100</b>

Las clases más abundantes fueron; Insecta, Gasteropoda, Oligochaeta, y Crustacea. Los órdenes más representativos fueron; Diptero, Trichoptera, Coleoptera, Ephemeroptera y Odonata. El 68.91% (1964 individuos) se encuentran distribuidos en 5 familias; Leptohyphidae (729 individuos), Baetidae (449), Hydropsychidae (446 individuos), individuos), Physidae (161 individuos) y Chironomidae (179 individuos) (figura 21). El 31.09 % (886 individuos) se encuentran distribuidos en 39 familia diferentes.

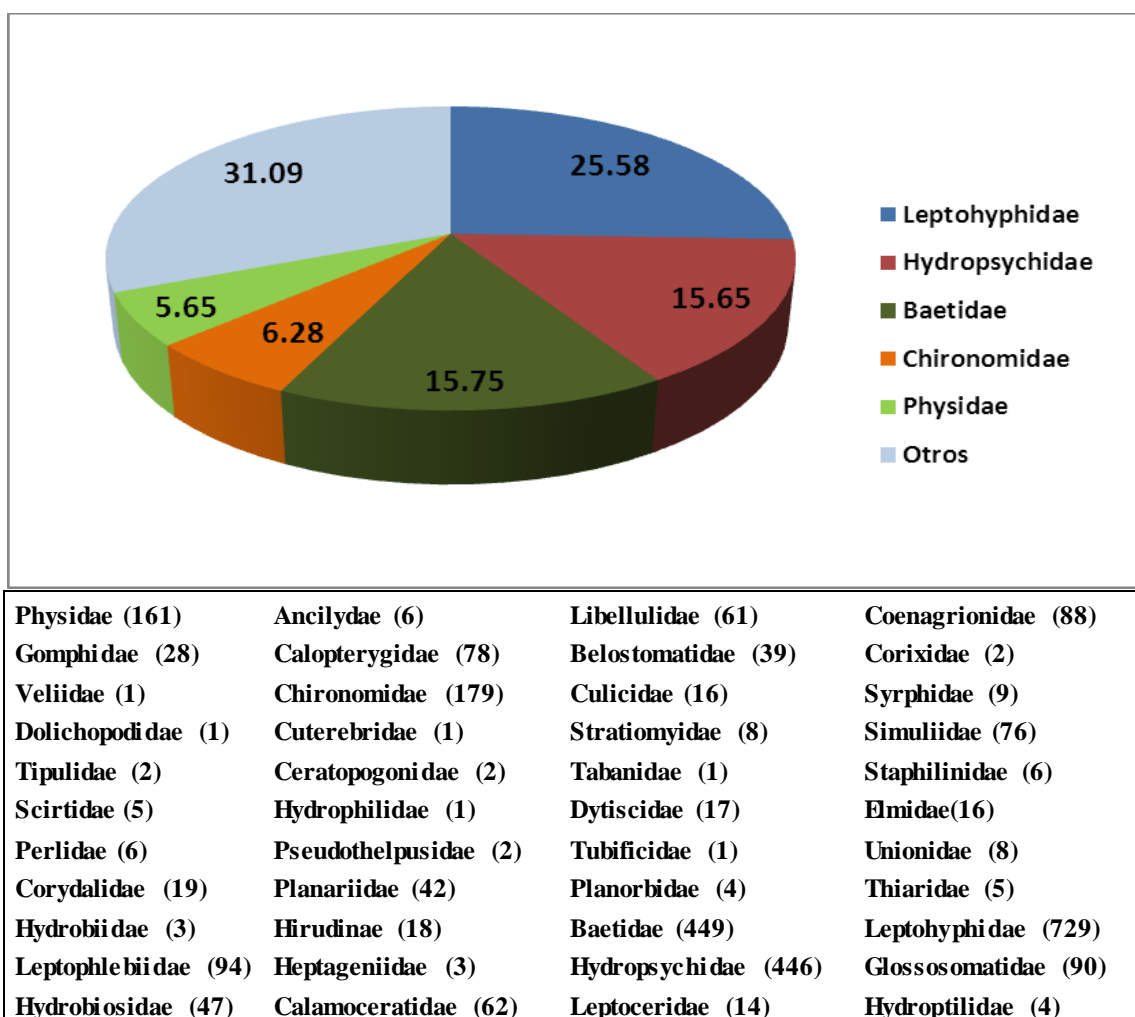


**Figura 21.** Familias con mayor frecuencia en la microcuenca El Coyote.

El puntaje para la determinación del Índice de Monitoreo Biológico–BMWP que se asigna a las principales familias encontradas son los siguientes Leptohyphidae (9), Hydropsychidae (8),

Baetidae (8), Physidae (2) y Chironomidae (2), lo cual es indicio de un potencial de agua de buena calidad de acuerdo a los macroinvertebrados existente.

La figura 22, resume la cantidad de individuos encontrados por familia en todos los muestreos, es de interés para el estudio de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua, conocer la dinámica de estas poblaciones de acuerdo a los sitios donde se encontraron, la influencia que tiene el incremento de la corriente de acuerdo a las época del año, así como la relación entre los parámetros químicos y físicos del agua con estos organismos, la integridad en el reconocimiento de los mismos permite asignar la puntuación correspondiente y establecer mediante el método BMWP la calidad de agua en la microcuenca.



**Figura 22.** Porcentajes y números de individuos encontrados por familias e identificadas en la microcuenca El Coyote.

#### 4.9. Abundancia de organismos por sitios

En los sitios categorizados como parte Alta, Media y Baja, los macroinvertebrados se encontraron en diversos porcentajes y cantidades; Alta 26.3% (750 individuos) Media 44% (1256 individuos) y Baja 29.7% (844 individuos); existe una mayor abundancia en la parte media (Hato), seguida de la parte baja (El Aguacate) y en menor porcentaje la parte alta (La Laguna). Esta mayor presencia en la zona media se corresponde con las características de la microcuenca, el uso del suelo con mayor influencia antropogénica, siembra de granos básicos, ganadería y otros; asociado también con mayor presencia de cantidades de nitritos y nitratos, fosfatos (de acuerdo a los resultados del laboratorio) y alta en coliformes fecales.

#### 4.10. Abundancia de macroinvertebrados

El cuadro 22 contiene la abundancia de las cinco principales familias recolectadas en la microcuenca El Coyote. En total se recolectaron en la época seca 2135 individuos (74.9%) clasificados en 12 órdenes y 33 familias; no obstante, en la época de lluvia se obtuvieron 715 individuos (25.1%) distribuidos en 16 órdenes y 36 familias (Anexo 10).

**Cuadro 22.** Abundancia y variación estacionaria de las principales familias de macroinvertebrados en los sitios de muestreo.

Familias	Abundancia época seca	Abundancia época lluviosa	Variación de abundancia y porcentaje	Caudal época seca	Caudal época lluviosa
Leptohiphidae	669	60	- 609 / (11.5)	0.07	0.38
Baetidae	342	107	- 235 / (3.20)		
Hydropsychidae	306	140	- 166 / (2.19)		
Physidae	136	25	- 111 / (5.44)		
Chironomidae	61	118	+ 57		
<b>Total</b>	1514	450			

De acuerdo a la estacionalidad, la riqueza, abundancia y distribución de los organismos varía. Se presenta una disminución el número de individuos en la época lluviosa; este comportamiento está relacionado con el aumento del caudal, que arrastra a los organismos como es el caso de la familia Leptohyphidae que disminuyó de 669 a 60 individuos de la estación seca a la lluviosa representando un 91% de disminución. Cuando se presentó la disminución, el caudal promedio subió de 0.07 m<sup>3</sup>/s de la estación seca a 0.38 m<sup>3</sup>/s a la lluviosa es decir se incrementó en un 542%.

La abundancia de la época seca a la lluviosa presentó una disminución del número de individuos de las familias Leptohyphidae, Baetidae, Hydropsychidae y Physidae, decreciendo en 11.5, 3.20, 2.19 y 5.44 veces respectivamente en ese período, presentándose un incremento en la familia Chironomidae.

Una de las hipótesis que podría explicar éste comportamiento de estas familias en las que unas se incrementan y otras disminuyen, es que los miembros de algunas familias no se encuentren dotados de estructuras anatómicas que les permiten sujetarse al sustrato o que exista una coincidencia entre la metamorfosis de los individuos de estados larvarios a adulto al momento que llega la época lluviosa. Riaño *et al.* (1993) señalan al respecto que, 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 colonización, por otro lado, en los periodos de agua altas o medias, el arrastre de los sustratos determina la presencia de arena, fango y piedras más finas no aptas para la presencia de macroinvertebrados que no presentan algún tipo de adaptación a dichas condiciones.

Algunas familias de dípteras con estructuras de mejor adaptación, crecimiento rápido y adaptabilidad a la disminución de la calidad del agua, tienden a incrementarse de manera significativa en la época lluviosa, lo cual se observa en los datos obtenidos con el incremento de la Chironomidae.

El cuadro 23 presenta el número de individuos que se recolectaron de acuerdo a cada muestreo y sitios, y relaciona esto con el comportamiento de las corrientes.

**Cuadro 23.** Comparación del caudal y número de individuos encontrados en los diferentes sitios de muestreo.

Muestreo	Parte alta		Parte media		Parte baja	
	# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /s	# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /s	# individuo	Caudal m <sup>3</sup> /s
M <sub>1</sub>	109	0.02	147	0.295	96	0.01
M <sub>2</sub>	84	0.0675	93	0.005	97	0.002
M <sub>3</sub>	03	0.0615	0	0.94	0	0.367
M <sub>4</sub>	52	0.16	95	0.928	102	1.216
M <sub>5</sub>	39	0.013	114	0.326	143	0.348
M <sub>6</sub>	258	0.002	399	0.1	29	0.1
M <sub>7</sub>	205	0.001	408	0.03	377	0.03
<b>Total</b>	<b>750</b>		<b>1256</b>		<b>844</b>	

Al aplicar una prueba de correlación de Pearson con datos normalizados por logaritmos neperianos, resulta el siguiente comportamiento en los sitios de acuerdo a las épocas, Alta (0.01 m<sup>3</sup>/s -0.08 m<sup>3</sup>/s), Media (0.14 m<sup>3</sup>/s -0.55 m<sup>3</sup>/s) y Baja (0.05 m<sup>3</sup>/s -0.48 m<sup>3</sup>/s) al establecerse la relación con el número de individuos se obtiene ( $r = -0.10$ ,  $p > 0.20$ ) lo cual significa que el caudal y el número de individuos tienen una relación inversa, tal como sería esperado. Aunque la relación no es significativa, la tendencia es a que el número de individuos se reduzca conforme aumenta el caudal. Quiñones et. al., 1998 observaron un efecto de la pluviosidad de la zona muestreada sobre la diversidad, ya que esta última se ve afectada por un aumento del río y arrastre o lavado de sustrato, siendo los macroinvertebrados llevados río abajo.

Existe una variación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos con la estacionalidad del río, aunque estas variaciones no son estadísticamente significativas (ver inciso 4.8), como las variaciones encontradas en los órdenes, que pasaron de 12 en la época seca a 16 en la época lluviosa ( $X^2 = 0.57$ ,  $p > 0.45$ ), (ver inciso 4.8); lo mismo ocurrió con el número de familias, encontrándose 33 familias en la época seca y 36 familias en la lluviosa ( $X^2 = 0.13$ ,  $p > 0.72$ ).

Cuando se analiza el número de individuos la abundancia es mayor en la época seca. Fueron colectados un total de 2850 macroinvertebrados acuáticos, de los cuales 74.9%

(2135) se encontraron en la época seca y 25.1 % (715) en la lluviosa; de acuerdo al análisis estadístico esta variación resultó ser altamente significativa ( $X^2= 740.15$ ,  $p<0.0001$ ).

La diferencia entre ambas variaciones significa que disminuye el número de individuos pero, no los taxones (familias) en los que se encuentran clasificados. Las cinco familias con mayor presencia, se encontraron de acuerdo a las épocas en las siguientes proporciones, del total de las muestras obtenidas en la época seca el 71% pertenecían a estas familias, en la época lluviosa fue del 63%, esto reafirma que existe una disminución de la abundancia pero no de la riqueza de familia.

En el Cuadro 24 se pueden observar los índices ecológicos determinados de acuerdo a las épocas (seca o lluviosa), este cuadro compara la abundancia y riqueza de los macroinvertebrados.

**Cuadro 24.** Índices ecológicos determinados en la microcuenca El Coyote.

Índices	Época Seca	Época Lluviosa
Abundancia	<b>2135</b>	715
Riqueza de familias	33	36
Riqueza de Margalef	4.31	5.33
Diversidad de Shannon-Wiener	2.35	<b>2.63</b>

Analizando estadísticamente la diversidad de acuerdo a las épocas, las variaciones son altamente significativas ( $t= 5.21$ ,  $p<2.18E-07$ ), resulta mayor en la época lluviosa; aunque hay un menor número de individuos que en la época seca, esto se debe a que en dicha época la mayor cantidad de individuos se concentran en tres familias que terminan dominando el ecosistema; como expresa Moreno (2001) la diversidad se reduce al aumentar la dominancia de una taxa que ejerce presión sobre las otras.

El escenario ecológicamente se refleja en una dominancia de familias en la estación seca debido presuntamente a que en éste periodo las aguas estancadas son más frecuentes a lo largo del río o de la fuente de agua y por lo tanto este permite una mayor estabilidad ambiental en las microhábitats que ocupan los organismos invertebrados.

La estabilidad se traduce en que las familias más competitivas son capaces de dominar el sistema (en especial las familias: Leptoheptidae, Baetidae y Hydropsychidae, caracterizadas por ser familias indicadoras de aguas moderadamente contaminadas) y por lo tanto la diversidad en ésta época se reduce según el índice de diversidad de Shannon – Wiener, quien da mayor importancia a la distribución equitativa del valor de importancia (en el caso de ésta investigación es la “abundancia”) entre las familias.

El alto valor del índice de diversidad determinado en la época lluviosa en comparación a la seca, se debe probablemente a la aparición de tres nuevas familias y una mayor equidad entre individuos por cada familia; es decir, una menor dominancia.

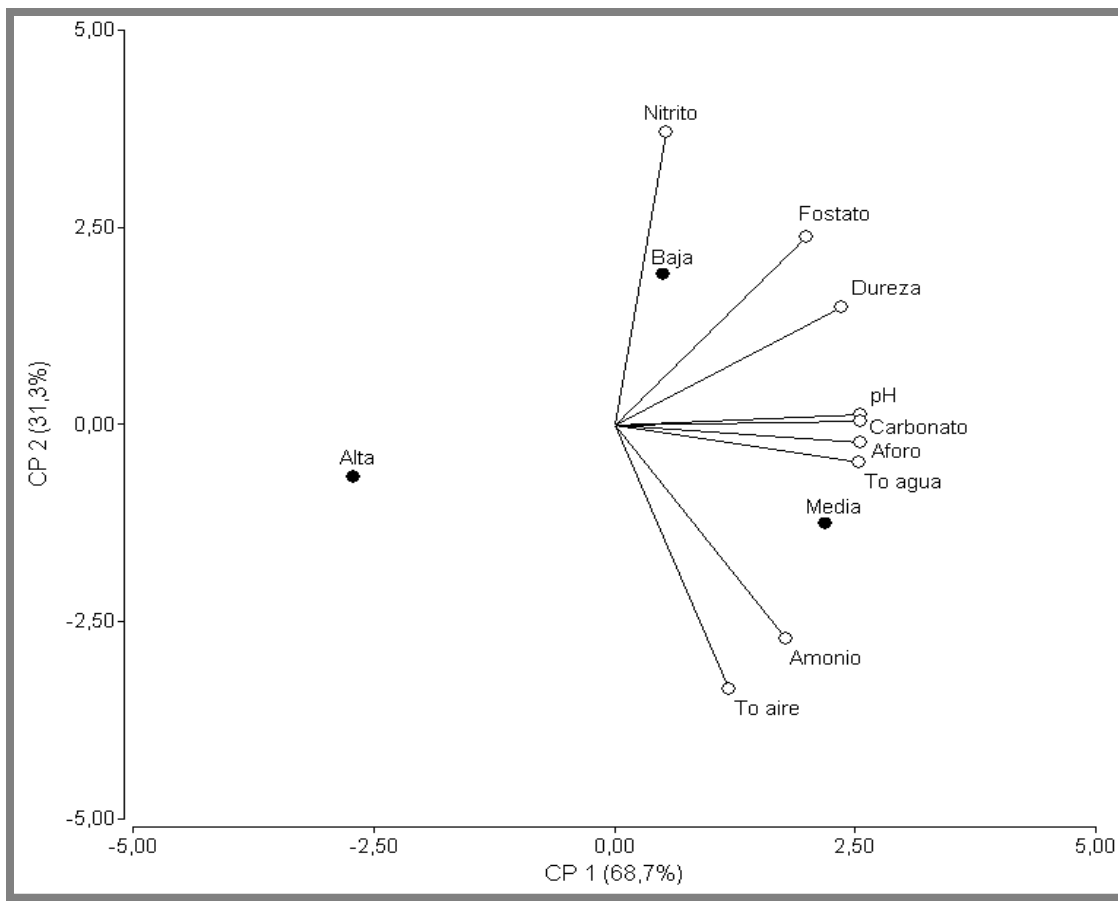
Si bien es cierto, puede no existir dominancia por las familias encontradas en la época lluviosa; sin embargo, es notorio el aumento de individuos de la familia Chironomidae en un 93.44% que son propias de ambientes urbanos y rurales, consideradas como indicadoras de calidad de ambiente por su tolerancia a factores estresantes. Según Contrera et al., (2008), la familia Chironomidae es indicadora de ambientes medianos a altamente contaminados relacionados con aumentos significativos de la dureza y el fósforo debido al arrastres de aguas con detergentes, residuos orgánicos y químicos de las actividades antropogénicas.

#### **4.11. Dinámica por sitios del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos**

##### **4.11.1 De acuerdo al sitio**

Fueron analizadas las interrelaciones entre los parámetros fisicoquímicos según los sitios, aplicando un Biplot (figura 23). El gráfico muestra que la parte alta de la microcuenca no tiene ninguna asociación con los parámetros determinados, lo que sugiere que las cantidades de dichos parámetros se mantienen en proporciones bajas con relación a los otros sitios.





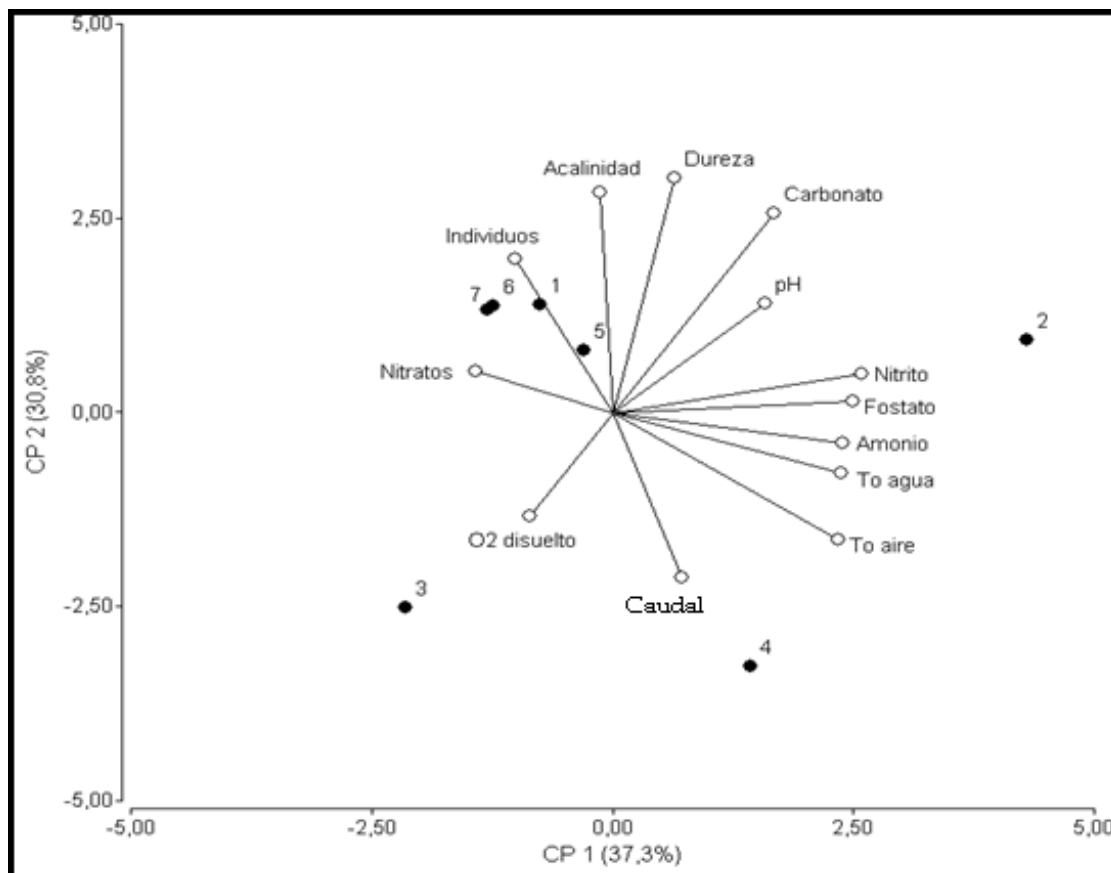
**Figura 23.** Relaciones entre los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a los sitios de muestreo en la microcuenca El Coyote.

La parte baja presenta una mayor asociación con los fosfatos, nitritos y dureza; sin embargo, la parte media se asocia mejor con el pH, carbonatos, aforo y temperatura del agua; se observa que en las zonas media y baja los fosfatos, dureza, pH, carbonato y aforo estuvieron presentes de forma cercana en ambos sitios. Los nitritos son predominantes en la parte baja, la temperatura del aire y el amonio con la parte media.

Interpretando estas relaciones, de acuerdo a los ángulos que forman los vectores entre componentes se observan relaciones débiles como el caso de los nitritos comparados con los carbonatos, pH y el aforo, es decir que, están independientes el uno con relación a los otros. También se observa relaciones negativas, es decir que el incremento de uno disminuye al otro, como ocurre entre el nitrito y el amonio en este gráfico.

#### 4.11.2 De acuerdo por muestreos

Cuando se introduce la variable individuos (organismos encontrados) para analizar su comportamiento con los parámetros fisicoquímicos según muestreo se obtienen otras relaciones (figura 24).



**Figura 24.** Relaciones entre las variables biológicas y fisicoquímicas en los muestreos de acuerdo a los sitios en la microcuenca El Coyote.

Se observa que en los muestreos 1, 5, 6 y 7 los individuos se encuentran asociados principalmente con los parámetros de nitratos, alcalinidad y dureza, de acuerdo a los ángulos que se forman entre la variable individuo y los parámetros asociados.

Es posible discutir que la mayor relación es con la alcalinidad y en menor grado con la dureza y los nitratos; es probable que la alcalinidad de las aguas es el factor asociado determinante en la presencia de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca.

El vector opuesto a la presencia de individuos es la variable del aforo, es decir se produce una relación negativa e implica que al incrementar la corriente del agua disminuye el número de

individuos; esto puede explicar los resultados obtenidos en las cantidades de individuos encontrados en cada época de muestreo.

El segundo muestreo, realizado en el mes de Abril, que es la transición entre la época seca y la lluviosa, muestra una mayor asociación entre los parámetros; nitritos, fosfatos, amonio y temperatura del agua, y según el ángulo de sus vectores, su relación es poca o ninguna con la alcalinidad o el aforo, es decir el incremento o disminución de estas variables, no son representativas en la existencia de las asociadas. La figura 22 muestra el patrón observado entre los parámetros fisicoquímicos, donde se observa una relación negativa entre los nitratos en referencia a la temperatura del aire y el amonio.

El tercer muestreo realizado en Junio, en el inicio de la época lluviosa, indica una mayor dominancia del parámetro oxígeno disuelto en el agua; y se aprecia en el modelo una relación negativa con los carbonatos y en menor medida con el pH y la dureza de las aguas. El ángulo que forma el oxígeno disuelto con la variable individuo, representa que no existe relación entre las mismas. Al no existir una relación negativa ni asociativa, se introduce un elemento de discusión; lo cual según el gráfico, se puede incrementar la cantidad de oxígeno disuelto y esto no implicará que con ello aumente o disminuya la cantidad de individuos. Cuando la cantidad de oxígeno disuelto en el agua disminuye en organismos branquiales como en los peces, se produce un estrés que los obliga a buscar oxígeno en la superficie del agua, en los macroinvertebrados debe ser un tema a estudiar para conocer el grado de tolerancia de este parámetro.

En el cuarto muestreo, la variable predominante resultó ser el Aforo, caracterizado por un incremento en los caudales, relación negativa con los individuos y en menor grado con la alcalinidad (Anexo 11).

#### **4.12. Distribución de macroinvertebrados**

De las 44 familias identificadas se determinaron lugares o cariotipos correspondientes a 25 familias de macroinvertebrados, siendo los cariotipos piedra y hojarasca donde es más frecuente localizarlos y el cariotipo sedimento el de menor (cuadro 25).

**Cuadro 25.** Distribución de macroinvertebrados en los diferentes cariotipos registrados en los sitios de muestreos de la microcuenca El Coyote.

FAMILIAS	PIEDRA	HOJARASCA	SEDIMENTO	MACROFITA	SUMATORIA
Baetidae	x	x		x	3
Calamoceratidae	x				1
Ceratopogonidae	x				1
Chironomidae		x	x		2
Corydalidae		x	x	x	3
Dytiscidae				x	1
Elmidae	x				1
Gerridae	x				1
Glossosomatidae	x	x		x	3
Gomphidae		x	x		2
Hirudinidae	x				1
Hydriptilidae	x	x			2
Hydrobiosidae	x				1
Hydrophilidae	x	x			2
Hydropsychidae	x	x	x		3
Leptohyphidae	x	x			2
Leptophlebiidae	x	x			2
Libellulidae		x			1
<b>Perlidae</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>4</b>
Physidae	x				1
Planariidae	x				1
Simuliidae	x	x		x	3
Staphilinidae		x		x	2
Thiaridae		x	x		2
Veliidae	x			x	2
<b>Sumatoria</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	

X= presencia.

Se resalta dentro del cuadro la presencia de la familia Perlidae en los cuatro cariotipos muestreados, cobrando importancia por ser una bioindicadora de aguas muy limpias y de muy buena calidad.

#### 4.13. La calidad del agua en la microcuenca de acuerdo a bioindicadores.

De las 44 familias registradas en la microcuenca El Coyote, 27.27 % presentaron valores de bioindicación BMWP/Col entre 10 y 9; 43.18 % presentaron valores entre 8 y 6 y solo el 25 %

tuvieron puntuaciones entre 5 y 1; quedando 2 familias sin puntuaciones (Heptagenidae y Cuterebridae), las cuales representan el 4.55%.

El Cuadro 26, Contiene los resultados de la calidad del agua o el estado de salud en la microcuenca El Coyote utilizando el BMWP y su nivel de contaminación de acuerdo al ASTP de acuerdo a sitios y muestreos.

**Cuadro 26.** Determinación de la calidad del agua mediante el método BMWP/Col y ASPT en la microcuenca El Coyote.

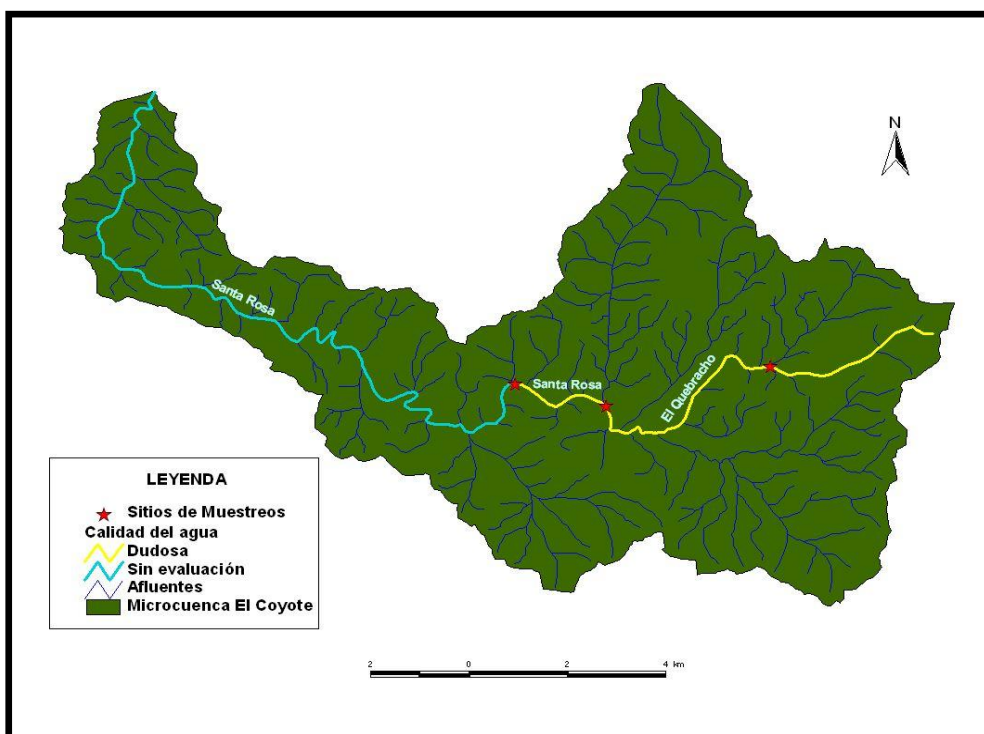
Sitio	Muestreo	Nº familia	BMWP	Calidad del agua	ASPT	Significado
Valle La Laguna (alta)	M <sub>1</sub>	15	81		5.4	
	M <sub>2</sub>	8	51		6.4	
	M <sub>4</sub>	9	59		6.5	
	M <sub>6</sub>	9	57		6.3	
	M <sub>5</sub>	5	38		7.6	
	M <sub>7</sub>	12	86		7.2	
<b>Promedio</b>			<b>62.00</b>	<b>Aguas aceptables en el límite de dudosas</b>	<b>6.4</b>	<b>Moderadamente contaminada</b>
El Hato (media)	M <sub>1</sub>	9	63		7	
	M <sub>2</sub>	11	73		6.6	
	M <sub>4</sub>	13	85		6.5	
	M <sub>5</sub>	7	47		6.7	
	M <sub>6</sub>	6	41		6.8	
	M <sub>7</sub>	8	58		7.3	
<b>Promedio</b>			<b>61.17</b>	<b>Aguas aceptables en el límite de dudosas</b>	<b>6.7</b>	<b>Moderadamente contaminada</b>
El Aguacate (baja)	M <sub>1</sub>	7	55		7.9	
	M <sub>2</sub>	10	55		5.5	
	M <sub>4</sub>	6	40		6.7	
	M <sub>5</sub>	8	55		6.9	
	M <sub>6</sub>	6	41		6.8	
	M <sub>7</sub>	13	96		7.4	
<b>Promedio</b>			<b>57.00</b>	<b>Aguas dudosas</b>	<b>6.87</b>	<b>Moderadamente contaminada</b>
<b>Promedio Total</b>			<b>60.06</b>	<b>Aguas dudosas en el límite para ser aceptables</b>	<b>6.71</b>	<b>Moderadamente contaminada</b>

Los elementos para determinar la calidad del agua en la microcuenca El Coyote son las 44 familias de macroinvertebrados encontradas, identificadas y clasificadas (Anexo 9). A cada familia se le asignó la puntuación correspondiente como bioindicador, utilizando los valores establecidos por Zamora (2005), el puntaje promedio obtenido por taxón (familia) representa el total del BMWP/Col. Cada muestreo produce su valor de BMWP esto de acuerdo a la cantidad de familias encontradas y su valor asignado.

Una vez que se obtuvo el valor BMWP/Col que indica la calidad del agua, se trató de conocer el nivel de contaminación haciendo uso del índice ASTP, que se obtiene de dividir el valor BMWP entre el número total de familias que se encontraron.

El promedio obtenido de valor BMWP/Col en la microcuenca es de **60.06**, que ubica la calidad del agua en el límite entre dudosa y aceptable, el promedio de ASPT fue de 6.71, indicando que son aguas moderadamente contaminadas.

La figura 25, indica la calidad del agua que se encontró de acuerdo a los sitios de muestreo, La parte alta presentó valor promedio BMWP/Col de **62.0** y ASTP de **6.4**, esto significa que el agua en esa zona se encuentra entre el rango de aceptable y moderadamente contaminadas.



**Figura 25.** Mapa calidad de agua de la microcuenca El Coyote.

En la parte media de la microcuenca los valores de BMWP/Col fueron de **61.17** y ASTP de **6.7**, por lo tanto, es aceptable y moderadamente contaminada. En la parte baja, los valores de BMWP/Col fueron de **57.0** y ASTP de **6.87**, su valoración corresponde a aguas dudosas y moderadamente contaminadas. Con esta información podemos postular que estas aguas se encuentran en el límite entre dudosas/aceptables y moderadamente contaminadas. Adicionalmente, con el análisis de conglomerados (Anexo 12) se obtuvieron los conjuntos de macroinvertebrados acuáticos agrupados sobre la base de los valores de DBO y DQO determinados en los sitios de muestreos (Cuadro 27). Este cuadro también muestra los valores del BMWP/Col y ASTP determinados para las familias que constituyen cada uno de los subgrupos; cabe enfatizar que el subgrupo 3, presente en condiciones de altos valores de DBO y DQO, aglutinó familias que se encuentran preferencialmente en aguas de buena calidad. Los resultados obtenidos nuevamente coinciden con el sistema multimétrico utilizado y resumen las características de la calidad del agua de la microcuenca.

**Cuadro 27.** Conjuntos de macroinvertebrados acuáticos establecidos por DBO y DQO, y calidad del agua de la microcuenca El Coyote.

Media aritmética		Grupo	Sub grupo	Familia	BMWP/Col	ASTP	Calidad
DBO	DQO						
6.45	4.85	I	1	Stratiomyidae	5	7.3	Acceptable
				Elmidae	7		
				Calamoceratidae	10		
			2	Hydrobiosidae	9	7.3	
				Physidae	3		
				Calopterugidae	8		
				Hirudinea	9		
Coenagrionidae	9						
Belostomatidae	6						
16.61	25,28	II	3	Staphilinidae	7	8.5	Acceptable
				Simuliidae	9		
				Perlidae	10		
				Leptoceridae	8		
13.70	18.27	II	4	Hydropsychidae	8	6.5	Dudosa
				Dytiscidae	8		
				Chironomidae	2		
				Corydalidae	6		
				Leptohyphidae	7		
				Baetidae	8		
			5	Veliidae	8	6.5	
				Libellulidae	6		
				Leptophlebiidae	9		
				Gomphidae	9		
				Syrphidae	2		
				Scirtidae	9		
				Hydrophilidae	4		
				Heptageniidae			
				Corixidae	7		
				Thiaridae	5		
				Planariidae	6		
				Glossosomatidae	10		
				Culicidae	3		
Planorbidae	6						
Ancilydae	7						



## V-. CONCLUSIONES

Las características morfométricas de la microcuenc en combinación con el uso actual del suelo influyen la ecología de la misma y su funcionamiento hidrológico. Lo cual es confirmado por el análisis histórico participativo.

Los aumentos de los caudales y las actividades antropogénica tienen influencia sobre la abundancia y diversidad de los macroinvertebrados acuáticos.

Los análisis realizados al agua muestran una tendencia de contaminación, no son aptas para el consumo humano; sin embargo, podrían ser utilizadas para riego en cualquier tipo de cultivo.

Aproximadamente un 69% del total de individuos identificados se concentró en las familias: Leptohyphidae, Hydropsychidae, Baetidae, Physidae y Chironomidae. La periodicidad entre la estación seca y lluviosa afectó principalmente la abundancia de estas familias, no obstante la riqueza no fue significativamente afectada.

De acuerdo al método BMWP/Col las aguas son clasificadas como aceptbles con moderadas contaminación, lo cual se corrobora con los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados.

El uso de un sistema multimétrico, permite incrementar la robustez y efectividad en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la microcuena El Coyote.

## **VI- RECOMENDACIONES**

Implementar un ordenamiento territorial en la microcuenc con el propósito de mejorar la capacidad de recarga hídrica y reducir la degradación de la microcuenca.

Preparar una guía de campo, con los resultados y el material visual producto de este estudio, la cual podría ser un instrumento de evaluación rápida y efectiva del recurso agua superficial brindando así información del ecosistema en un programa de monitoreo.

Para una mayor aproximación a la realidad ambiental, se recomienda un número equilibrado de muestreo en el espacio y el tiempo.

Adecuar los instrumentos utilizados, para la evaluación de la integridad física del entorno, a la realidad de la zona estudiada.

Promover el uso del método BMWP/Col a través de capacitaciones a técnicos y comunitarios involucrado con la evaluación de calidad del agua.

Profundizar en el conocimiento técnico para el uso de los macroinvertebrados acuáticos, como una herramienta útil en la valoración del control de la calidad ecológica.

Los resultados alertan acerca de la importancia de continuar el trabajo en el resto de la microcuenca contribuyendo así con comunitarios y organizaciones que intervienen en la gestión integral de la microcuenca.

## 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) Almería, 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.
- Bonada, N; Rieradeval, M; Prat, N. 2000.** Temporalidad y contaminación como claves para interpretar la biodiversidad de macroinvertebrados en un arroyo mediterráneo (Riera de Sant Cugat, Barcelona). *Limnetica*, no.18:81-90.
- 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.
- Campo, A. 1999.** Proceso de Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 2ª edición. San Luis Potosí, 86NFPA86. p 33-34.
- Campos, A. 1992.** Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. p. 22-23.
- Chará, J. 2003.** Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Cali, CO. CIPAV. 52 p.
- Di Rienzo J.A; Casanoves, F; Balzarini; M.G; González, L; Tablada, M; Robledo, C.W. 2008.** InfoStat: Manual de Usuario, FCA, Universidad Nacional de Córdoba (en línea) Argentina. Consultado en ene. 2011. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; González, L; Tablada, M; Robledo, C.W. 2010.** InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba (en línea) Argentina. Consultado en ene. 2011. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- DMA (La Directiva Marco del Agua, ES). 2006.** Elementos para la clasificación de las masas de agua. (en línea),-- Consultado 14 y mar 2011. Disponible en <http://www.ciccp.es/revistait/.../01-Francisco%20Bueno%20Hernández.C3%A1ndez.pdf> Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat
- Doffo, N; González, B. 2005.** Caracterización de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: un análisis estadístico. Argentina. *Revista de Asociación Geológica* 60(1): s.p

- 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](#).
- Figueroa, R; Palma, A; Ruiz, V; Niell, X. 2007.** Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80:225-242.
- Fisher, R.A. 1936.** The Use of Multiple Measurements in Taxonomy Problems. *Annals of Eugenics*, 7:179-188.
- Gamboa, M; Reyes, R; Arrvillaga, J. 2008.** Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Bol Mal Salud Amb.* 48 (2) Sitio Universidad Nacional de Córdoba (en línea) Argentina. Consultado en ene. 2011. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- 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.
- Geilfus, F. 1997.** 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. IICA GTZ, San Salvador, El Salvador. 208p.
- 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.
- Gregory J.K; Walling E.D. 1985.** *Drenage Basin Analysis.* The Bath Press. Victoria, Australia. 451 p.
- Guerra, F; González, J. 2002.** Caracterización de la cuenca de la Quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, Universidad de los Andes, San Cristóbal, Venezuela 7:88-108.
- Hawker, H. A. 1997.** Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Wat. Res* 32:964-968.
- 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).

- Hooda, P; Edwards, A; Anderson, H; Miller, A. 2000.** A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment* 250:143-167.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos y NI). 2005.** VIII Censo de Población Estadístico de Condega (en línea). Estelí, Nicaragua. Consultado en marzo 2011. Disponible en <http://www.unfpa.org.ni/publicoc/Pob%20y%20Desarrollo%20Estudios%20e%20inve stigaciones/Censo%20Pob.%20Cifras%20Oficiales.pdf>
- INETER (Instituto Nacional de Estudios Territoriales). 2005.** Normas históricas “Comportamiento de las temperaturas medias anual del periodo 1971 al 2000”. Managua, Nicaragua.
- Krebs, Ch. 1985.** Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. 2. ed. Editorial Harla.
- 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.
- Llamas, J. 1993.** Hidrología General, Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 402 p.
- Maes, J. M. 1988.** Catálogo de los Ephemeroptera y Plecoptera de Nicaragua. *Rev. Nica. Ent.*, 2: 49-50
- Maldonado, L.O; Palacios, V.J. Oropeza, L.R; Springall, G; Fernández, D.S. 2001.** Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca de Iztapa, Guatemala. *Agrociencia* 35(3):335-345.
- Margalef, R. 1983.** Limnología. Ediciones Omega. Barcelona: 1010 pp.
- Mason, CF. 1991.** Biology of freshwater pollution. London.
- McIntosh, R. P. 1967.** An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology* 48(3):392-404.
- 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 88NFPA. *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.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud, US) 1987.** Guidelines for drinking water quality, supporting information.
- PIMCHAS (Proyecto Integral de Manejo de Cuenca Hidrográfica Agua y Saneamiento). 2010.** Informe técnico del proyecto UNA-MARENA-PIMCHA.
- Quiñones, M. L, J. J. Ramírez & A. Díaz. 1998.** Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivados en la zona del rital del río Medellín. *Actual Biol* 20(69): 75-86.
- RED MAPSA (Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, UY). 2007.** Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto.
- 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.
- Rohlf, F. J. Sokal, R.R. 1995.** Statistical tables. W. H. Freeman and Co. New York. 3. ed, 199 p.
- 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; Ramírez, J.J. 2008.** Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. 2. ed, p. 324-346.
- Ruiz, V. 2010.** Comparación de dos variables climáticas: temperatura y precipitación. Instalada en ese año por la Facultad Regional Multi- disciplinaria. -- (en línea), -- Consultado 21 y ene 2011. Disponible en <http://www.farem.unan.edu.ni/revistas/index.php/RCientifica/article/.../19>. Formato de archivo: PDF/Adobe Acrobat - Vista rápida
- Sánchez-Ortega, A; Alba-Tercedor, J. 1989.** Características de fenología y distribución de las especies de Plecópteros de Sierra Nevada (*Insecta: Plecoptera*). *Boletín Asoc. esp. Entom.* - Vol. 13: p 213-230. Salamanca (en línea). España. Consultado en 25 y nov. 2010. Disponible en [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442007000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442007000100008&script=sci_arttext)

- Schumm, S. 1956.** The fluvial System. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc. New York. 338 p.
- Shannon, C. E; Weaver, W. 1949.** The mathematical theory of communication. The University of Illinois. Urbana, IL. 125 p.
- Sokal, R. R; Michener, C.D. 1958.** A Statistical Methods for Evaluating Systematic Relationships. University of Kansas Science Bulletin, 38:1409-1438.
- Springer, M. 2010.** Capítulo 7: Trichoptera. Órdenes de insectos y sus características. Revista de Biología Tropical, 2010. Revista de Biología Tropical. vol.58:4 San José (en línea). Costa Rica. Consultado 28 y mar 2012. Disponible en [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442010000800007&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442010000800007&script=sci_arttext&tlng=en)
- Strahler, A. 1974.** Geografía física. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 765 p.
- Tomanova, S; Tedesco, PA. 2007. Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de Anacroneuria spp.(Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. Revista de Biología Tropical. -- (en línea), --Consultado 12 y jul 2011. Disponible en [http://www.farem.unan.edu.ni/revistas/public/journals/4/pageHeaderTitleImage\\_es\\_ES](http://www.farem.unan.edu.ni/revistas/public/journals/4/pageHeaderTitleImage_es_ES).
- Torrvalva, M. M; Oliva; N; Uibera-Pascal, A; Malo, J; Puig, A. 1995.** Efectos de la erosión sobre macroinvertebrados en el río Segura, España. Limnetica, 2(2):
- USEPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos y US). 2003a.** Biassessment and Biocriterio. Universidad Nacional de Córdoba (en línea) Argentina. Consultado en ene.2011. Disponible en <http://www.Epa.gov/waterscience/biocriteria/glossary.htm>
- USEPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos y US). 2003b.** Biassessment and Biocriterio. Universidad Nacional de Córdoba (en línea) Argentina. Consultado en ene. 2011. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.
- Ward, J.H. 1963.** Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association, 58:236-244.

**Wikimedia, Inc. 2011.** Ephemeroptera: orden de insectos pterigotos, conocidos vulgarmente como efímeras, efémeras o cachipollas - Wikipedia, la enciclopedia libre. -- (en línea). -- Consultado 10 y mayo 2012. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Ephemeroptera>

**Wikimedia, Inc. 2011.** Trichoptera - Wikipedia, la enciclopedia libre. Características. -- (en línea), -- Consultado 10 y mayo 2012. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Trichoptera>

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

**Zuñiga 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.



## ANEXOS

Anexo 1. Registró fotográfico de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca El Coyote.

### Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 10



*Perlidae*



*Unionidae*

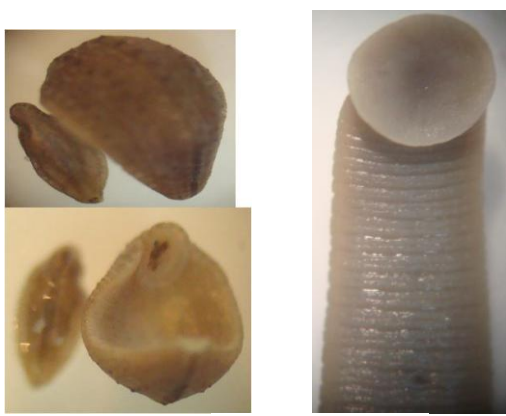


*Glossosomatidae*



*Calamoceratidae*

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 9



*Hirudinidae*



*Hydrobiosidae*



*Simuliidae - Larva*



*Coenagrionidae*



*Scirtidae*



*Leptophlebiidae*



*Gomphidae*

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 8



*Dytiscidae*



*Veliidae*



*Hydropsychidae*



*Baetidae*



*Calopterygidae*



*Leptoceridae*



*Gerridae*



*Pseudothelphusidae*



Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 7



*Elmidae*



*Staphilinidae*



*Planorbidae*



*Ancylidae*



*Leptohipidae*



*Corixidae*



*Hydrobiidae*

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 6



*Lebellulidae*

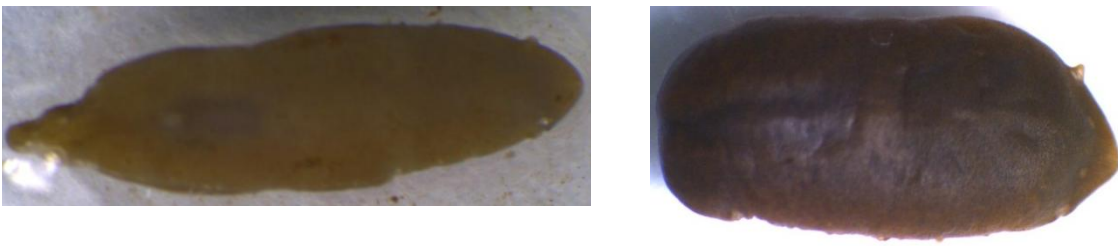


*Belostomatidae*



*Dolichopodidae*

*Corydalidae*



*Planariidae*

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 5



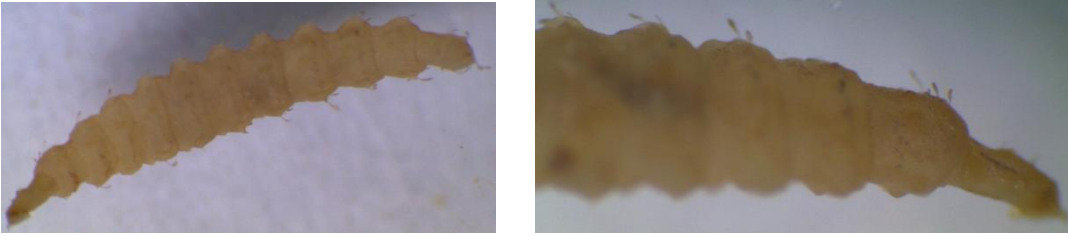
*Stratiomyidae*



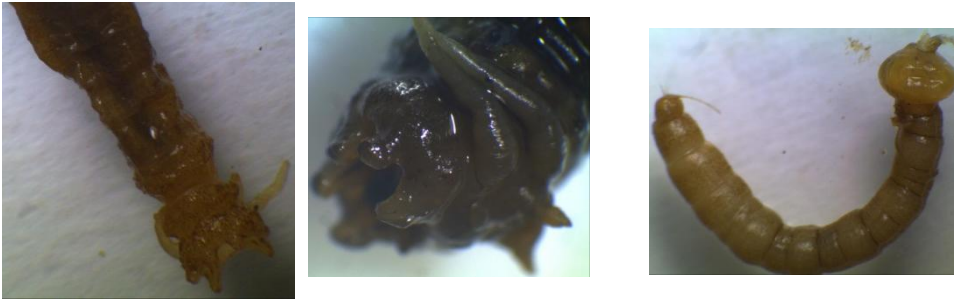
*Thiaridae*



Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 4



*Ceratopogonidae*

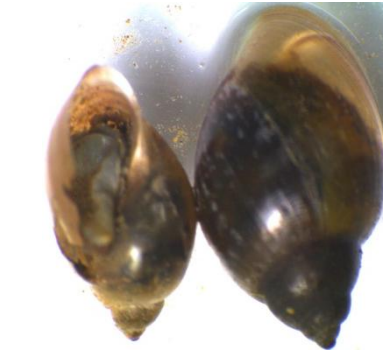


*Tipulidae*



*Hydrophilidae*

Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 3



*Physidae*



Cuarto Estado Larval.

*Culicidae*



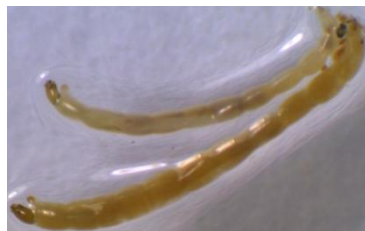
Pupa *Culicidae*



**Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 2**



*Syrphidae*



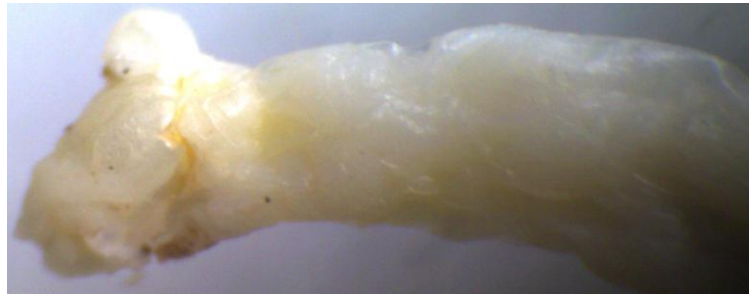
*Chironomidae*

**Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col: 1**



*Tubificidae*

**Macroinvertebrados con puntaje BMWP/Col:**  
**s.i: sin puntaje**



*Cuterebridae*



*Heptagenidae*

S.I

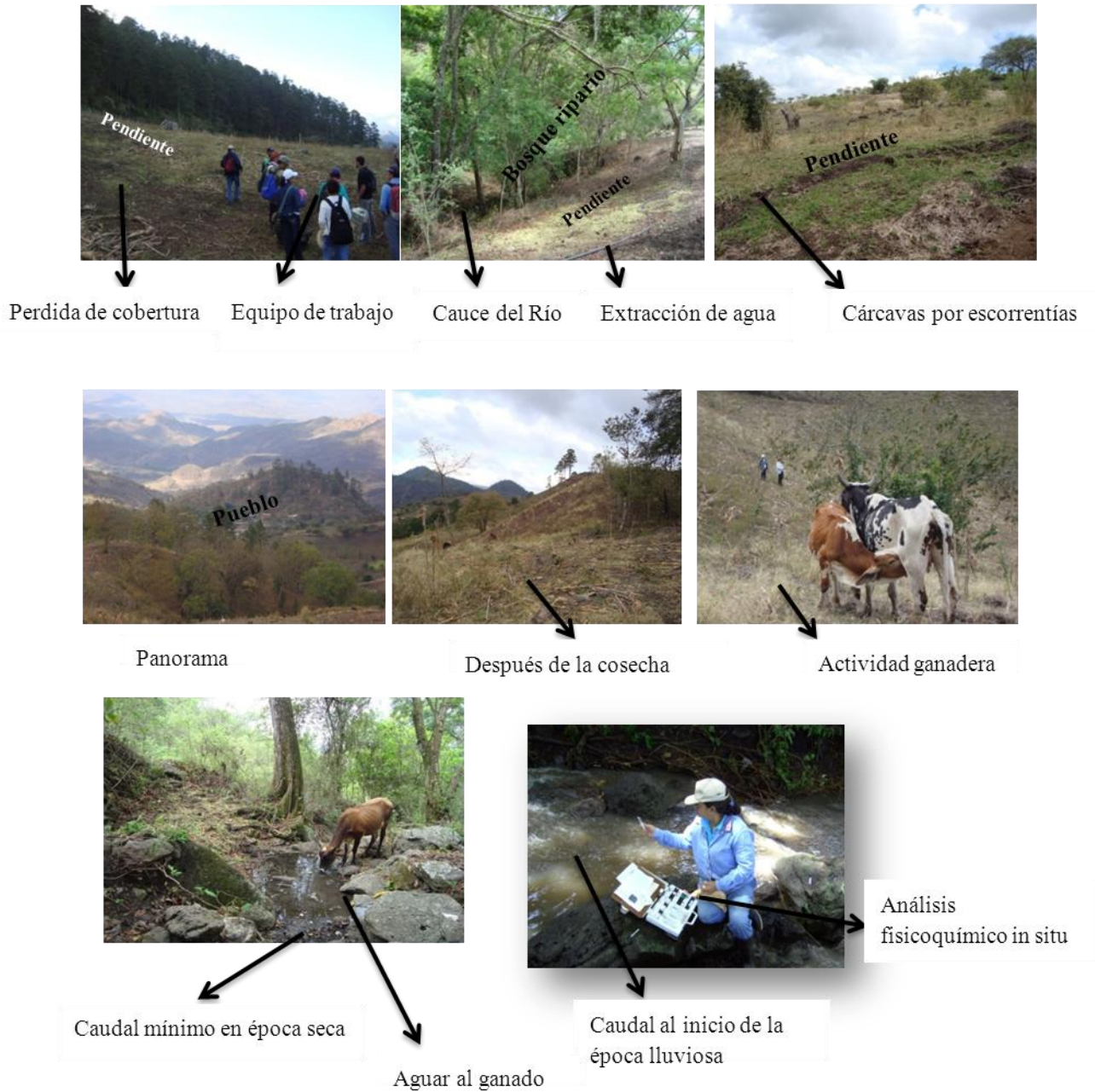


s.i



**Anexo 2.** Caracterización visual de la microcuenca El Coyote.

**Parte Alta**



## Parte Media y Baja



Suelo sin cobertura



Actividad ganadera



Recabando información sobre las condiciones del entorno



Caudal de los cauces en época seca.



Separación in situ de los organismos



Caudal de los cauces en época lluviosa



## Talleres con comunitarios en la microcuenca



### Análisis bacteriológico



Medio de cultivo  
Pathoscreen P/A

Bolsa Pyrex

### **Anexo 3.** Metodología utilizada en el taller participativo comunitario en la microcuenca

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

\*Salgado MM, Vega-Jarquín C.

ENCUENTRO PARA ELABORACIÓN DE MAPA DEL USO DE LA TIERRA Y DIAGRAMA HISTORICO DE LAS COMUNIDADES “VALLE LA LAGUNA, EL HATO - EL AGUACATE”

#### **Objetivo de la práctica:**

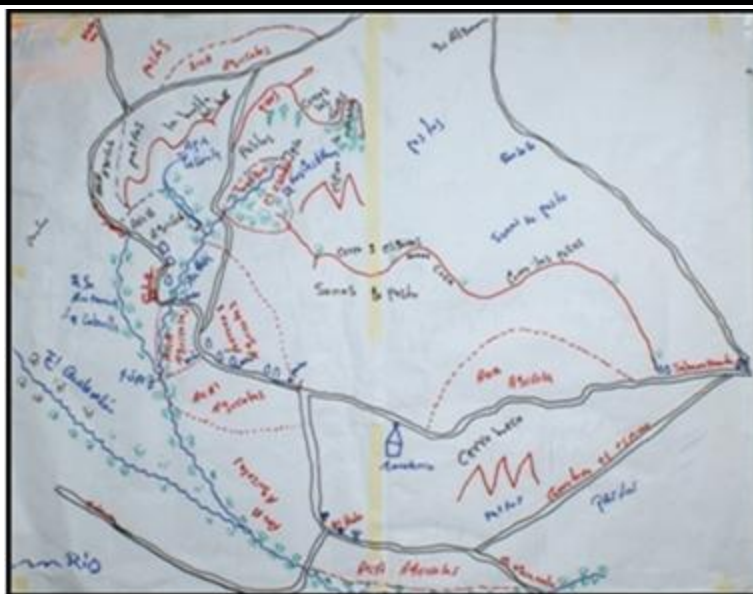
- Dibujar en un mapa, las condiciones actuales de la microcuenca El Coyote, por sitio de estudio (**Alta**, **Media** y **Baja**).
- Identificar la utilización del espacio y de los recursos, de acuerdo a la visión de los pobladores de la comunidad.
- Evaluar con los pobladores más antiguos de la comunidad, los cambios que se han dado en los recursos naturales

#### **Metodología**

1. Reunir grupo de habitantes que conozcan bien el pasado de la comunidad y explicarle el objetivo de la práctica. Dividirlos por afinidades en subgrupos (mujeres, hombres). Los participantes deben involucrarse desde el inicio de la práctica hasta el final de la misma.
2. Discutir con los participantes, cómo se va hacer el mapa y que aspectos debe contener (ríos, afluentes, caminos, bosques, áreas de cultivos, casas.). Si los participantes consideran que hay algo más importante se debe agregar.
3. Apoyar sólo para el inicio de la práctica (ubicando puntos de referencia o un mapa base). Se deja al grupo trabajando solo ellos. De cada subgrupo se obtendrá un mapa sobre el uso de la tierra.
4. Presentación de mapa por cada subgrupo. Plenaria y discusión de grupo. Lo cual permite la elaboración del mapa final con los comentarios de todos los participantes.
5. Solicitar a los participantes, realizar en base al mapa elaborado anteriormente, redibujar la situación tal como se presenta en épocas anteriores. Acordar las épocas con ellos, preferiblemente en relación con eventos claves.
6. Realizar comparación de los mapas (Uso de la tierra y Diagrama Histórico) y discutir los principales cambios que se han dado.

\*Modificada de Geilfus, 1997.

a-. Resultados de taller con los comunitarios del Valle La Laguna, El Hato y El Aguacate.





b-. Calendario agrosocioeconómico de información concerniente a las actividades de los habitantes de las diferentes comunidades. Realizado en marzo del 2011

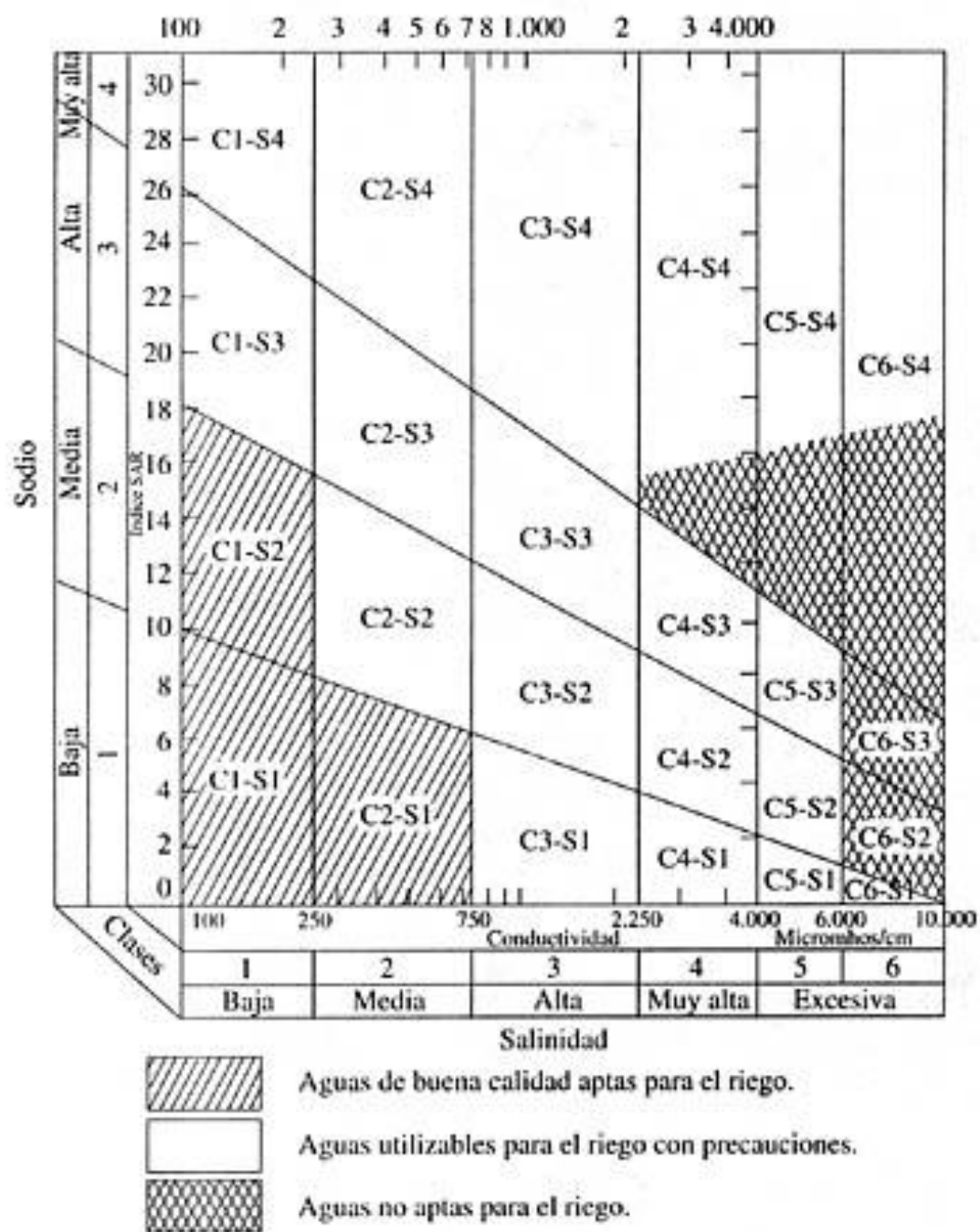
Sitio: Valle La Laguna

<b>Meses</b>	<b>Actividades que realizan</b>	<b>Actividades Agrícolas</b>
Enero	Leña. Reparación de casa Liga de Béisbol	Cosecha de maíz. Cosecha de Café Cosecha de fríjol. Cosecha de millón
Febrero	Leña. Reparación de casa Liga de Béisbol. Mantenimiento a la siembra de árboles frutales y forestales	
Marzo	Leña. Reparación de casa Elaboración de bloque de adobe Liga de Béisbol	Rondas. Chapeo de potreros Siembra de pepino, sandia, frijoles Hortalizas con riego. Semilleros. Reparación de Cercas
Abril	Semana santa. Leña Reparación de casa. Liga de Béisbol Elaboración de bloques de adobe	Semilleros
Mayo	Liga de Béisbol	Semillero. Alistado de siembra. Poca siembra de granos básicos
Junio	Liga de Béisbol	Siembra de granos básicos
Julio	Liga de Béisbol	Fumigación. Aporque. Limpieza (entre otras
Agosto	Liga de Béisbol Fiestas patronales (santa Rosa)	Cosecha de granos Básicos
Septiembre	Liga de Béisbol. Fiestas patrias	Alistada de tierra. Siembra de granos Básicos Postrera
Octubre	Liga de Béisbol	Labores agrícolas
Noviembre	Liga de Béisbol	Cosechas de granos Básicos y Café
Diciembre	Liga de Béisbol Fiestas navideñas Purísima	Cosecha de Granos Básicos

Sitio: Hato – Aguacate

<b>Meses</b>	<b>Actividad que realizan</b>	<b>Actividades Agrícolas</b>
Enero	Leña. Reparación de cerca. Crianza de animales doméstico.	Corte de maíz. Cosecha de frijoles. Cosecha de sorgo.
Febrero	Chineo a la mujer. Inicia el problema del agua.	Preparación de rondas. Chapía de potreros.
Marzo	Reparación de cerco. Leña. Reparación y construcción de casa. Semana santa (eventual)	Chapia potreros. Preparación de rondas.
Abril	Leña. Semana santa (eventual). Reparación y construcción de casa.	Preparación de tierra. Siembra de preñones.
Mayo	Leña. Fiesta patronales de Condega (San Isidro)	Siembra de Maíz. Siembra de frijoles. Siembra de millón. Aplicación de poco químicos.
Junio	Leña.  Liga campesina Béisbol.	Siembra de maíz. Siembra de frijoles Siembra de millón. Limpieza. Aporque. Aplicación de Urea y poco químico. De junio hasta enero (no racionamiento de agua).
Julio	Leña. Liga campesina Béisbol.	Limpieza. Aporque.
Agosto	Leña. Liga campesina Béisbol.	Cosecha de frijoles de primera.
Septiembre	Actos patrios. Leña Liga campesina Béisbol.	Cosecha de frijoles primera. Alisto de tierra para siembra de postrera. Siembra de granos básicos.
Octubre	Liga campesina Béisbol. . leña	Siembra de granos básicos de segunda. Limpieza. Aporque.
Noviembre	Liga campesina Béisbol. Leña.	Cosecha de frijoles de segunda.
Diciembre	Purísima. Liga campesina Béisbol. Fiesta navideña.	Cosecha de frijoles y maíz de segunda

**Anexo 4.** Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.



(U.S. Soil Salinity Laboratory). Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973)Topografía de la microcuenca

### Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside

<b>Tipos</b>	<b>Calidad y normas de uso</b>
C <sub>1</sub>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C <sub>2</sub>	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C <sub>3</sub>	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>4</sub>	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>5</sub>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C <sub>6</sub>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S <sub>1</sub>	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S <sub>2</sub>	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S <sub>3</sub>	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S <sub>4</sub>	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

**Anexo 5.** Sistema para la determinación del índice BMWP/Col.

<b>Ordenes</b>	<b>Familias</b>	<b>Puntaje</b>
Plecoptera Ephemeroptera. Trichoptera  Coleóptera Odonata Díptera Unionoida Acari Hidroida	Perlidae Oligoneuridae. Euthyplociidae. Polymatarcyidae. Odontoceridae. Glossosomatidae. Rhyacophilidae. Calamoceridae. Hydroptilidae. Anomalopsychidae. Atriplectididae. Psephenidae. Ptilodactylidae. Lampyridae. Polythoridae. Blepharoceridae. Unionidae. (Cl: Bivalvia o Pelecypoda). Lymnessiidae. (Cl: Arachnoidea o Hidracarina). Hidridae. (Cl: Hydrozoa)	10
Ephemeroptera Tricoptera Coleóptera Odonata Díptera Gordioidae Lepidóptera Mesogastropoda Hirudiniformes	Leptophlebiidae. Efemeridae. Hydrobiosidae. Philopotamidae. Xiphocentronidae. Gyrinidae. Scirtidae. Gomphidae. Megapodagrionidae. Coenagrionidae. Simullidae. Gordiidae. Chordodidae. (Cl: Nematomorpha) Pyalidae. Ampullariidae. (Cl: Gasterópoda) Hirudinae. (Cl: Hirudinea)	9
Ephemeroptera Trichoptera Coleóptera Odonata Hemiptera Díptera Decápoda Basommatophora	Baetidae. Caenidae. Hidropsychidae. Leptoceridae. Helicopsychidae. Dytiscidae. Dryopidae. Lestidae. Calopterygidae. Pleidae. Saldidae. Guerridae. Veliidae. Hebridae. Dixidae. Palaemonidae. Pseudothelpusidae. (Cl: Crustácea) Chilinnidae. (Cl: Gastrópoda)	8
Ephemeroptera Trichoptera Coleóptera Odonata Hemiptera Díptera Basommatophora mesogastropoda Archeogastrópoda	Tricorythidae. Leptohiphidae. Polycentropodidae. Elmidae. Staphylinidae. Aeshnidae. Naucoridae. Notonectidae. Mesolveiidae. Corixidae. Psychodidae. Ancyliidae. Planorbidae. (Cl: Gastrópoda) Melaniidae. Hydrobiidae. (Cl: Gastrópoda) Neritidae. (Cl: Gastrópoda)+	7

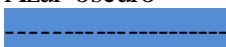





Adaptación para Colombia.

Continuación

Ordenes	Familias	Puntaje
Coleóptera Odonata Hemiptera  Díptera. Megalóptera Decápoda Anphipoda Tricladida	Limnichidae. Lutrochidae. Libellulidae. Belostomatidae. Hydrometridae. Gelastocoridae. Nepidae. Dolichopodidae. Corydalidae. Sialidae. Atyidae. (Cl: Crustácea) Hyalellidae. (Cl: Crustácea) Planariidae. Dugesidae.	6
Coleóptera Díptera Basommatophora	Chrysomelidae. Haliplidae. Curculiónidae. Tabanidae. Stratiomyidae. Empididae. Thiaridae. (Cl: Gastrópoda)	5
Coleóptera Díptera Basommatophora	Hidrophilidae. Noteridae. Hydraenidae. Noteridae. Tipulidae. Ceratopogonidae. Limnaeidae. Sphaeridae. (Cl: Gastrópoda)	4
Díptera Basommatophora Glossiphoniiformes	Culícidae. Muscidae. Sciomizidae. Physidae. (Cl: Gastrópoda) Glossiphoniidae. Cyclobdellidae. Cylicobdellidae.	3
Díptera Heplotaxida	Chironomidae. Ephydriidae. Syrphidae. Todas las familias (Excepto tubifex)	2
Haplotaxida	Tubificidae (Tubifex)	1

Zamora, (2005)

Clases, Valores y Características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP.

clase	Rango	Calidad	Características	Color Cartográfica
I	≥121	Muy Buena	Aguas muy limpias	Azul oscuro 
II	101 – 120	Buena	Aguas limpias	Azul claro 
III	61 – 100	Aceptable	Aguas medianamente contaminada	Verde 
IV	36 – 60	Dudosa	Aguas contaminadas	Amarillo 
V	16 – 35	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja 
VI	≤ 15	Muy crítica	Aguas Fuertemente contaminadas	Rojo 

Zamora, (2005)

**Anexo 6.** Índice para la evaluación de la integridad física de la estación de monitoreo.

Nombre del manantial:	Subcuenca:	Microcuenca:	Estación:	Clase de manantial:
	Río Estelí	El Coyote		Perenne
Coordenadas:	Colectores:	Fecha:	Hora:	
<b>PARAMETROS DEL HABITAT</b>	<b>OPTIMO</b>	<b>SUB OPTIMO</b>	<b>MARGINAL</b>	<b>POBRE</b>
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
<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>
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
<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>
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
<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>
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
<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>
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
<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>
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

PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
FRECUENCIA DE HÁBITAT	Alta ocurrencia de substratos disponibles	Poca ocurrencia de substratos disponibles	Ocurrencia ocasional de substratos disponibles	Poca ocurrencia de substratos disponibles
PUNTUACIÓN	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
ESTABILIDAD DEL CANAL	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 %
Lado Derecho	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
Lado Izquierdo	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
PROTECCIÓN POR VEGETACIÓN	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)
Lado Derecho	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
Lado Izquierdo	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
ANCHO DE LA ZONA RIPARIA	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
Lado Derecho	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
Lado Izquierdo	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1
Lado Izquierdo				
Puntaje Total				

Fuente: García, 200

Categoría para la clasificación de la integridad física de los sitios de muestreo.

Clasificación	Puntaje
Óptimo	20 - 16
Sub - óptimo	10 - 15
Marginal	5 - 10
Pobre	0 - 5

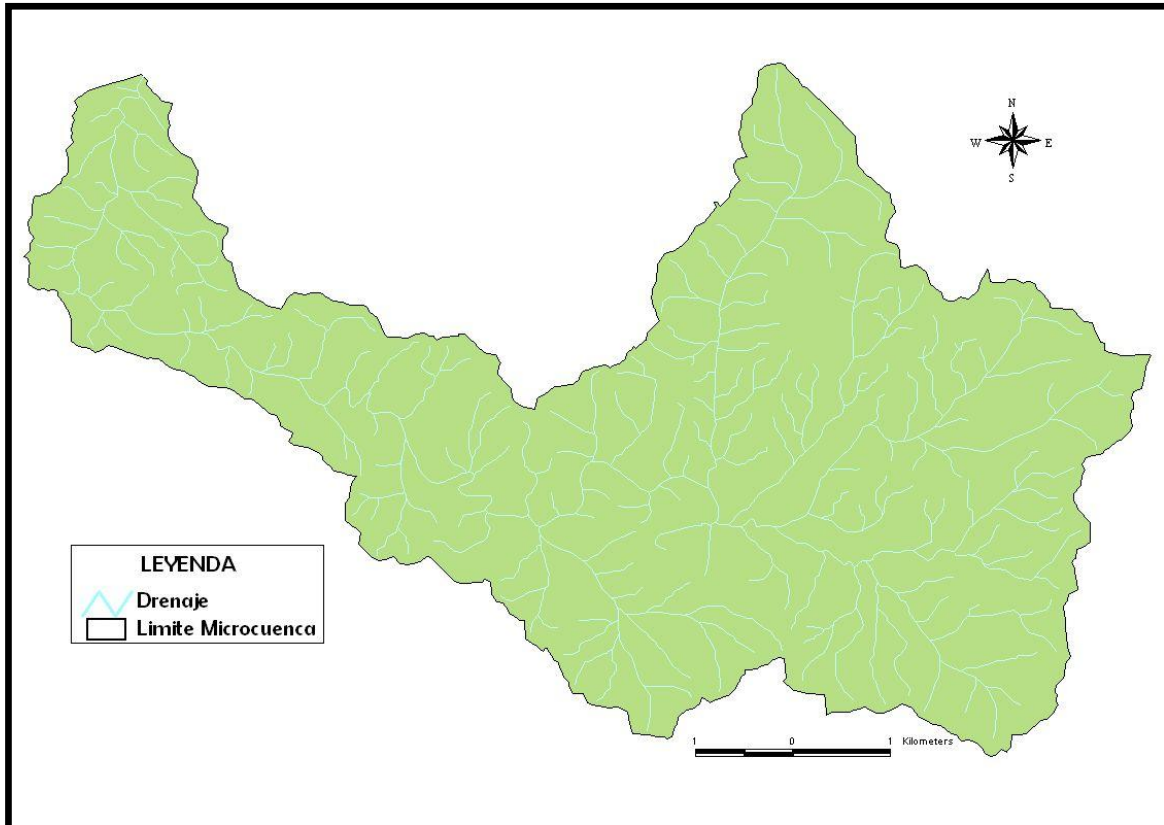
Fuente: Armitage et al., 1992



**Anexo 7.** Mapas de las características morfométricas de la microcuenca El Coyote.

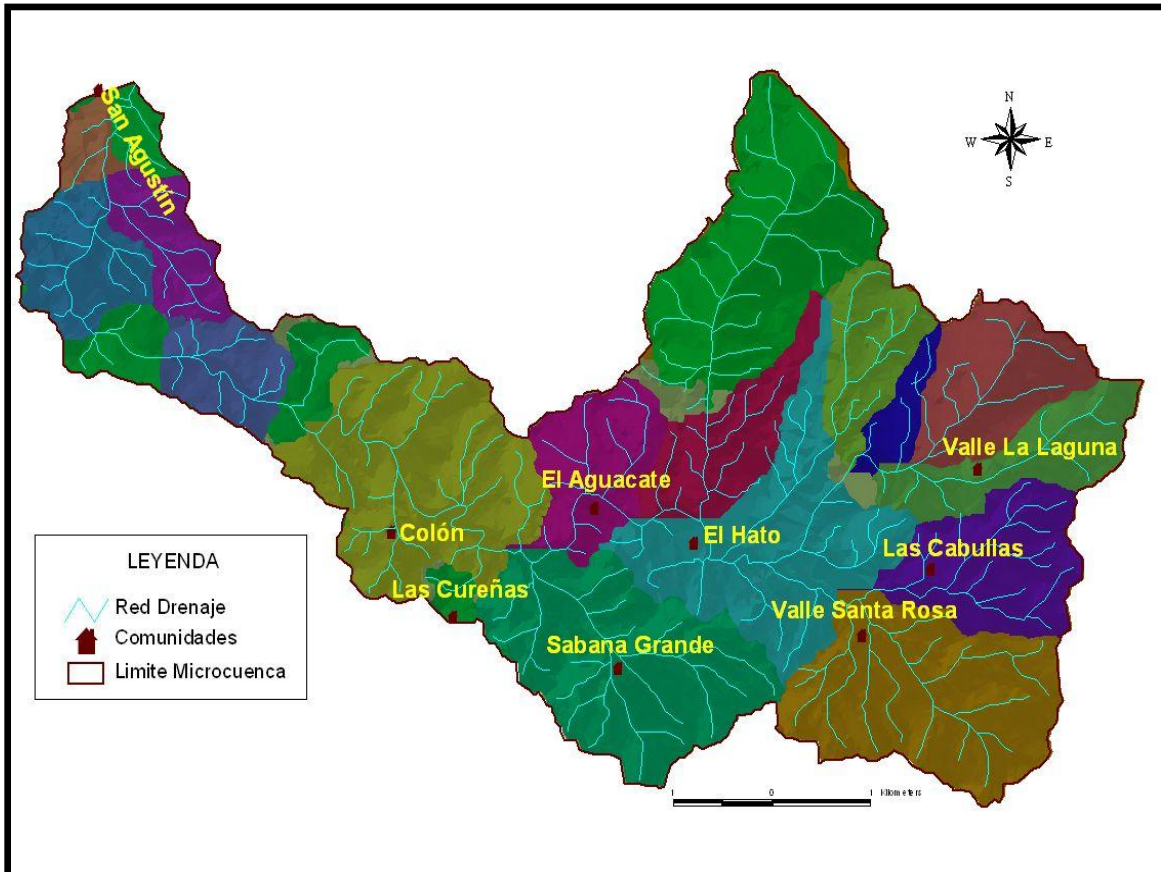
*a) Mapa de superficie*

La microcuenca El Coyote tiene un Área de 37.14 Km<sup>2</sup> y un Perímetro de 40.64 Km.



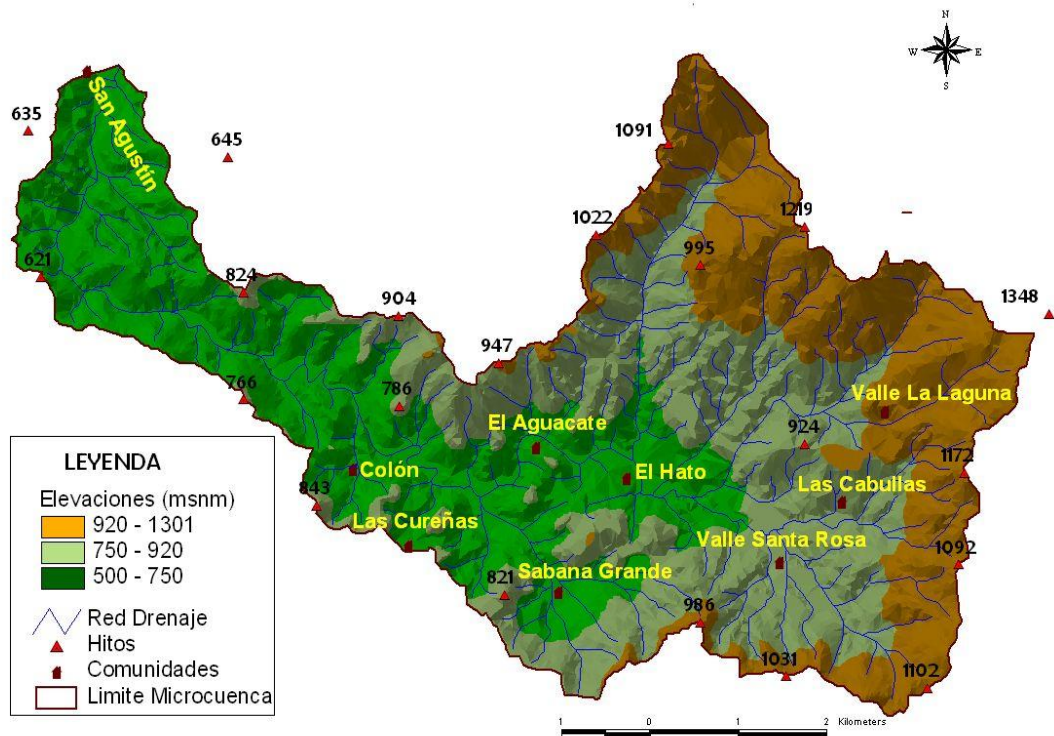
**b) Mapa de forma**

Con la aplicación del Coeficiente de Gravelium  $CG = P/2 * (\pi * Ac)^{1/2}$  en la microcuenca se determinó un valor de 1.88 y por lo tanto es Alargada.

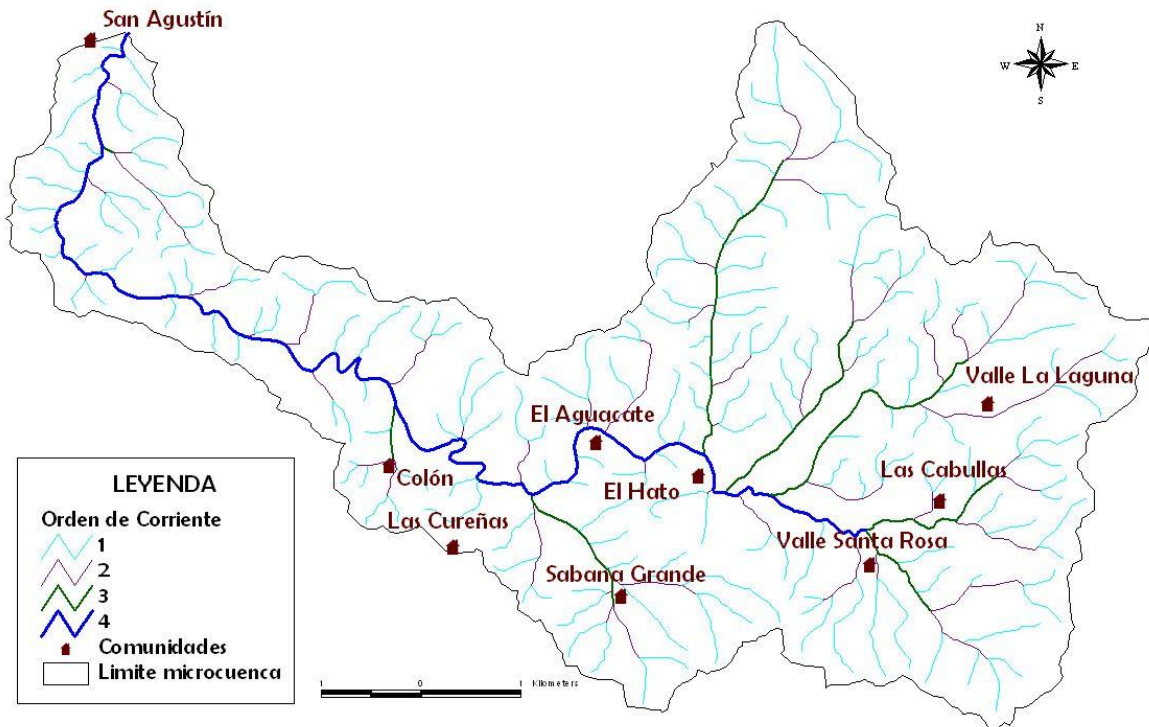


c) *Mapa de elevación media*

Obteniéndose una elevación media de 900 msnm



d) *Mapa de orden de corriente*



**Anexo 8.** Macroinvertebrados encontrados en la microcuenca El Coyote, en los muestreos correspondiente al año hidrológico 2010-2011.

si: sin identificar

Orden	Familia	B M W P	Género	Valle La Laguna							El Hato							El Aguacate						
				M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>			
				Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe			
Basommatophora	Physidae	3	Physa	44	2			52	40		23													
	Ancilydae	7	Ferrisia							6														
Odonata	Libellulidae	6	Dythemis	2																				
			Pantala												6									
			s.i.														8	5	4	6	28			
	Coenagrionidae	9	Brechmorh oga																			2		
			Ischnura	3					30						5								25	
		Argia					15						5		1						4			
	Gomphidae	9	Phyllogom phoides							5		7				14	5					7		
Calopterygidae	8	Hetaerina					4	23		23				4				1	3	20				
Hemiptera	Belostomatidae	6	Belostoma	1								1		4		3					30			
	Corixidae	7	Tenegobia	1								1												
	Veliidae	8	s.i.																		1			
Díptera	Chironomidae	2	s.i.	24	75	3		54	40				40	151	51		14	11	48	9	32			
	Culicidae	3	Aedes	14						2														
	Syrphidae	2	Episyphus	6													1							
			Toxomerus														2							
	Dolichopodidae	6	Aphrosylus		1																			
	Cuterebridae		Dermatobia		1																			
	Stratiomyidae	5	s.i.		1			3	3		1													
	Simuliidae	9	Simulium			28						4	3	1				27			5			
	Tipulidae	4	Tripula			2																		
	Ceratopogonidae	4	s.i.			2																		
Tabanidae	5	Chrysops									1													

Orden	Familia	B M W P	Género	Valle La Laguna							El Hato							El Aguacate						
				M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>			
				Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe			
Coleoptera	Staphilinidae	7	s.i.	1			1	3					1											
	Scirtidae	9	Elodes	1		4																		
	Hydrophilidae	4	Tropisternus	1																				
	Dytiscidae	8	s.i.		1		4	3	5				8		3									
	Elmidae	s.i.	7			1						3	4											
Macrelmis						4			10															
Plecoptera	Perlidae	10	Anacroneuria		1				5										4					
Decapada	Pseudothelphusidae	8	s.i.								2													
Haplatoxida	Tubificidae	1	Tubifex								1	1												
Unionoida	Unionidae	10	s.i.								8													
Neuroptera	Corydalidae	6	s.i.						2			3	4						6	2	2			
Tricladida	Planariidae	6	Dugesia	4		5		12			19			1										
Mesogastropa	Planorbidae	6	Gyraulus							1									3					
	Thiaridae	5	Thiara							4						10								
	Hydrobiidae	7	s.i.														3							
Hirudiniforme	Hirudinae	9	Hirudo	1					3	4	10													

Orden	Familia	B M W P	Género	Valle La Laguna							El Hato							El Aguacate						
				M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>			
				Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe	Fe	Ab	Ag	Oct	Dic	Fe			
Ephemeroptera	Baetidae	8	Baetodes							35														
			Camelobaetidius	35		3	9	10 2			3	60	31	85			9	25		25				
	Leptohyphidae	7	Leptohyphes				1			21	5	5	21 0	24 1	69		7	41		85				
	Leptophlebiidae	9	Throulades												7									
			s.i.								1					13				65				
Heptageniidae			s.i.											3										
Trichoptera	Hydropsychidae	8	s.i.	19			26			6	19													
			Smicridea													1	19							
	Glossosomatidae	10	Mortoniella		1					89					12									
	Hydrobiosidae	9	Atopsyche						20		2								30					
	Calamoceratidae	10	Phylloicus			1		10	35			1		15										
	Leptoceridae	8	s.i.															14						
	Hydroptilidae	10	s.i.																5					
<b>Número de Taxa</b>				<b>15</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>13</b>			
<b>Número de Individuos por muestreo</b>				<b>156</b>	<b>84</b>	<b>52</b>	<b>41</b>	<b>258</b>	<b>216</b>	<b>148</b>	<b>113</b>	<b>51</b>	<b>121</b>	<b>399</b>	<b>408</b>	<b>12</b>	<b>53</b>	<b>78</b>	<b>143</b>	<b>29</b>	<b>357</b>			
<b>Número total de Individuos</b>				<b>807</b>							<b>1240</b>							<b>782</b>						

**Anexo 9.** Macroinvertebrados acuáticos colectados en la época lluviosa y seca.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	Lluviosa	Seca	Total
<b>Anellido</b>	<b>Hirudínea</b>	Hirudiniforme	Hirudinae	10	8	18
	<b>Oligochaeta</b>	Haplatoxida	Tubificidae	4		4
			Lumbricidae	Tubificidae	1	
<b>Arthropoda</b>	<b>Crustácea</b>	Decapoda	Pseudothelpusidae	2		2
	<b>Insecta</b>	Coleoptera	Dytiscidae	6	11	17
Elmidae			12	4	16	
			Scirtidae	4	1	5
			Staphilinidae	2	4	6
		Diptera	Ceratopogonidae	2		2
			Chironomidae	118	61	179
			Culicidae		16	16
			Cuterebridae	1		1
			Dolichopodidae	1		1
			Simuliidae	66	10	76
			Stratiomyidae	2	6	8
			Syrphidae	3	6	9
			Tabanidae	1		1
			Tipulidae	2		2
		Ephemeroptera	Baetidae	107	342	449
			Heptageniidae		3	3
			Leptophlebiidae	14	80	94
			Tricorythidae	60	669	729
		Hemiptera	Belostomatidae	4	35	39
			Corixidae	1	1	2
			Veliidae		1	1
		Neuroptera	Corydalidae	13	6	19
		Odonata	Calopterygidae	24	54	78
			Coenagrionidae		88	88
			Gomphidae	12	16	28
			Libellulidae	17	44	61
			Plecoptera	Perlidae	5	1
		Trichoptera	Calamoceratidae	2	60	62
			Glossosomatidae		90	90
			Hydrobiosidae	2	45	47
			Hydropsychidae	140	306	446
				Leptoceridae	14	
<b>Mollusco</b>	<b>Gasteropoda</b>	Basommatophora	Ancilydae		6	6
			Physidae	25	136	161
		Mesogastropa	Hydrobiidae	3		3
			Planorbidae	3	1	4
			Thiaridae		5	5
	<b>Pelecypoda</b>	Unionoida	Unionidae	8		8
<b>Platyhelminthes</b>	<b>Turbellaria</b>	Tricladida	Planariidae	24	18	42



**Anexo 10.** Análisis comparativo de valoración establecida por Roldán, 2003; Roldan 2008;Álvarez,2005; Zamora,2005 y asignación de puntaje a familia de macroinvertebrados encontrados en la microcuenca El Coyote

M	Época	Sitio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
1	Seca	Alta	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	44	3	3	3	3
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	2	6	5	6	6
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	1	6	4	5	5
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	1	7	5	7	7
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	19	8	7	5	5
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Culicidae	14	3	2	2	2
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	3	9	7	7	7
1	Seca	Alta	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	4	6		7	7
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphilinidae	1	7	6	6	6
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Syrphidae	6	2	2		
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	5	2	2	2	2
1	Seca	Alta	Anelido	Hirudinea	Hirudiniformes	Hirudinae	1	9			
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	1	9	4	7	7
1	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Hydrophilidae	1	4	3	3	3
1	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	5	9	9	10	10
1	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	35	8	7	7	7
1	Seca	Media	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Ancilydae	6	7	7	6	6
1	Seca	Media	Mollusco	Turbellaria	Triclarida	Planariidae	1	6		7	7
1	Seca	Media	Anelido	Hirudinea	Hirudiniforme	Hirudinae	4	9			
1	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	6	8	7	5	5
1	Seca	Media	Mollusco	Gasteropoda	Mesogastropa	Planorbidae	1	7	5	5	3
1	Seca	Media	Mollusco	Gasteropoda	Mesogastropa	Thiaridae	4	5	5	5	5
1	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	89	10	7	7	7
1	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Culicidae	2	3	2	2	2
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	6	6	5	6	6
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	4	9	9	10	10
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	69	7			
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	7	9	9	9	9
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Heptageniidae	3				
1	Seca	Baja	Mollusco	Gasteropoda	Mesogastropa	Thiaridae	1	5	5	5	5
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	1	9	7	7	7
1	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Glossosomatidae	1	10	7	7	7

M	Época	Sítio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	74	2	2	2	2
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Dolichopodidae	1	6	4	4	4
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Cuterebridae	1				
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	1	7	7	6	6
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	1	8		9	9
2	Lluviosa	Alta	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	2	3	3	3	3
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	1	10	10	10	10
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	1	2	2	2	2
2	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Stratiomyidae	1	5	3	4	4
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	23	8	7	7	7
2	Lluviosa	Media	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	23	3	3	3	3
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Crustácea	Decapoda	Pseudothelphusidae	2	8	8	8	8
2	Lluviosa	Media	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	19	6		7	7
2	Lluviosa	Media	Anellido	Hirudinea	Hirudiniforme	Hirudinae	10	9			
2	Lluviosa	Media	Mollusco	Pelecypoda	Unionoida	Unionidae	8	10			
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae	2	9	9	9	9
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	3	7	7	6	6
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	1	7			
2	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Stratiomyidae	1	5	3	4	4
2	Lluviosa	Media	Anellido	Oligochaeta	Haplatoxida	Tubificidae	1	1	1	1	
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Syrphidae	1	2	2		
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	8	6	5	6	6
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	5	9	9	10	10
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	13	9	9	9	9
2	Lluviosa	Baja	Mollusco	Gasteropoda	Mesogastropa	Planorbidae	3	7	5	5	3
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	3	6	4	5	5
2	Lluviosa	Baja	Mollusco	Gasteropoda	Mesogastropa	Hydrobiidae	3	7	7	8	9
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Syrphidae	2	2	2		
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hidropsychidae	1	8	7	5	5
2	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	14	2	2	2	2

M	Época	Sítio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
3	Lluviosa	Alta	Anellido	Oligochaeta	Haplatoxida	Tubificidae	3	1	1	1	
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	28	9	5	8	8
4	Lluviosa	Alta	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	5	6		7	7
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	3	2	2	2	2
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	3	8	7	7	7
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	1	10	8	10	10
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Ceratopogonidae	2	4	5	3	3
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Scirtidae	4	9	4	7	7
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	4	7	7	6	6
4	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Tipulidae	2	4	3	3	3
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	19	8	7	5	5
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Corixidae	1	7	5	7	7
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	7	9	9	10	10
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	1	6	4	5	5
4	Lluviosa	Media	Anellido	Oligochaeta	Lumbricidae	Tubificidae	1	1	1	1	
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Tabanidae	1	5	5	5	5
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	4	9	5	8	8
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	3	8	7	7	7
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	1	10	8	10	10
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1	9	9	9	9
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	5	7			
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	4	7	7	6	6
4	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	3	6	6	6	6
4	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	5	6	5	6	6
4	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	27	9	5	8	8
4	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	9	8	7	7	7
4	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	32	8	7	5	5
4	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	7	7			

M	Época	Sitio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	26	8	7	5	5
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	7	8	7	7	7
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	4	9	5	8	8
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	1	7			
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphilinidae	1	7	6	6	6
5	Lluviosa	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	4	8		9	9
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	32	8	7	5	5
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	4	6	6	6	6
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	5	7			
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	60	8	7	7	7
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	3	9	5	8	8
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	8	2	2	2	2
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphilinidae	1	7	6	6	6
5	Lluviosa	Media	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	1	8		9	9
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	4	6	5	6	6
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	30	8	7	5	5
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	4	6	6	6	6
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	14	8	8	8	9
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	4	10	10	10	10
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	41	7			
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	25	8	7	7	7
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	18	2	2	2	2
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	2	6	6	6	6
5	Lluviosa	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	1	8	7	7	7

M	Época	Sitio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	4	2	2	2	2
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	15	9	7	7	7
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	4	8	7	7	7
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	102	8	7	7	7
6	Seca	Alta	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	52	3	3	3	3
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	10	10	8	10	10
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	50	8	7	5	5
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Stratiomyidae	3	5	3	4	4
6	Seca	Alta	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	12	6		7	7
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	3	8		9	9
6	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphilinidae	3	7	6	6	6
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	125	8	7	5	5
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	210	7			
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	31	8	7	7	7
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	5	9	7	7	7
6	Seca	Media	Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	1	6		7	7
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae	26	2	2	2	2
6	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	5	9	5	8	8
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	4	9	7	7	7
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	6	6	6	6	6
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	34	8	6	7	7
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	64	7			
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	3	8	7	7	7
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	9	2	2	2	2
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	8	9	9	9	9
6	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	2	6	6	6	6

M	Época	Sitio	Phyllum	Clase	Orden	Familia	N. Indiv.	Z.G.H, 2005	L. A, 2005	Roldán (modif. 2008).	Roldán 2003
7	seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	1	10	10	10	10
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	10	2	2	2	2
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	35	10	8	10	10
7	Seca	Alta	Mollusco	Gasteropoda	Basommatophora	Physidae	40	3	3	3	3
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	30	8	7	5	5
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	23	8	7	7	7
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	30	9	7	7	7
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae	15	9	9	9	9
7	Seca	Alta	Anellido	Hirudinea	Hirudiniforme	Hirudinae	3	9			
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Díptera	Stratiomyidae	3	5	3	4	4
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	4	7	7	6	6
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	5	8		9	9
7	Seca	Alta	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	2	6	6	6	6
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	85	8	7	7	7
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	241	7			
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	48	8	7	5	5
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	4	6	4	5	5
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	15	10	8	10	10
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	4	8	7	7	7
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	5	9	7	7	7
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	3	8		9	9
7	Seca	Media	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	3	2	2	2	2
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Chironomidae.	4	2	2	2	2
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Libellulidae	30	6	5	6	6
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Gomphidae	7	9	9	10	10
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Coenagrionidae	25	9	7	7	7
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Odonata	Calopterygidae	20	8	7	7	7
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	28	8	7	5	5
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Belostomatidae	30	6	4	5	5
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Veliidae	1	8		8	8
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydrobiosidae	30	9	9	9	9
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	55	8	7	7	7
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Díptera	Simuliidae	5	9	5	8	8
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Neuroptera	Corydalidae	2	6	6	6	6
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Tricorythidae	85	7			
7	Seca	Baja	Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	65	9	9	9	9

**Anexo 11.** Resultados del análisis de varianza con separación de media de LSD Fisher para comparar las variables físicas, químicas y biológicas entre los muestreos y entre los sitios.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Valor de f	Valor de p	A	M	B	Valor de f	Valor de p
<b>Indivs</b>	3,86a	3,09a	3,00a	3,71a	5,87a	11,36a	11,94a	5,22	0,0001	4,57a	5,69ab	7,61b	2	0,1381
<b>Aforo</b>	25,53a	39,65a	16,28ab	1,84b	6,69b	40,04a	113,29a	25,02	0,0001	90,02a	9,12b	12,94b	31,23	0,0001
<b>T° agua</b>	22,64a	24,04c	20,90abc	23,81c	22,19c	44,70bc	20,91ab	17,21	0,0001	20,91a	23,57c	22,19b	31,39	0,0001
<b>T° aire</b>	23,57a	27,11b	24,04ab	28,22b	24,29ab	23,57a	23,57a	21,07	0,0001	24,53a	26,05b	24,05a	7,66	0,0006
<b>pH</b>	7,69b	8,16e	7,31a	8,00c	8,17e	8,00c	8,17d	65,74	0,0001	7,92a	8,08b	8,08b	17,04	0,0001
<b>Nitratos</b>	5,00a	9,97b	9,97bc	14,58c	13,59c	25,02d	25,03d	108,03	0,0001	14,88ab	18,17b	13,33a	2,65	0,0745
<b>Nitrito</b>	16,61a	3,49b	7,03ab	9,11a	9,11a	9,12a	16,61a	24,13	0,0001	13,06a	11,36b	2,46c	225,02	0,0001
<b>Amonio</b>	9,97 <sup>a</sup>	7,17b	3,67c	5,00c	6,69b	6,68b	9,97a	27,22	0,0001	9,97a	2,42b	5,00c	45,41	0,0001
<b>Fosfato</b>	8,08 <sup>a</sup>	1,16c	4,01ab	3,19b	1,99b	1,99b	1,99b	40,49	0,0001	4,44a	1,95b	2,07b	14,4	0,0001
<b>Carbonato</b>	5,87c	8,76d	1a	2,64b	5,75c	5,81c	5,47c	42,28	0,0001	3,93a	6,68b	1,10b	27,99	0,0001
<b>Dureza</b>	2,45b	3,03d	1,11a	1,18a	2,80bcd	2,97cd	2,66bc	46,1	0,0001	1,86a	2,74b	2,86b	26,65	0,0001
<b>Alcalinidad</b>	212,72d	156,02b	100,48a	105,64a	174,16c	165,67bc	172,43c	92,17	0,0001	162,39a	156,02a	167,33a	1,3	0,2744
<b>O2 disuelto</b>	2,66a	4,57b	6,82bc	6,89c	5,00b	6,68bc	7,54c	60,82	0,0001	4,95a	5,53a	5,31a	0,99	0,3725

Datos obtenidos mediante el uso de Kid de Campo "Aquamerck". M = muestreo; A= sitio en la parte alta, M= sitio en la parte media y B= sitio en la parte baja.

**Anexo 12.** Conglomerado de macroinvertebrados acuáticos agrupados sobre la base de los valores de DBO y DQO

