



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE BIOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE

ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD FISICO-QUIMICA,
BACTERIOLOGICA Y BIOLOGICA DEL AGUA DE LA
SUBCUENCA DEL RIO YANUNCAY EN DOS ESTACIONES
CLIMATICAS (INVIERNO Y VERANO) DEL CANTON CUENCA
PROVINCIA DEL AZUAY-ECUADOR.

Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de:
BIOLOGA

AUTORA:
Jenny Cocha Pallo

DIRECTOR:
Blgo. Edwin Zárate

CUENCA, ECUADOR

Diciembre-2009

DEDICATORIA

Este estudio se lo dedico a tres personas muy importantes en mi vida como son: Mi madre querida Nancy la que siempre me ha dado todo su amor, cariño y comprensión la que me motivo a seguir estudiando y ser alguien en la vida. A mi papi Cesar, el que siempre me apoyo a culminar mis estudios. Y a Diego mi enamorado que siempre ha estado en las buenas y en las malas conmigo, de darme los buenos ánimos y vibras de no decaer en todos estos años de estudio estando lejos de mi familia.

Papi y Mami con una etapa más de mi vida terminada les pongo a conocimiento de lo que un día les prometí ustedes dos lo saben y les he cumplido y se los estoy demostrando.

Gracias por confiar en mí

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial y grande a todas las personas que me colaboraron en todo este estudio ya sea en las salidas de campo y de laboratorio sin ayuda de ustedes no podría haber avanzado como son: Blgo. Diego Vimos, Blgo. Iván Cárdenas, Blgo. María Elisa Durán, Blgo. Mily Obando, Blgo. Fernando Cárdenas, Dra. María Fernanda Rosales, Roxana Fernández de Córdova.

A mi director de tesis Blgo. Edwin Zarate gracias por su ayuda y comprensión. Agradeciendo al Dr. Piero Tripaldi y a María Elena Cazar, Ph.D por el tiempo prestado en la corrección de la tesis.

Y un agradecimiento al Blgo. Antonio Crespo por haber sido parte del tribunal en mi sustentación del diseño de tesis.

RESUMEN

Este estudio fue realizado en la subcuenca del río Yanuncay perteneciente al cantón Cuenca, provincia del Azuay - Ecuador. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el estado actual de la calidad del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano).

Se escogieron ocho estaciones ubicadas en diferentes pisos altitudinales, se analizó los siguientes índices: calidad del hábitat, ICA, ABI, EPT, riqueza de taxones, Equitatividad, proporción EPT/Chironomidos y diversidad de Simpson y con todos los datos se analizó un multivariado (ANOVA) y un dendograma clúster. Los resultados físico-químicos, bacteriológicos y biológicos están influenciados ante la presencia de contaminantes a lo largo de la subcuenca.

ABSTRACT

The present work was performed in the subbasin Yanuncay River province of Azuay, Ecuador. The main objective study was to assess the current status of water quality Yanuncay river in two seasons (winter and summer).

Eight stations were monitored. The stations were located at different altitude levels and with different anthropogenic influence. The calculation of habitat quality water quality index (WQI), ABI, EPT, taxa richness, equitable, proportion EPT /Chironomid and Simpson diversity were performed data set was analyzed by multivariate statistical analysis (ANOVA) and the dendrogram cluster. The physical, chemical, bacteriological and biological parameters are influenced by the occurrence of pollutants along the subbasin.

INDICE DE CONTENIDOS

Apartado	Página
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE ANEXOS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xii
INTRODUCCION.....	1
La calidad del agua.....	3
El uso de macroinvertebrados en la determinación de la calidad del agua.....	3
CAPITULO I.....	5
METODOLOGIA	5
1.1. Descripción del área de estudio	5
1.1.1. Características Bio-físicas de la cuenca	5
a) Hidrología	5
b) Clima	5
c) Topografía	6
d) Relieve	6
e) Uso del suelo.....	6
f) Sustrato	7
1.1.2. Estaciones de monitoreo	7
1.2. Muestreo	9
1.2.1. Etapa de Campo	9
1.2.2. Etapa de laboratorio	12
1.2.3. Análisis Estadísticos	13
1.2.3.1. Índices físico-químicos	13

1.2.3.2.	Índices Biológicos	15
1.2.3.3.	Hábitat	18
1.2.3.4.	Dendograma Clúster.....	18
CAPITULO II		20
RESULTADOS Y DISCUSION		20
2.1. Aspectos Físico-químicos		20
2.1.1.	Temperatura	20
2.1.2.	pH	21
2.1.3.	Conductividad y dureza total.....	22
2.1.4.	Turbiedad y Caudal.....	24
2.1.5.	Nitritos.....	26
2.1.6.	Nitratos	26
2.1.7.	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	27
2.1.8.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	28
2.1.9.	Fosfatos Totales	29
2.1.10.	Nitrógeno Amoniacal	30
2.1.11.	Cloruros.....	31
2.2. Parámetros Bacteriológicos		32
2.2.1.	Coliformes Fecales	32
2.2.2.	Coliformes totales	33
2.3.	Índice de calidad de agua (ICA)	34
2.3. Aspectos Biológicos		35
2.3.1.	Índice Biótico de los Andes (ABI).....	36
2.3.2.	Riqueza de Taxones	37
2.3.3.	Índice de EPT	38
2.3.4.	Proporción EPT/Chironomidae	39
2.3.5.	Porcentaje de Contribución de la Familia Dominante.....	40
2.3.7.	Índice de diversidad de Simpson	42
2.4. Calidad del Hábitat		43
2.5. Dendograma Cluster		44

CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	56

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación georeferenciada de las ocho estaciones de monitoreo de la subcuenca del río Yanuncay.	56
Anexo 2. Registro fotográfico y descripción general de las estaciones de muestreo	57
Anexo 3. Ficha de campo para la caracterización de la calidad física del agua	65
Anexo 4. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en este estudio para la obtención del índice ABI de acuerdo a Acosta et al. (2009).	67
Anexo 5. Valoración de la calidad del hábitat en arroyos con pendientes alta.....	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las ocho estaciones de muestreo en la subcuenca del río Yanuncay (CG-Paute, UDA. 2007).....	8
Figura 2. Diagrama de medición del caudal del río.	12
Figura 3. Valores promedio de la temperatura (n = 4) en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay de acuerdo a la altitud; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$)..	21
Figura 4. Valor promedio del pH encontrados en las ocho estaciones de muestreo (n = 4), de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	22
Figura 5. Valores promedio de la conductividad y dureza total obtenidos en las ocho estaciones de muestreo; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	24
Figura 6. Promedio del caudal y la turbiedad encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	25
Figura 7. Valores promedio de los nitritos encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	26
Figura 8. Valores promedio de los nitratos encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	27
Figura 9. Valores promedio de la DQO encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	28
Figura 10. Valores promedio de DBO_5 encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	29
Figura 11. Fosfato totales promedios encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	30
Figura 12. Cloruros promedios encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	31
Figura 13. Representación en Bloxplot de los promedios de los coliformes fecales según la técnica NMP/100 ml de agua encontrados en las ocho estaciones de muestreo en la subcuenca del río Yanuncay.	33
Figura 14. Boxplot de los promedios de los coliformes totales según la técnica NMP/100 ml de agua encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	34
Figura 15. Porcentaje promedio del ICA encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	35

Figura 16. Valores promedios del ABI encontrado en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	37
Figura 17. Valores promedio de la riqueza de taxones encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	38
Figura 18. Valores promedios del índice EPT encontrado en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	39
Figura 19. Valores promedios de los EPT/Chironomidae encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	40
Figura 20. Promedio de los porcentajes de la familia dominante encontrados en las 8 estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).....	41
Figura 21. Valores promedio de equitatividad encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica una EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	42
Figura 22. Valores promedios del índice de diversidad de Simpson encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica una EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).	43
Figura 23. Valores de la calidad del hábitat encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay.	44
Figura 24. Dendograma con el uso de las variables más influyentes en los resultados (Temperatura, Conductividad, Caudal, índice de diversidad de Simpson, Equitatividad, EPT, relación EPT/Chironomidae y Porcentaje de la familia dominante).	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pesos de cada uno de los parámetros en el ICA.....	14
Tabla 2. Clasificación del ICA propuesto por Brown (1973).	14
Tabla 3. Significado de los valores del índice biológico (ABI).....	16
Tabla 4. Categorías del índice EPT.	16
Tabla 5. Categoría de la evaluación de la calidad del hábitat.....	18

ABREVIATURAS

ABI	Andean Biotic Index
BMWP	Biologic Monitoring Working Party
CETESB	Agencia de Control de Contaminación en el Estado de São Paulo
Cg Paute	Consejo de Gestión de aguas de la cuenca del Paute
CREA	Centro de Reconversión Económica de Azuay
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DOCE	Directiva Marco del Agua
DQO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
EPA	Enviromental Protection Agency
EPT	Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera
ETAPA	Empresa Municipal de Teléfono Agua Potable y Alcantarillado
ICA	Índice de Calidad de Agua
INERHI	Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos
NMP	Técnicas Estandarizadas de Fermentación en Tubos Múltiples
NSF	Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU.
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RBPs	Rapid Bioassessment Protocols
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
UDA	Universidad del Azuay
WQI	Water Quality Index
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

Cocha Pallo Jenny del Rocío
Trabajo de Graduación
Blgo. Edwin Zárate
Diciembre – 2009

**ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD FISICO-QUIMICA, BACTERIOLOGICA Y
BIOLOGICA DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RIO YANUNCAY EN DOS
ESTACIONES CLIMATICAS (INVIERNO Y VERANO) DEL CANTON CUENCA
PROVINCIA DEL AZUAY - ECUADOR.**

INTRODUCCION

El agua es el elemento más abundante del planeta, y es vital para todos los seres que habitan en él. Los océanos, mares, lagos, ríos y demás lugares que contienen agua, cubren las dos terceras partes de la tierra, lo que significa alrededor del 70%. Sin embargo, de toda el agua existente en la naturaleza, la mayor parte es salada y apenas un pequeño porcentaje (1%) es de agua dulce. En los ríos se encuentra tan solo el 0,001% del agua, su distribución en el planeta varía de región a región, y transportan anualmente al mar cerca de 37 000 km³ (Roldan 1992).

A nivel mundial existe un creciente interés en preservar los ecosistemas fluviales; pese a ello, en Latinoamérica se presenta una constante degradación de estos ecosistemas por el aumento de la explotación del recurso y la contaminación de las aguas (Pringle et al. 2000).

El uso del agua en América Latina se concentra principalmente en el sur de México, los Andes colombianos, sur de Brasil y norte de Argentina. Pero es una lástima que la mayoría de los ríos más intensamente utilizados, sean al mismo tiempo aquellos sobre los cuales se vierte todo tipo de contaminación industrial, domestica, zonas agrícolas y ganaderas (Roldan 1992).

Es así que la contaminación ambiental de los ecosistemas acuáticos reduce o elimina la población de especies sensibles y en algunos casos, repercute a lo largo de la cadena alimenticia. Además, con la expansión de la frontera agrícola y el aumento de la población humana, la presión sobre los ecosistemas y el impacto en la calidad del agua se incrementan (Jacobsen y Encalada 1998).

Por consiguiente es importante conocer el estado actual de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo (Figueroa et al; 1998, Álvarez; 1999) para que se mantenga un suministro suficiente y de buena calidad a toda la población del planeta; al mismo tiempo preservar las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua. (PNUMA1992).

Una de las reservas muy ricas del recurso agua son los páramos, ubicados en la región Andina por encima de los 3 200 m s.n.m. (Roldan; 1992). Estos ecosistemas proveen del suministro de agua a centros urbanos y rurales, y permiten la generación de energía eléctrica, entre otros beneficios directos.

Los ríos de la región Andina en el Ecuador de acuerdo a Álvarez (1999) están contaminados. El resultado de análisis en muestras recogidas de algunos ríos como el Machángara y Monjas de Quito, Ambato y Cutuchi de Ambato y el Tomebamba de Cuenca por el INERHI, muestra graves índices de contaminación biológica.

Una de las microcuencas más importantes para la ciudad de Cuenca es el río Yanuncay, allí se encuentra una de las nuevas plantas de tratamiento de agua potable con una capacidad de 700 l/s para la ciudad, abastece a 136 000 habitantes (Rengel 2004). La microcuenca se alimenta de las lagunas del sector El Cajas, con una cobertura en su mayoría páramo. Al ser alejadas y de difícil acceso se mantienen en buen estado de conservación.

La conservación de bosques, páramos y humedales nos garantizará su viabilidad hídrica, además de estabilizar el clima a nivel global (Echavarría 1999), a pesar de que existen otras amenazas más complejas como el calentamiento global.

La calidad del agua

La manera más sencilla y práctica de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o relaciones de las medidas de determinados parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que esté evaluada por ciertos estándares o criterios. Las diferentes clasificaciones de calidad de agua están de acuerdo al uso específico al que se le destine (Ministerio del Ambiente 2002).

La mayoría de estudios realizados en Latinoamérica han enfatizado la calidad del agua en aspectos físico-químicos los cuales, representan solo una de las varias mediciones que se debe utilizar para la determinación de la calidad del agua. Es necesario el uso de herramientas integradoras que resuman el efecto global de los principales componentes que conforman el ecosistema acuático (Chapman 1996, Boon y Howell 1997), tal y como ya ha reconocido la Unión Europea mediante la Directiva Marco del Agua (D.O.C.E. 2000) con el uso de los macroinvertebrados bentónicos.

El uso de macroinvertebrados en la determinación de la calidad del agua.

La bioindicación es un importante método para evaluar la calidad del agua a partir del uso de los macroinvertebrados. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que allí está prevaleciendo y de que las fluctuaciones de contaminación que puedan presentarse, no son lo suficientemente fuertes como para provocar un cambio significativo en la misma (Toro et al. 2003).

En ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de plecópteros, tricópteros y efemerópteros (Roldán 1999). Por el contrario, en ríos y quebradas que están siendo contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias, con poco oxígeno y eutrofizadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes de oligoquetos, chironómidos y ciertos moluscos; estas condiciones se dan, por ejemplo, después de una fuerte lluvia, en que el agua se oxigena por la dilución y la

turbulencia; pero ocasionalmente, pueden presentarse algunos individuos que se consideran indicadores de aguas limpias (Roldán 1999, Toro et al. 2003).

La evaluación o monitoreo de la calidad de agua con el uso de macroinvertebrados ha sido ampliamente utilizada y recomendada (Hawkes 1979, Wiederholm 1980, Suess 1982, Hellawell 1986, Abel 1989, Cairns y Pratt 1993, Rosenberg y Resh 1993), en relación a otros grupos de las aguas continentales, debido a que estos ofrecen numerosas ventajas de acuerdo a Slack et al. (1973), Hawkes (1979), Wiederholm (1980), Suess (1982), Penny (1985), Hellawell (1986), Abel (1989) entre estas tenemos:

- 1) Encontrarse en todos los sistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos.
- 2) Su naturaleza sedentaria, que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones
- 3) Presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, los que pueden ser realizados con equipos simples y baratos.
- 4) La taxonomía de muchos grupos está bien estudiada.
- 5) Existen numerosos métodos para el análisis de datos, incluyendo índices bióticos y de diversidad, los cuales han sido utilizados ampliamente en biomonitoreos a nivel comunitario y de respuestas individuales.

Estudios de la calidad del agua con el uso de macroinvertebrados acuáticos se han documentando en varias subcuencas de la cuenca del río Paute (Zárate 1996, Carrasco 1996, Burau 1997, Maldonado 1998, Carrasco 2000, Vimos 2004, Barros 2007a, 2007b y ETAPA 2008). En este trabajo se evaluarán estos factores en la cuenca del río Yanuncay.

El río Yanuncay presenta diferentes tipos de contaminación por actividades antropogénicas, como son: camales clandestinos, agricultura, ganadería, lavado de ropa, descargas de aguas residuales, etc., alterando las condiciones de los ecosistemas acuáticos. El objetivo principal de este estudio es evaluar el estado actual de la calidad del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas invierno y verano.

CAPITULO I

METODOLOGIA

1.1. Descripción del área de estudio

El río Yanuncay, pertenece a la subcuenca del mismo nombre, en el cantón Cuenca. Este río nace en la vertiente interna de la cordillera occidental de los Andes y conforma entre otras la cuenca alta del río Paute; comprende una superficie de 418,88 km² (ETAPA 2007) y según la clasificación efectuada por Carabias et al. (2007) es una “minicuenca” es decir que tiene de 100 a 1000 km².

1.1.1. Características Bio-físicas de la cuenca

a) Hidrología

El agua del río Yanuncay nace en una cota de 4 000 m s.n.m., de los humedales del Parque Nacional Cajas. Los tributarios más importantes son: río Yunguilla, río Minas, río Chan-Chán, río Ishcayrumi, río Bermejós, río Galgal, río Quinguyacu, río Yanta Huaico, río Chico Soldados, río Coles, río Urcumuyuna, río Pircón, río Zhiguin, río Carmuyaco, río Can – Can, río Pucán.

Las microcuencas del río Yanuncay son las siguientes: río Soldados, río Bermejós, río Yanuncay, río Galán y río Quimsacocha.

b) Clima

El clima varía desde templado hasta frío, presenta lluvias en los meses de marzo, abril y mayo, fuertes vientos en el mes de agosto, clima templado en los meses de septiembre a febrero y un clima seco en los meses de noviembre y diciembre (ETAPA, s.a.).

- *Precipitaciones:* Presentes durante todo el año, especialmente entre Enero y Mayo, y entre Septiembre y Diciembre, con una precipitación media de 739 mm anuales.
- *Temperatura:* La temperatura promedio está entre 14°C y 16°C; con variables de 10°C a 20°C.
- *Humedad y evaporación:* El valor promedio diario de humedad relativa es de 76% y la evaporación de 1 270,5 mm.

c) Topografía

La cuenca se extiende desde los 2 480 m s.n.m. (zona baja) y llega hasta los 4.280 m s.n.m. (zona alta), a lo largo de este se encuentra una llanura atravesada por el río Yanuncay, con fuertes pendientes a los lados.

d) Relieve

El valle del río Yanuncay está formado por laderas de fuerte pendiente, conformadas por rocas volcánicas masivas, alteradas y fracturadas en parte, y cubiertas por coluviales de pie de ladera y suelos residuales. El fondo del valle, plano y estrecho, es el asiento de depósitos (terrazas) originados por el río y conos aluviales producidos por pequeños riachuelos transversales. Los cuerpos ígneos masivos forman gargantas que cierran el valle y constituyen el cauce del río.

e) Uso del suelo

Es claro diferenciar el uso de suelo en la parte alta de la subcuenca, en donde predomina la vegetación herbácea (pajonal) y algunos árboles y arbustos (árbol de papel, aliso, puma maqui y plantaciones de pino), con ciertas áreas que son utilizadas para el pastoreo. Además se encuentran dos camales clandestinos descubiertos hace muchos años. El primer camal se encuentra localizado a un costado de la vía Soldados-Angas y el otro a la vía Soldados-Can Can, donde se sacrifica caballos y burros, muchos de ellos enfermos y en deplorables condiciones higiénicas. Luego se abandonan las osamentas al aire libre y la sangre se conduce a un afluente de agua que nace de los cerros y que confluye en el río Yanuncay (El Mercurio 2008).

En la parte media de la subcuenca se encuentran algunos asentamientos, en su mayoría zonas agrícolas de hortalizas y legumbres, además de encontrar algunas plantaciones de eucalipto. En la parte baja de la subcuenca las áreas son de uso residencial y sus riberas son utilizadas para usos recreacionales; el tipo de vegetación presentes en estas áreas verdes son plantaciones de eucalipto y algunos árboles y arbustos nativos (aliso, gañal, sauce, chilca blanca, entre otros).

f) Sustrato

El sustrato del río, en la parte alta del páramo presenta en su mayoría grava, con algunas piedras y bloques de diferente tamaño. En la parte media de la subcuenca el sustrato es de mayor tamaño a los lados del río. Mientras que el sustrato del río en la parte baja, en su mayoría es más homogéneo (>25 cm), rodeado por sedimento fino.

1.1.2. Estaciones de monitoreo

Se establecieron un total de ocho estaciones de muestreo en la subcuenca del río Yanuncay mediante el programa ArcHydro. Este software se basa en el sistema de información geográfica en donde enlaza bases de datos de mapas con información, la cual permite un seguimiento del comportamiento de las aguas superficiales mediante la creación de un modelo a partir de la hidrografía y la dirección del flujo del agua por su altitud; siendo seleccionado de esta manera los puntos más importantes para este estudio de acuerdo a Zárate. E y B. Lakin E (2009) en el estudio de calidad de agua de la provincia del Azuay. Universidad del Azuay-CREA. Cuenca-Ecuador. Los puntos fueron georeferenciados y confirmados en el campo mediante la utilización del GPS (Anexo 1). Además se fotografiaron y describieron cada una de las estaciones (Anexo 2).



Figura 1. Ubicación de las ocho estaciones de muestreo en la subcuenca del río Yanuncay (CG-Paute, UDA. 2007).

1.2. Muestreo

Los muestreo se preveía realizar en dos épocas climáticas que de acuerdo a Jorgensen et al. (1999), la zona de la subcuenca del río Yanuncay tiene precipitación media anual establecida por los cambios en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), en donde se tiene una distribución bimodal de las lluvias, y dos períodos secos durante el año. La estación seca principal va de junio a agosto y, en algunos casos, se extiende hasta septiembre y un período seco menos pronunciado es discernible en la mayoría de sitios durante enero. Los períodos de fuertes lluvias ocurren durante marzo - abril y en octubre-noviembre.

A partir de metodologías estandarizadas se analizó los parámetros físico-químicos, bacteriológicos y biológicos, los cuales se encuentran divididos en tres etapas de trabajo: campo, laboratorio y análisis estadísticos.

1.2.1. Etapa de Campo

Para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos, el análisis de la calidad físico, química y bacteriológica del agua y la calidad del hábitat de cada estación, se seleccionó primero un tramo representativo del río de 100 m de largo, el cual estuvo lo más alejado posible de un camino o vía, considerando en la selección un área lo menos perturbada posible de acuerdo Barbour et al. (1999) y Montejano (2002).

Se inició con la medición de los parámetros físico-químicos *in situ* en cada estación, como es la temperatura (°C) (equipo: OAKTON), pH (unidades) y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (equipo: OAKTON) del agua, ya que estos cambian en cuestión de minutos si se desea llevar y medir en el laboratorio. Los equipos utilizados fueron calibrados antes de cada muestreo.

Después se colectaron los macroinvertebrados bentónicos a lo largo de la subcuenca del río Yanuncay, utilizando la red de patada (1 x 1 m; ojo de malla: 0,5 mm), método apropiado para el muestreo de acuerdo a Barbour et al. (1999) en arroyos y ríos de substratos de piedra, típico de los ríos de montaña y piemontano. Se muestreó un total de 2 m² del sustrato del río, que ha sido empleada por Vimos (2005) en un estudio realizado en la región y en el estudio de CREA.

Para tomar una muestra con la “red de patada” una persona coloca la red sobre el fondo del río y la otra remueve todo el sustrato del fondo en contra de la corriente con el uso de botas. Esta operación se realiza en varios hábitats hasta completar el área de muestreo (Hauer y Reseh 1996, Barbour et al. 1999, Carrera y Fierro 2001).

Para evitar que el material bentónico se derrame, se inclina ligeramente la red y se levantó por los dos extremos. El contenido fue vaciado en una bandeja de plástico de color blanco para poder ver y coleccionar a los organismos acuáticos (Carrera y Fierro 2001) y con la ayuda de pinzas entomológicas se los almacenó en frascos con alcohol al 90%. En este estudio se utilizó una concentración elevada de alcohol debido a que las ninfas tienen un alto contenido de agua, (Alba-Tercedor 1996, Ballesteros et al. 1997, Zúñiga et al. 1997). Se evitó amontonar mucho sedimento en la bandeja, así la tierra del fondo no oculta a los macroinvertebrados.

En el interior y exterior de cada frasco se colocó una etiqueta con la siguiente información: nombre de la subcuenca, microcuenca, fecha, código de la fuente (río), nombre de la fuente, nombre del colector, coordenadas geográficas (Esquema 1).

Esquema 1. Etiqueta colocadas en cada frasco: con muestras de insectos y de agua.

Subcuenca:	Microcuenca:
Fecha:	Código de la fuente (río):
Nombre de la fuente:	Nombre del colector:
Coordenadas geográficas: X:	Y: Z:
Muestra: Físico-química-----	Bacteriológica----- Biológico-----

Después se recolectaron muestras de agua superficial en frascos plásticos de cada estación para el análisis de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Las muestras fueron almacenadas en frascos de 2 L y frascos estériles de 500 ml, respectivamente y fueron trasladadas y analizadas en el laboratorio. Las muestras fueron tomadas antes o en su defecto, aguas arriba de la zona donde se realizaron los otros muestreos (especialmente el biológico) ya que el caudal del río puede condicionar las características físico-químicas del agua (Acosta et al 2009).

Al haber realizado el análisis de los parámetros físico-químicos in situ del agua y la colecta de las diferentes muestras, se caracterizó la calidad física del agua y la calidad del hábitat siguiendo la metodología de Barbour et al. (1999) con fichas de campo (Anexo 3). Por último se midió el caudal del río.

Medición del caudal del río, mediante el método del flotador.

Los ríos andinos tienen un régimen hidrológico permanente pero muy variable en función de las lluvias. Debido a que el caudal del río puede condicionar las características físico-químicas del agua y el tipo de organismos presentes, es importante medirlo. El caudal, además, también nos puede dar una idea de la capacidad de dilución de los aportes contaminantes (Acosta 2009).

El caudal es el resultado del producto entre la sección o la media de varias secciones del río (expresado en m^2 o cm^2) y la velocidad media del agua (que se expresa en m/s o cm/s). Las unidades más utilizadas son los litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo (m^3/s) (Acosta et al. 2009).

Inicialmente se calculó la sección del río colocando una cinta métrica que ocupa toda la anchura del cauce (a), procurando que esté tensada. A continuación, se tomó las medidas de profundidad (p) mediante una estaca graduada a intervalos regulares, esta medición es proporcional a la anchura del tramo. La velocidad del río se mide utilizando un objeto flotante, el cual se deja caer para que flote sobre la superficie que seguirá río abajo hasta una distancia (d) de 5 a 15 metros. En forma complementaria se midió el tiempo (t) en que recorre la distancia seleccionada (Fig. 2). Se tomaron, como mínimo 3 medidas del tiempo recorrido para calcular la velocidad (Acosta et al. 2009).

Finalmente el caudal aproximado se obtiene multiplicando la sección media (m^2) por la velocidad superficial (m/s) y por un factor (k), que para los ríos rugosos es de 0.8. (Acosta et al. 2009).

$$c = \frac{d \cdot a \cdot p \cdot k}{t}$$

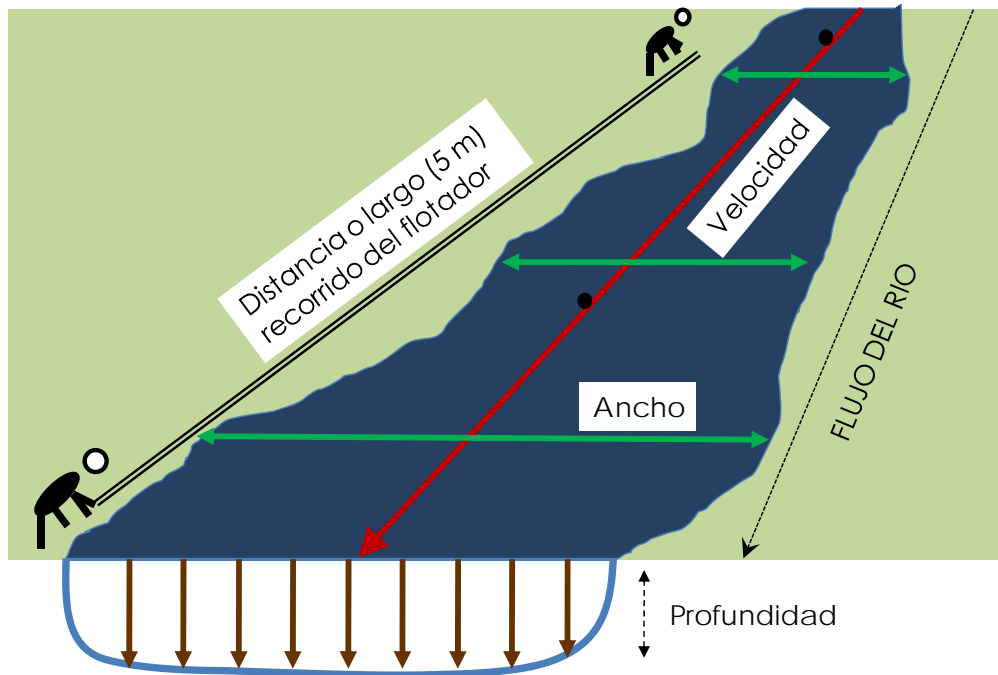


Figura 2. Diagrama de medición del caudal del río.

1.2.2. Etapa de laboratorio

Los organismos colectados fueron identificados hasta el nivel de familia en los laboratorios de la Universidad del Azuay (UDA) con el uso de un estereomicroscopio. Esta metodología nos proporciona un alto grado de precisión entre las muestras y taxonomía, exige una menor especialización y acelera los resultados de la valoración (Barbour et al. 1999). Las claves utilizadas para la identificación de los macroinvertebrados bentónicos fueron los trabajos de: Roldán (1996), Domínguez (2001), Paprocki y Muñoz (2002) y Roldán (2003).

Los parámetros físico-químico evaluados fueron: turbiedad (NTU), nitritos ($\mu\text{g/l}$), nitratos (mg/l), DQO (mg/l), DBO_5 (mg/l), fosfatos totales (mg/l), nitrógeno amoniacal (mg/l), cloruros (mg/l) y la dureza total (mgCaCO_3/l) siguiendo métodos de referencia dados por Standard Methods (2005).

El análisis microbiológico del agua determinó coliformes fecales y totales mediante el método NPM/ml, que consiste en conocer la presencia de coliformes y determina su número más probable por unidad de volumen en el agua. El número más

probable de coliformes en una muestra de agua es la densidad más probable en producir un resultado particular (Romero 2002).

1.2.3. Análisis Estadísticos

Se calcularon índices estandarizados que permitieron determinar y evaluar la calidad del agua. El análisis estadístico que fue aplicado para cada una de las variables físico, químico y biológicos fue la prueba ANOVA de una vía, la cual descarta la no influencia de algún parámetro y establece si existen diferencias entre las estaciones de este estudio. Además se realizó un análisis Clúster para establecer la similitud entre las estaciones de acuerdo a las variables físico-químicas y biológicas más influyentes.

Los índices utilizados se presentan a continuación.

1.2.3.1. Índices físico-químicos

- a) **Índice de calidad del Agua (ICA).**- Este índice es una versión modificada del Water Quality Index (WQI) que fue desarrollada por Brown (1973) para la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF). Se propuso como un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares de Estados Unidos (Fernández et al. 2008). Dada la diversidad de los contaminantes de las aguas, es útil disponer de un índice agregado que refleje las condiciones generales de calidad de un cuerpo de agua, o sea, un indicador de calidad. Es aceptado y aplicado por la Agencia de Control de Contaminación en el Estado de São Paulo (CETESB), denominándolo como Índice de Calidad de las Aguas (IQA, Índice de Qualidade das Aguas). Este índice está compuesto por siete parámetros: coliformes fecales, pH, DBO₅, temperatura, fosfatos totales, nitratos y turbiedad. Cada parámetro tiene un peso de 0 a 0.9, cuya sumatoria es igual a 1 (Tabla 1) (Sánchez 1995).

Tabla 1. Pesos de cada uno de los parámetros en el ICA.

Parámetros	Valor W_i
Coliformes Fecales	0.211
pH	0.145
DBO ₅	0.145
Temperatura	0.132
Fosfatos Totales	0.132
Nitratos	0.132
Turbiedad	0.105
Total	1.00

Fuente: Lutz 2009.

Finalmente se debe realizar una evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, el cual arroja una ecuación con valores entre 0 y 100 que califica la calidad del agua y estima el nivel de contaminación para consumo humano (Brown et al.1973).

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde:

Sub_i: es subíndice del parámetro i.

w_i: son los pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que la sumatoria se cumpla y sea igual a uno.

La clasificación del agua está dada de acuerdo a las siguientes categorías planteada por Brown (1973) (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del ICA propuesto por Brown (1973).

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Azul	91 a 100
Buena	Verde	71 a 90
Regular	Amarillo	51 a 70
Mala	Anaranjado	26 a 50
Pésima	Gris	0 a 25

Fuente: Fernández et al. 2008

1.2.3.2. Índices Biológicos




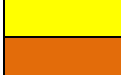


Los índices que se aplicaron para los macroinvertebrados bentónicos fueron: Andean Biotic Index (ABI), Índice EPT, Riqueza de Taxa, Índice de Equitabilidad, Porcentaje de Contribución de la Familia Dominante, Proporción de EPT/Chironomidos y el Índice de diversidad de Simpson.

- a) **Andean Biotic Index (ABI).** El inventario taxonómico de familias del ABI y sus respectivos valores de tolerancia/sensibilidad se han derivado de publicaciones científicas internacionales y regionales, reportes técnicos y tesis universitarias no publicadas. La revisión sobre la cual fue construido este índice, incluye desde descripciones taxonómicas de especies hasta estudios ecológicos y de impacto ambiental, y su cálculo es similar al del IBMWP (Alba-Tercedor y Sánchez 1988), para la región Andina, el cual constituye una suma de las puntuaciones de todas las familias presentes en el sitio y su nivel de tolerancia a la contaminación hídrica. Este índice se aplica solo en los Andes por encima de los 2 000 m s.n.m. (Acosta et al. 2009).

El Índice Biótico de los Andes (ABI) presenta rangos de valores de tolerancia comprendida entre 0 y 10 (Anexo 4). Los valores bajos son de tolerancia alta a la contaminación, mientras que los valores altos son indicadores de buena calidad del agua, siendo sensibles a la contaminación. Se debe tener en cuenta variaciones de tipo geográfico para definir las familias predominantes de la comunidad (Acosta et al. 2009).

La sumatoria de las puntuaciones de cada estación interpreta la calidad del agua. En la Tabla 3 se presenta el valor y el significado del índice ABI y sus colores en representaciones cartográficas (Alba-Tercedor et al. 1998).

Tabla 3. Significado de los valores del índice biológico (ABI).

Clase	Valor	Significado	Color
	>120	Aguas muy limpias	
I	101 – 120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	61 – 100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	
III	36 – 60	Aguas contaminadas	
IV	16 – 35	Aguas muy contaminadas	
V	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Alba-Tercedor (1996).

b) Índice EPT.- Este índice determina el número total de taxa comprendidos dentro de los grupos de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Plafkin et al. 1989). Estos grupos de insectos son generalmente considerados como sensibles a la polución, mientras mayor es el valor obtenido mejor es la calidad del agua (Plafkin et al. 1989, Peckarsky 1993) (Tabla 4).

Tabla 4. Categorías del índice EPT.

75 - 100%	Muy buena
50 - 74%	Buena
25 - 49%	Regular
0 - 24%	Mala

Fuente: Carrera y Fierro 2001.

c) Riqueza de Taxa.- Esta medida determina el número total de taxa de macroinvertebrados bentónicos presentes en la muestra, reflejando de esta manera la salud de la comunidad (Plafkin et al. 1989) y tiene una relación inversa con el grado de estrés, por tanto mientras mayor riqueza exista menor será el grado de estrés que soporta un medio (Lenat 1993, De Pauw y Hawkes 1993). La riqueza de taxa junto con los índices bióticos son las medidas más usadas en la evaluación de la calidad del agua (Lenat 1993).

d) Índice de Equitatividad ($J = H/H_{max}$).- Es una medida de la distribución de abundancias en una población (Hayek y Buzas 1997). El valor de uno significa que se tiene una gran equitatividad, es decir que todas las especies tiene la misma proporción de individuos. Un valor bajo indica que gran parte de la asociación es dominada por individuos de muy pocas especies (Jaramillo 2001).

- e) **Porcentaje de Contribución de la Familia Dominante.-** Utiliza la abundancia numérica del taxón dominante y lo compara con el resto de la población, indicando un balance de comunidad a nivel de familia. Una comunidad dominante por pocas familias podría indicar estrés ambiental (Plafkin et al. 1989). En este caso los valores bajos son buenos, indicando una mayor igualdad en la distribución de los individuos. Para obtener esta medida se divide el número de individuos de la familia más común para el número total en la muestra (Peckarsky 1993).
- f) **Proporción EPT/Chironomidos.-** Esta proporción determina el balance de la comunidad, utilizando la abundancia relativa de los grupos indicadores de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera vs Chironomidos. Cuando la distribución de estos grupos es igual, la condición biótica de la comunidad es buena. Una abundancia baja de taxas de EPT indica estrés tóxico; así mismo un desproporcionado número de chironomidos en relación a estos grupos sensitivos de insectos puede indicar estrés ambiental. Para obtener esta medida se cuenta el número total de organismos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la muestra y se divide para el número de Chironomidos (Plaklin et al. 1989, Peckarsky 1993).
- g) **Índice de diversidad de Simpson.-** Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Peet 1974, Magurran 1988).

$$I = \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde:

ni = número de individuos por especies

N = número de individuos

1.2.3.3. Hábitat

Calidad del hábitat.- Barbour et al. (1999) define a la valoración del hábitat como la evaluación de la estructura física del hábitat circundante: estructura de la orilla, morfología del cauce y vegetación ribereña, que influye en la calidad del recurso agua y las condiciones de las comunidades acuáticas residentes. Esta calificación es subjetiva, depende mucho de la estimación del investigador a las características del sector que rodea a las estaciones.

La matriz de valoración del hábitat, se desarrolló a partir de RBPs presentado por Plafkin et al. (1989) y de los “Methods of Evaluating Stream, Riparian, and Biotic Conditions” por Platts et al. (1983); es modificado por Barbour y Stribling (1991, 1994) y actualizado por Barbour et al. 1999. Los 10 parámetros están evaluados en una escala numérica del 0 al 20, las cuales se agrupan en 4 categorías: Optima 20-16, Suboptima 15-11, Marginal 10-6, Pobre 5-0 (Anexo 5).

Luego establecida la puntuación de cada estación, se categoriza la puntuación de acuerdo a la evaluación (Tabla 5).

Tabla 5. Categoría de la evaluación de la calidad del hábitat.

Categoría de evaluación	Porcentaje de comparación	Simbología
Buena	≥90%	B
Aceptable	75 – 88%	A
Parcialmente aceptable	60 – 73%	PA
No aceptable	≤58%	NA

Fuente: Plafkin et al. (1989).

1.2.3.4. Dendograma Clúster

Se utilizó el programa MINITAB Statistical Software (1998) versión 12.8 para determinar el porcentaje de similitud entre las estaciones de acuerdo a las distancias Euclidianas a partir del uso de las variables físico-químico y biológicas más influyentes (temperatura, conductividad, caudal, índice de diversidad de Simpson, equitatividad, EPT, relación EPT/Chironomidae y porcentaje de la familia dominante); mientras menor sea el porcentaje menor similitud. Para la agrupación de datos se aplicó el método de Ward (Ward 1963) que utiliza la varianza mínima o

error de la sumatorias de los cuadrados clúster; a cada interacción, todas las parejas de grupos posibles son comparados y agrupados entre aquellos que tengan un valor menor de varianza.

CAPITULO II

RESULTADOS Y DISCUSION

No se encontró diferencias estadísticas significativas entre los resultados colectados en las épocas de verano e invierno, debido a que las condiciones climatológicas del año 2008 fueron atípicas, pues se presentan precipitaciones constantes en todos los meses. Carrasco (2008) sugiere que las lluvias van de enero a mayo y la época de sequía desde junio a diciembre. Al no contar con esta condición los análisis de los resultados se centraron en establecer diferencias entre las estaciones de muestreo.

2.1. Aspectos Físico-químicos.

En las estaciones de muestreo se realizaron cuatro períodos de medición de los parámetros físico-químicos *in situ* a excepción en la estación YAN 5 en el mes de junio, por encontrarse en construcción un puente en la vía Soldados-Can Can.

Los resultados obtenidos en los parámetros físicos-químicos fueron los siguientes:

2.1.1. Temperatura

La temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia para los organismos acuáticos, al ser muy sensibles a variaciones mínimas térmicas del agua como lo indican Zúñiga (1996) y Roldán (1992); en el caso de existir efluentes calientes pueden alterar negativamente el ecosistema, su incremento reduce la disponibilidad de oxígeno para los organismos, más aun si el metabolismo microbiano aumenta al elevarse la temperatura (hasta cierto límite) (Urrutia 2003).

En la Fig. 3 se puede observar una relación proporcional inversa de la temperatura con la altitud, esto concuerda con los estudios realizados por Bach et al. (2003) y Jacobsen et al. (1997) en varios pisos altitudinales. Además se fortalece la

ausencia de contaminación térmica, que suele presentarse por centrales térmicas u otro tipo de actividad. Todos los valores se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS, 2003). Promedios altos de temperatura se obtuvieron la estación YAN 2 (máxima: 13,33° C), ubicada en la parte baja de la microcuenca; mientras el valor más bajo se encontró en la estación YAN 4 con un promedio de 8,53° C situada a 3 780 m s.n.m.

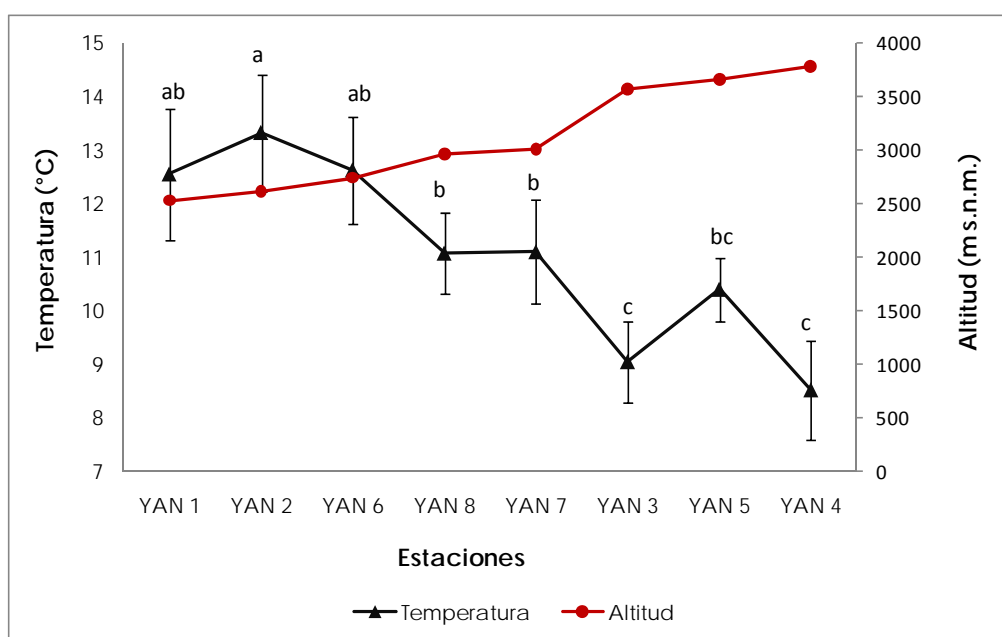


Figura 3. Valores promedio de la temperatura ($n = 4$) en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay de acuerdo a la altitud; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.2. pH

Cada organismo tiene un límite de pH dentro del cual su crecimiento se hace posible. La mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales tienen un pH que oscila entre 5,0 y 9,0. Muy pocas especies pueden crecer en pH inferiores a 2 o superiores a 10 (Roldán 1992, Urrutia 2003); mientras que para la preservación de la flora y fauna de acuerdo al TULAS (2003) nos indica que los valores máximos permisibles deben ser de 6.5-9.

Los valores promedios de pH encontrados en las estaciones de la subcuenca del río Yanuncay están dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el

TULAS (2003); el valor más bajo obtenido fue en la estación YAN 5 (pH = 7,78) y el más alto en la estación YAN 3 (pH = 8,17) que corresponden a un pH básico. Estos valores son semejantes a los valores obtenidos por ETAPA, los cuales son aptos para la sobrevivencia de la flora y fauna acuática (Fig. 4).

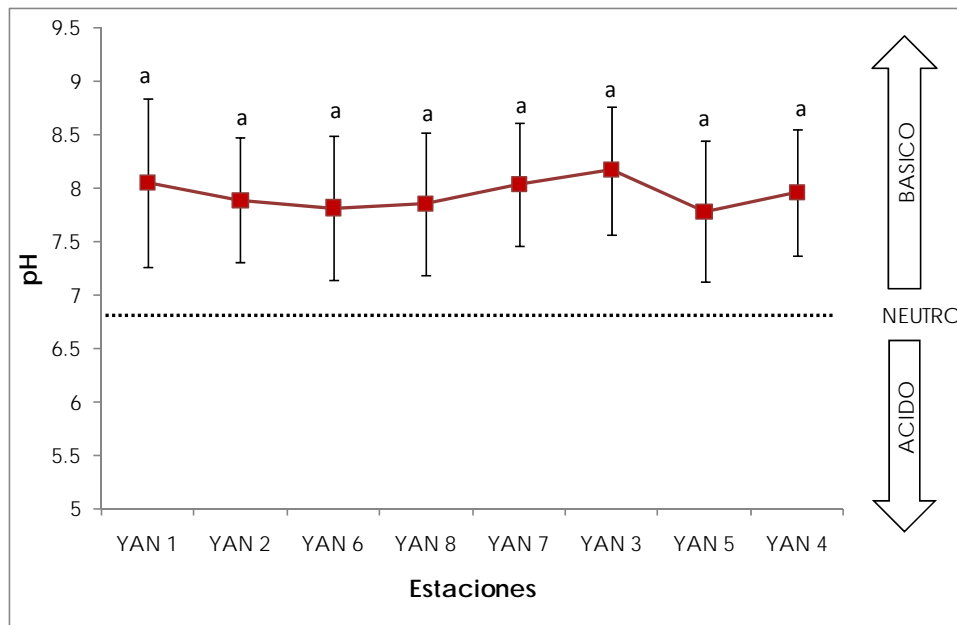


Figura 4. Valor promedio del pH encontrados en las ocho estaciones de muestreo (n = 4), de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas (P < 0.05).

2.1.3. Conductividad y dureza total

La conductividad y la dureza total son dos parámetros cuyos valores están relacionados y reflejados en el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial (Restrepo y Tobón 2002).

La conductividad es medida por la capacidad del agua para conducir la electricidad; por tanto indica el material ionizable total presente en el agua. Un aumento en la conductividad de las aguas naturales afecta la productividad de los ecosistemas (Restrepo y Tobón 2002).

La conductividad encontrada en las estaciones difiere significativamente, los cuales se encuentran en tres grupos diferentes. El primer grupo se ubica en la parte baja de la subcuenca con valores altos, YAN 1 con una $\bar{x} = 69,8 \mu\text{S/cm}$, seguida de YAN 2 con una $\bar{x} = 60,4 \mu\text{S/cm}$ y YAN 6 con una $\bar{x} = 58,65 \mu\text{S/cm}$, el segundo

grupo conformados por YAN 8 ($\bar{x} = 50,38 \mu\text{S/cm}$), YAN 7, ($\bar{x} = 51 \mu\text{S/cm}$) están situados en la parte media de la subcuenca; valores inferiores se tiene en el tercer grupo con un promedio de $45,2 \mu\text{S/cm}$ en la estación YAN 3, $36,87 \mu\text{S/cm}$ en la estación YAN 5, y $42 \mu\text{S/cm}$ en la estación YAN 4, estos pertenece a la parte alta de la subcuenca.

En general todos los valores promedios de conductividad del agua se encuentran dentro de los rangos permisibles de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1995) que exige valores menores a los $1500 \mu\text{S/cm}$ para consumo humano. Los resultados sugieren un incremento de la conductividad del agua cuando existe una mayor intervención humana.

La dureza total en el agua es el resultado de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas. Esta refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua. De estos elementos, el calcio y el magnesio constituyen los principales alcalinotérreos en aguas continentales. Es importante conocer que la dureza total no suele ser un problema para el consumo humano ni para muchas especies acuáticas (Cárdenas 2005).

La dureza total evaluada en las estaciones de muestreo registra valores que no tuvieron diferencias significativas y corresponden a aguas blandas ($< 100 \text{ mg/l}$) de acuerdo a la clasificación de Cárdenas (2005). La OMS (1995) indica que todos los valores de las estaciones están dentro los límites permisibles ($< 500 \text{ mg/l}$). El resultado más bajo se presentó en la parte alta de la subcuenca en la estación YAN 5 con $10,42 \text{ mgCaCO}_3/\text{l}$ y el más alto en la estación YAN 1 con $19,19 \text{ mgCaCO}_3/\text{l}$ ubicado en la parta baja de la subcuenca del río Yanuncay (Fig. 5).

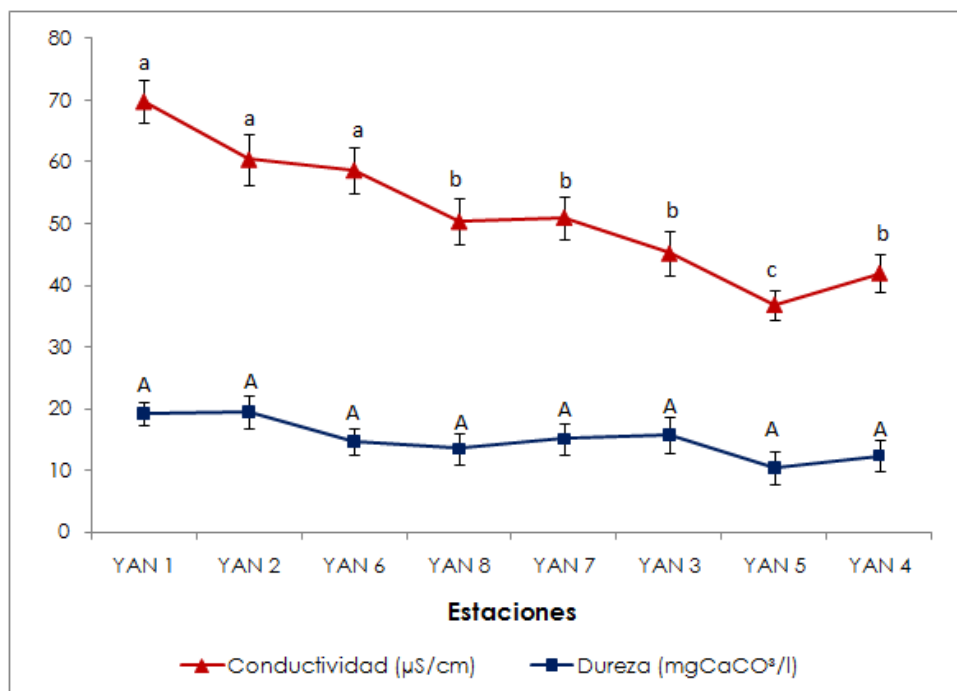


Figura 5. Valores promedio de la conductividad y dureza total obtenidos en las ocho estaciones de muestreo; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.4. Turbiedad y Caudal

Los parámetros de turbiedad y caudal son dos variables que están en relación con las condiciones geomorfológicas, fisiográficas, de la cobertura vegetal sobre la cuenca del río y los eventos de lluvia y actividades que se realizan en la cuenca de influencia (Vimos 2004).

La turbiedad por su parte define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada suspendida. El tipo de materiales que contribuyen a la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita la transmisión de la luz en ella. Mientras que el caudal es la cantidad de agua que pasa por un punto del río, en un tiempo determinado. (Roldán 1992).

Los resultados obtenidos de la turbiedad no difirieron entre las estaciones de muestreo, se sitúa entre 26,04 UTN (YAN 5) y 18,89 UTN (YAN 4) (Fig. 6), esto nos indica que la subcuenca del río Yanuncay no presenta niveles de erosión fuertes ni evidencia un aumento de sedimentos o turbiedad por escorrentía al río (Ruza 1993, Forman et al. 2003, Buytaert et al 2006).

Los resultados en este estudio comparados con los valores de referencia del TULAS (2003) no superan los 100 UNT que es el límite máximo permisible que requieren un tratamiento convencional para consumo humano; no existen límites permisibles para preservar la flora y fauna acuática, la cual se vería afectada con la obstrucción de sus agallas de respiración o visualización de sus presas (Roldán 1992, De Lange 1994). Existe un registro alto de la turbiedad en los 24 años de monitoreo realizados por la empresa municipal ETAPA en el año de 1994 con un valor máximo de 144 UNT, la cual se ubica en la zona baja de la subcuenca.

En cuanto al caudal, las estaciones ubicadas en las zonas alta, media y baja, incrementan respetivamente por los aportes de los tributarios que están a lo largo de la subcuenca; por tanto el caudal promedio más alto encontrado fue en la estación YAN 1 con $12,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (zona baja) y el caudal más bajo se presentó en la estación YAN 5 con $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ (zona alta) (Fig. 6).

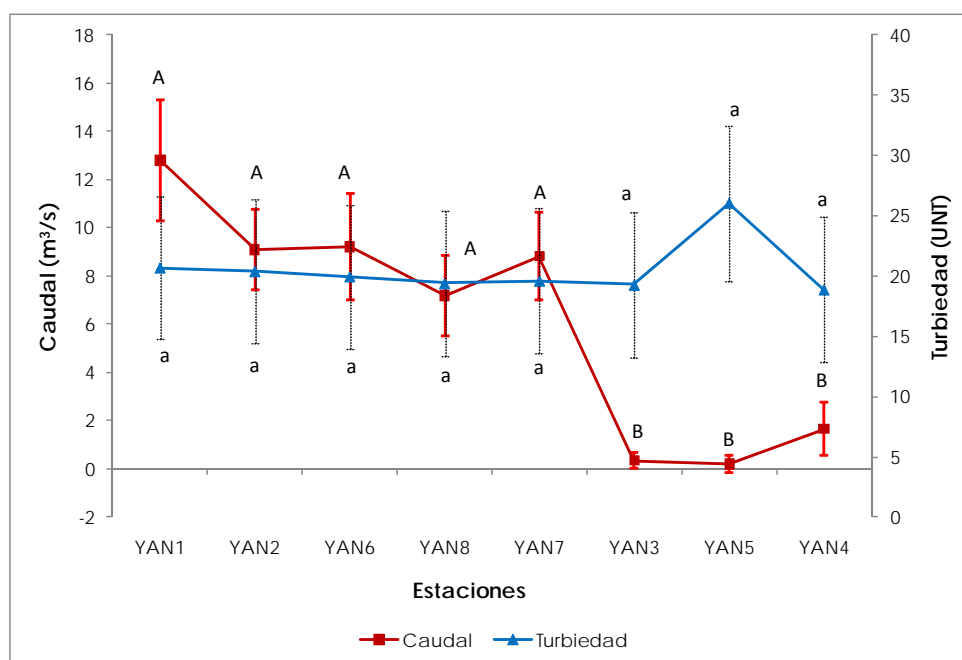


Figura 6. Promedio del caudal y la turbiedad encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.5. Nitritos

En la Fig. 7 se encuentran los valores promedio encontrados en las ocho estaciones de muestreo; la estación YAN 1 ubicada en la parte baja de la subcuenca tiene el valor más alto con 12 $\mu\text{g/l}$, esta difiere de las estaciones restantes que se encuentran en un valor promedio de 2 $\mu\text{g/l}$.

De acuerdo al TULAS (2003) los resultados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para la preservación de la flora y fauna acuática que es de 60 $\mu\text{g/l}$; esto puede deberse al constante incremento de caudales que permiten el lavado de cualquier materia orgánica que incrementa estos valores como son las descargas puntuales de aguas residuales o difusa de la ganadería que por medio de filtraciones del suelo llegan al río (Alfaro y Salazar 2006).

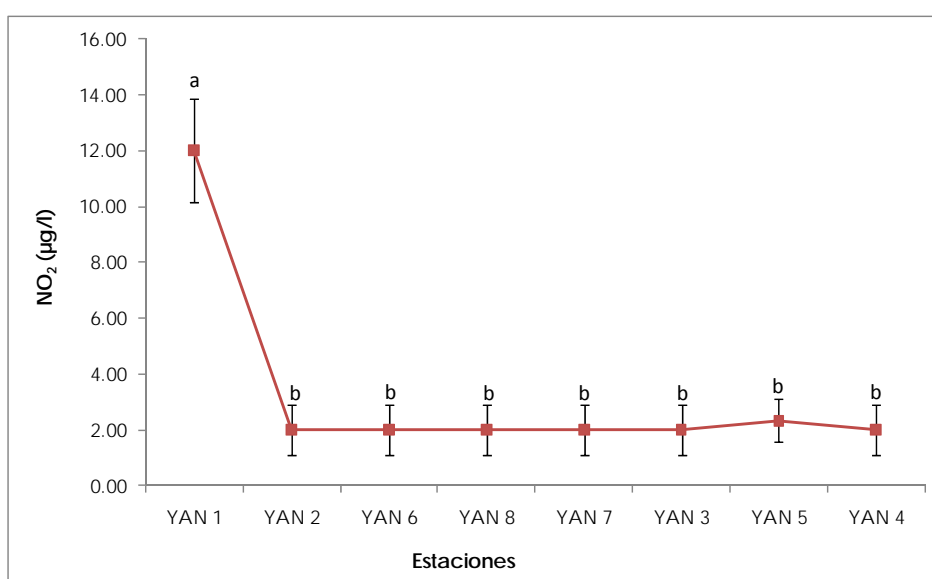


Figura 7. Valores promedio de los nitritos encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.6. Nitratos

Los nitratos es un parámetro que se deriva de la contaminación por materia orgánica (Alfaro y Salazar 2006). Los resultados encontrados en este estudio oscilan entre 0,05 - 0,10 mg/l (Fig. 8) y se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el TULAS (2003) y la OMS (1995) que son de 10 mg/l

y 50 mg/l respectivamente, ya que no existen valores máximos permisibles para la preservación de la flora y fauna del TULAS. Además de concordar con los resultados de los monitoreo realizados por ETAPA desde el año 1995 al 2008 en las zonas bajas de la subcuenca del río Yanuncay (ETAPA 2008).

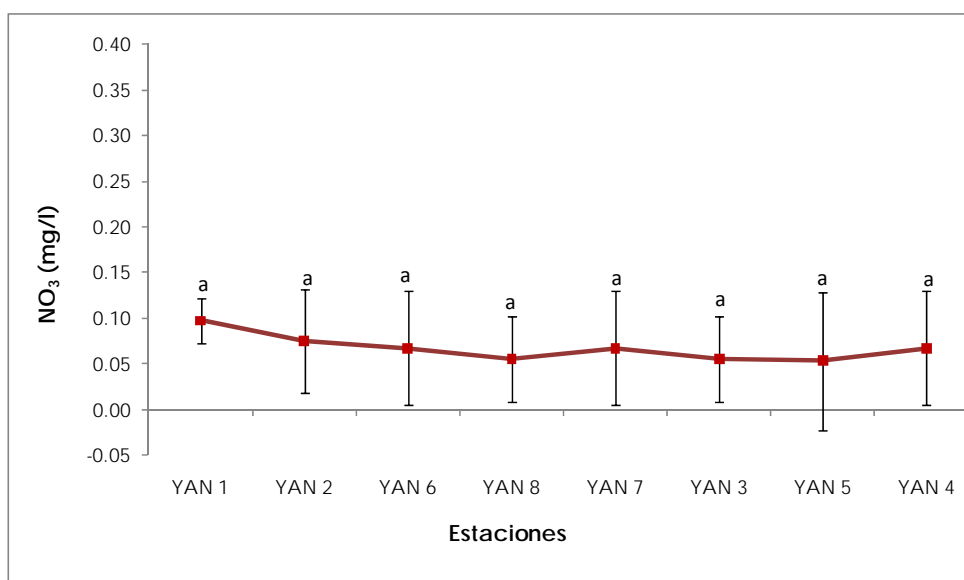


Figura 8. Valores promedio de los nitratos encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno consumida por las materias existentes en el agua, cualquiera sea su origen, biodegradable y no biodegradable. El vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales incrementa el contenido de materia orgánica en el agua, aumentando la DQO con la consecuente disminución del oxígeno disuelto. Aguas no contaminadas de ríos suelen tener de 1 a 5 mg/l, aguas residuales entre 250 y 600 mg/l (Restrepo y Tobón 2002, TULAS 2003).

Los valores encontrados en las ocho estaciones de muestreo superan los valores máximos permisibles de acuerdo a TULAS (2003), el valor más alto encontrado fue en la estación YAN 5 (zona alta) con un promedio de 15,33 mg/l y el más bajo de 7 mg/l ubicado en la estación YAN 1 (zona baja), esto puede deberse a los diferentes aportes difusos como la ganadería y descargas de aguas residuales no interceptada dentro de la subcuenca que afecta la calidad del agua (Fig. 9). Valores

altos y bajos entre las diferentes estaciones se debe a que los ríos tienen una gran capacidad de autodepuración, transformando la materia orgánica que reciben en sustancias minerales, al ser biodegradados por los microorganismos existentes en el agua en presencia del oxígeno disuelto proveniente fundamentalmente del contacto del agua con la atmósfera, y del proceso de fotosíntesis realizado por las plantas acuáticas, todo esto da como resultado una mejoría de la calidad del agua en ciertas zonas (Ruza 1993).

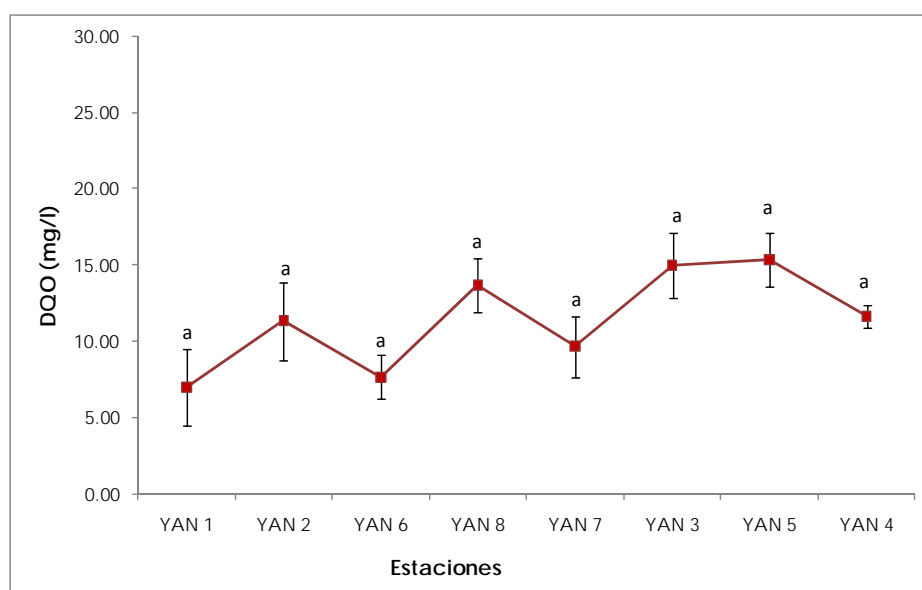


Figura 9. Valores promedio de la DQO encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Este se define a la cantidad de oxígeno requerido por los organismos acuáticos para poder descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Este parámetro permite conocer la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua a través de una serie de mediciones de oxígeno.

Valores bajos de DBO_5 reflejan un cuerpo de agua de calidad ecológica oligosapróbica, de baja turbiedad y color, con un contenido de sólidos volátiles y nutrientes bajos que permiten la existencia de fauna acuática de gran riqueza y diversidad (ETAPA 2008), lo cual fue encontrado en la zona media y alta, además están dentro de los límites máximos permisibles (2,0 mg/l) establecidos por el

TULAS (2003) con tratamiento convencional, pero para la preservación de la flora y fauna no existe.

En tanto que, valores altos fueron hallados en la estación YAN 1 con un promedio de 4,91 mg/l, que al comparar con los monitoreos de ETAPA desde el año 1984 al 2008 (ETAPA 2009) los valores son semejantes, esto sugiere la presencia aún de ciertas descargas directas de aguas residuales en los ríos, a pesar de los interceptores que se tienen desde 1996 (ETAPA 2008), el cual refleja un cuerpo de agua muy contaminado, polisapróbico, en donde solo viven los organismos más resistentes a la contaminación, tornándose el agua de un aspecto séptico con alta turbiedad, color y olor (Restrepo y Tobón 2002, ETAPA 2008).

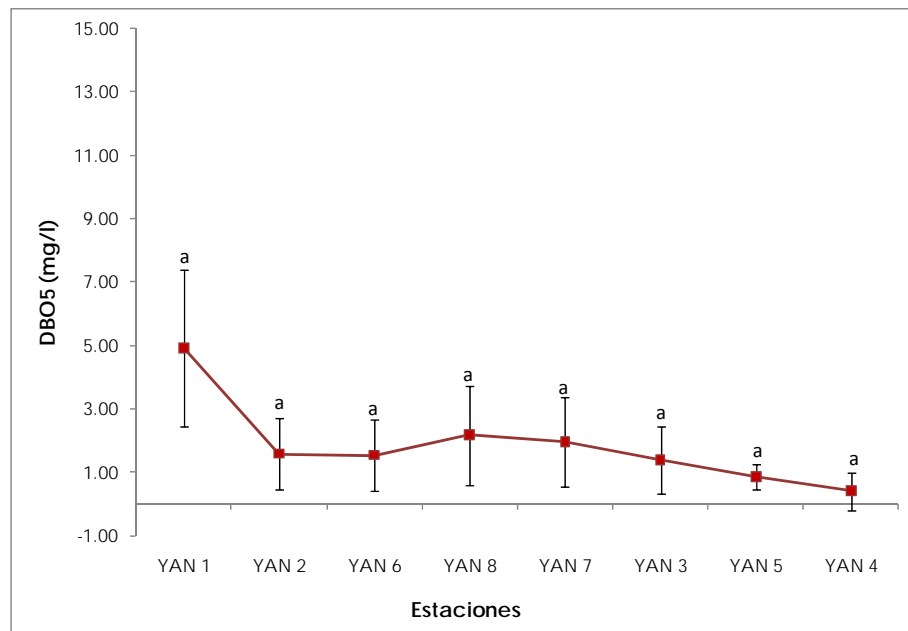


Figura 10. Valores promedio de DBO₅ encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.9. Fosfatos Totales

Los fosfatos totales es otro de los parámetros indicadores de contaminación por pesticidas y también por la materia orgánica, la cual tiene un efecto letal sobre la vida acuática o una predisposición a acumularse en la cadena trófica o puede presentarse en condiciones naturales (Alfaro y Salazar 2006).

Los valores encontrados en la subcuenca del río Yanuncay van desde 0,32 mg/l en la estación YAN 1 ubicada en la zona baja hasta 0,06 mg/l en la estación YAN 5 perteneciente a la zona alta (Fig. 11), los cuales representan valores mínimos e indican que los niveles de contaminación no representaría un peligro para la flora y fauna a pesar de no existir valores máximos permisibles acuerdo al TULAS (2003). Los valores de este estudio se mantiene cercanos a los obtenidos en los monitoreos realizados por ETAPA (2008) desde el año 1998 hasta el 2008 con un promedio de 0,13 mg/l y un valor máximo registrado de 0,40 mg/l en el año 2007.

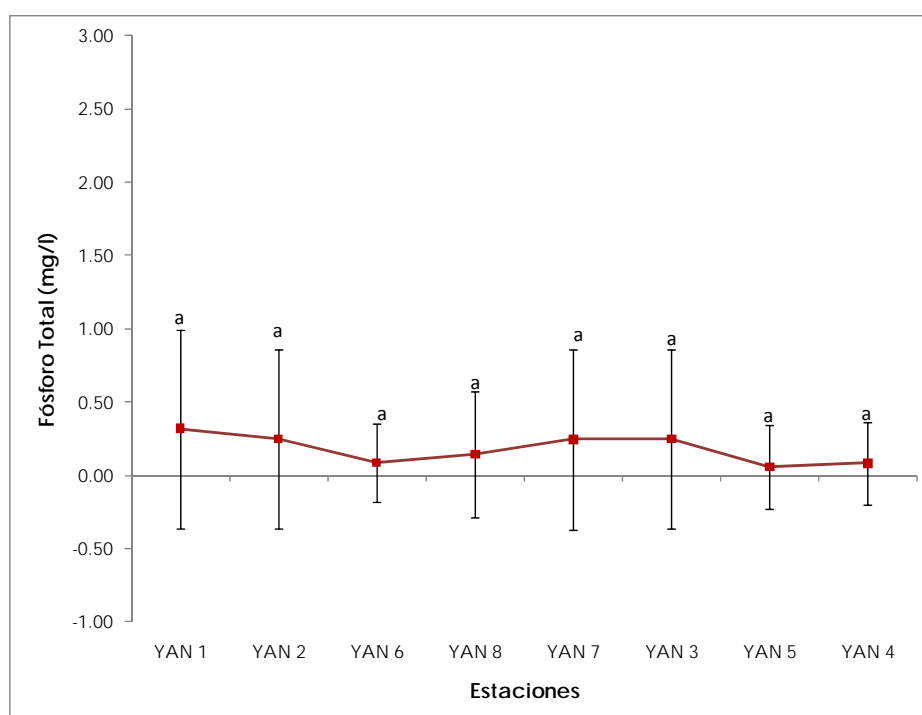


Figura 11. Fosfato totales promedios encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.1.10. Nitrógeno Amoniacal

El único registro de nitrógeno amoniacal se tuvo en la estación YAN 1 con 0,07 mg/l correspondiente al mes de agosto, de los tres períodos de muestreo realizados (junio, agosto y noviembre), por tanto este valor se encuentra dentro de los valores máximos permisibles para la potabilización del agua de 0,50 mg/l de acuerdo a las Normas Mexicanas (Olaiz 1995) los cuales son más exigentes para la preservación de la flora y fauna. Este parámetro no está normado en Ecuador.

2.1.11. Cloruros

La concentración de cloruros es quizá el parámetro que más influye en la distribución de los organismos acuáticos, por cuanto estos tienen que vencer la presión osmótica ejercida por ellos (Roldán 1992).

Por lo regular, las aguas de lagos y ríos de montaña presentan contenidos muy bajos de cloruros (<5 mg/l), estos incrementan su contenido debido a los minerales que son arrastrados por las lluvias en las partes bajas (Roldán 1992). Los valores promedios encontrados en este estudio oscilan entre 0,71 y 1,66 mg/l los cuales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (250 mg/l) con tratamiento convencional establecidos por el TULAS (2003) y concuerda con el promedio máximo de 4.9 mg/l para ríos sudamericanos indicado por Livingstone (1963) (en Roldán 1992). En aguas lluvias se puede tener desde 0,02 mg/l hasta más de 200 mg/l (Romero 2002).

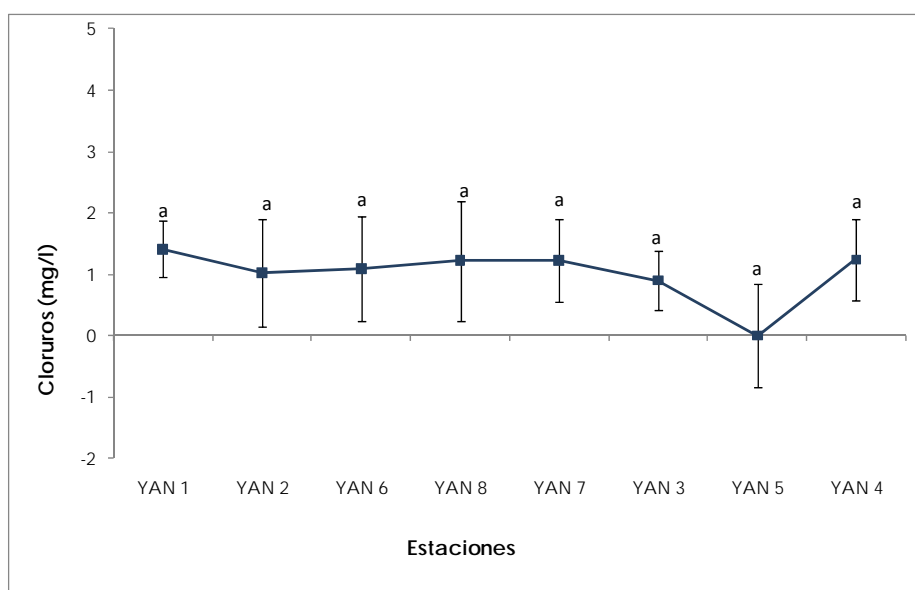


Figura 12. Cloruros promedios encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.2. Parámetros Bacteriológicos

2.2.1. Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un indicador exclusivo para uso del agua por los humanos, no interfieren sobre el ecosistema del río sino forma parte de él (ETAPA 2008, citado en Carrasco 2008).

Los valores encontrados de los coliformes fecales no tuvieron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo luego de haber normalizado los resultados (se resto la media y dividió por la desviación estándar) (Fig. 13). Los valores máximos se presentaron en las estaciones YAN 1 y YAN 2 con ≥ 16000 NMP/100 ml, mediante el método del número más probable sobre 100 ml de agua; estas estaciones se ubican en la parte baja de la subcuenca y tienen mayor influencia huma (descargas de aguas residuales no interceptadas), por tanto están fuera de los límites máximos permisibles establecidos por TULAS (2003) para la preservación de la flora y fauna que es 200 NMP/100 ml; mientras que el valor más bajo se halló en la estación YAN 4 con 4 NMP/100 ml y un promedio de 6,67 NMP/100 ml, están dentro de los límites máximos permisibles.

De acuerdo a los monitoreos realizados por ETAPA en la zona baja de la subcuenca, se tiene un incremento de los coliformes fecales desde el 2003 al 2007, pero una disminución en el 2008, lo cual no es sustancial, y se confirma con los valores obtenidos en las estaciones YAN 1 y YAN 2, la necesidad de los interceptores de aguas residuales proyectados en el Plan Maestro II establecidos por ETAPA al estar fuera de los límites máximos permisibles establecidos por TULAS (2003).

Es importante considerar que se realizó monitoreos en los años 2007–2008 por parte de ETAPA en las zonas cercanas a los dos camales clandestinos de la zona alta de la subcuenca, los resultados obtenidos tuvieron altas concentraciones de coliformes fecales, es decir estos dos puntos son la principal fuente de contaminación de la subcuenca alta, además de tener otras fuentes como ganadería y agricultura.

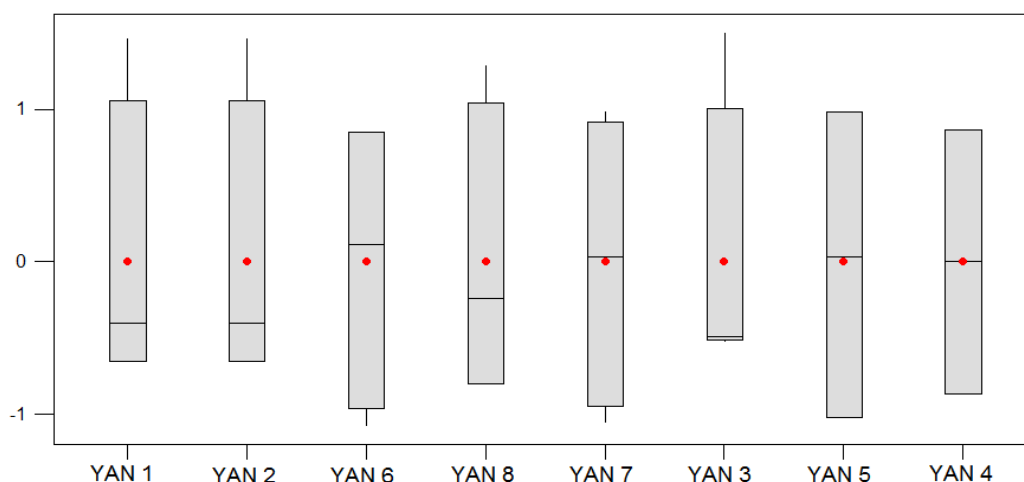


Figura 13. Representación en Bloxplot de los promedios de los coliformes fecales según la técnica NMP/100 ml de agua encontrados en las ocho estaciones de muestreo en la subcuenca del río Yanuncay.

2.2.2. Coliformes totales

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS (1985) indican que no es práctico monitorear cada agente patógeno que está en el agua y que el enfoque más lógico es detectar organismos que por lo general se encuentran en las heces de los seres humanos y de los animales de sangre caliente.

Ante estos niveles de contaminación fecal de los cursos de agua, la OMS (1985) recomienda la protección de las fuentes de agua y la adecuada selección del tipo de tratamiento para asegurar la ausencia de patógenos y evitar la transmisión de enfermedades hídricas. El grado de tratamiento requerido depende de la naturaleza del contaminante y del nivel de contaminación fecal de la fuente.

Los resultados obtenidos en este estudio de coliformes fecales en las estaciones de monitoreo tuvieron diferencias significativas. El promedio más alto se tuvo en la estación YAN 1 (16 000 NMP/100 ml). En la estación YAN 6, también está fuera de los límites máximos permisibles establecidos por el TULAS (2003) que es de 5 000 NMP/100 ml para uso recreativo con contacto humano. El promedio más bajo se presentó en la estación YAN 5 (25,50 NMP/100 ml) y es semejante a las estaciones YAN 3, YAN4, YAN 7, YAN 8 y YAN 2 (Fig. 14), estos están dentro de los límites máximos permisibles con la categoría de uso recreativo.

Entonces, los niveles de contaminación que se tiene en la mayor parte de estaciones se debe a los aportes de desechos orgánicos por animales (ganado vacuno) en las zonas media y alta de la subcuenca, en relación a la zona baja o urbana que incrementa los niveles de contaminación al tener descargas de aguas residuales puntuales no interceptadas aún.

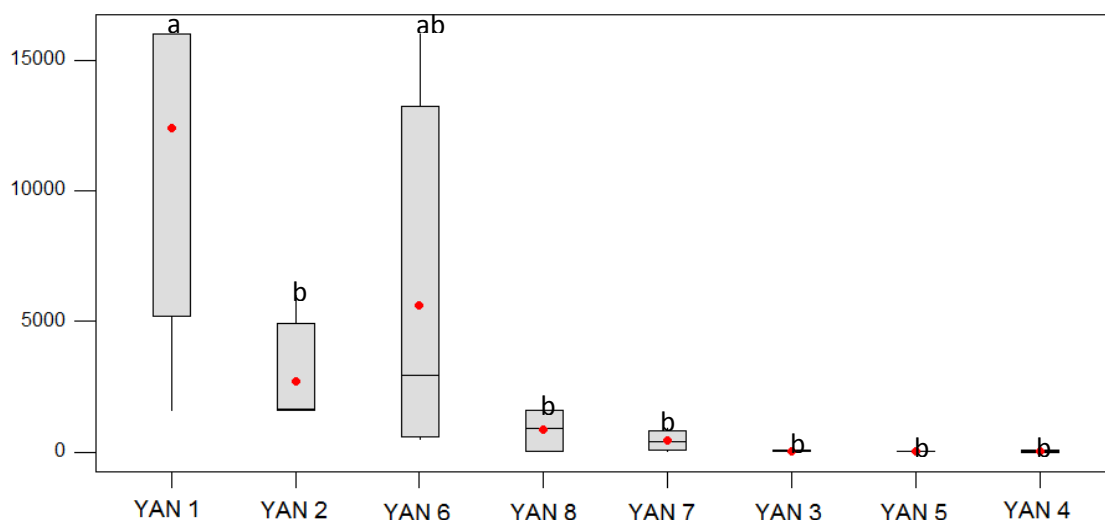


Figura 14. Boxplot de los promedios de los coliformes totales según la técnica NMP/100 ml de agua encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3. Índice de calidad de agua (ICA)

Los porcentajes promedios del ICA es un resumen obtenido de la sumatoria de siete parámetros evaluados (coliformes fecales, pH, DBO₅, temperatura, fosfatos totales, nitratos y turbiedad). El porcentaje más alto obtenido fue en la estación YAN 4 con el 90,62%, catalogada como *calidad buena*, al igual que en las estaciones YAN 2, 6, 8, 7, 3 y 5 con porcentajes menores (Fig. 15). El porcentaje más bajo obtenido fue en la estación YAN 1 con el 69,03% ubicada en la zona baja de la subcuenca, a esta se la catalogada como *calidad regular* y difiere a los porcentajes monitoreados por ETAPA con el 71% en la zona baja con una *calidad buena* (ETAPA 2008); por tanto esto sugiere la presencia aún de descargas de aguas residuales no interceptadas dentro de la subcuenca lo que disminuye la calidad de este índice, que concuerda con estudios realizados por Rojas (1991).

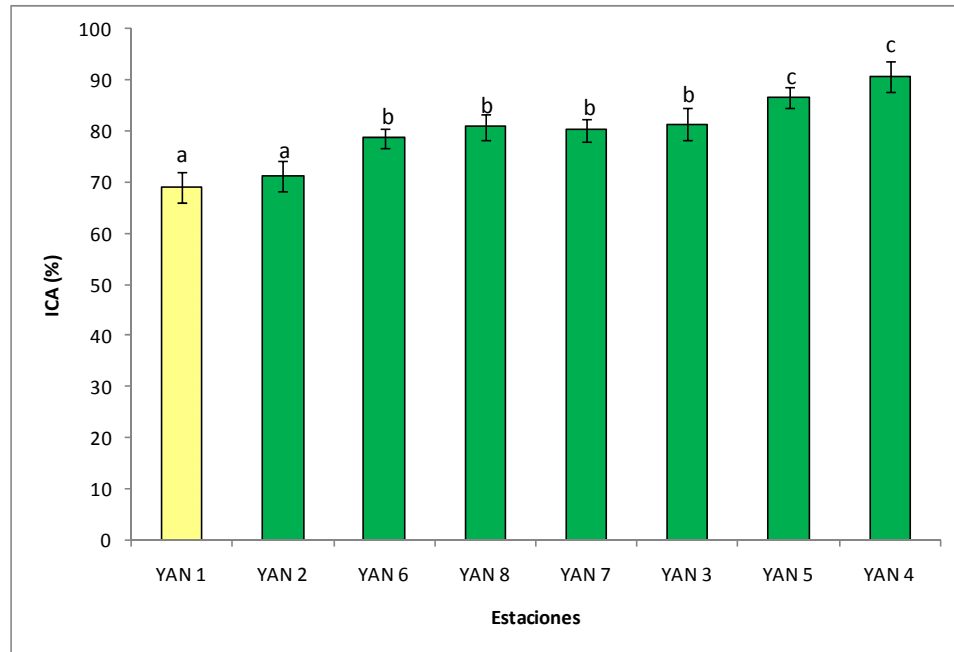


Figura 15. Porcentaje promedio del ICA encontrados en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3. Aspectos Biológicos

Se capturaron un total de 19 457 individuos de macroinvertebrados bentónicos en los cuatro períodos de muestreo en las ocho estaciones. El grupo taxonómico dominante en este estudio fue el phylum Arthropoda con el 94,90%, seguido por Annelidae 4,69% y en menor porcentaje se obtuvo de Mollusca y Platyhelminthes. Dentro del phylum Arthropoda se encuentra distribuidos los organismos en las siguientes familias: Baetidae con el 66,45%, Leptohiphidae con el 11,2%, Chironomidae con el 8,28%, Elmidae con el 3,68%, Simuliidae con el 3,66%, Leptophlebiidae con el 1,8%, Tipulidae con el 1,27%, Hydroptilidae con el 1,03% y el resto de grupos tienen porcentajes menores al 1%.

En este estudio se aplicó como índice principal para determinar la calidad del agua el ABI y se tienen como complementarios a la riqueza de taxones, EPT, proporción EPT/Chironomidae, porcentaje de contribución de la familia dominante, equitatividad e índice de diversidad de Simpson.

Podemos iniciar con el concepto de río continuo propuesto por Vannote et al. (1980) y Minshall et al. (1988) en el que todos los cambios ocurridos en un tramo fluvial

determinado, repercutirán hacia aguas abajo sobre los distintos equilibrios físico-químicos y biológicos que caracterizan la dinámica de las redes fluviales. Por tanto, las comunidades biológicas presentarían un reemplazo gradual desde la cabecera de los ríos hacia tramos inferiores.

2.3.1. Índice Biótico de los Andes (ABI)

A partir del índice ABI la calidad del agua encontrada en las ocho estaciones de la subcuenca del río Yanuncay de acuerdo a la clasificación de Alba-Tercedor (1996) pertenecen a dos categorías de calidad aceptable, debido a las constantes lluvias que se presentaron en la zona que ayudaron a diluir los contaminantes, además de tener los arroyos una buena capacidad de autodepuración (Jáuregui-Medina et al. 2007), por lo que se encuentran en ciertas estaciones con un incremento en su calidad.

En la categoría de “**aguas contaminadas**” o **clase III** se obtuvo a las estaciones YAN 1 con un valor de 43 y YAN 3 con un valor de 54, estas pueden estar influenciadas por descargas de aguas residuales no interceptadas en la parte baja (zona urbana) y la ganadería ubicada en la parte alta respectivamente (Fig. 16), por tanto este efecto es semejante a los estudios realizados por Wear et al (1998), Lanerd et al (2004).

Las estaciones YAN 8 con un valor de 63, YAN 2 con 67, YAN 4 con 68, YAN 5 con 69, YAN 7 con 69 y YAN 6 con 74, se encuentran en la categoría “**con evidencia de algunos efectos de contaminación**” o **clase II** (Fig. 16). En estas se tuvo una presencia de organismos mediana y tolerantes a la contaminación como las familias Baetidae, Tabanidae, Cerapotonidae con puntajes de 4, Glossophoniiformes y Physidae con un puntaje de 3, Chironomidae de 2 y Haplotaenidae de 1, todos estos son catalogados como *POBRE* de acuerdo a Acosta et al. (2009) y se presentan en aguas con menor transparencia (turbias), evidencia de la gran cantidad de sólidos y crecimientos algas, evidencia de aguas de desecho (doméstico, agrícola y pecuario).

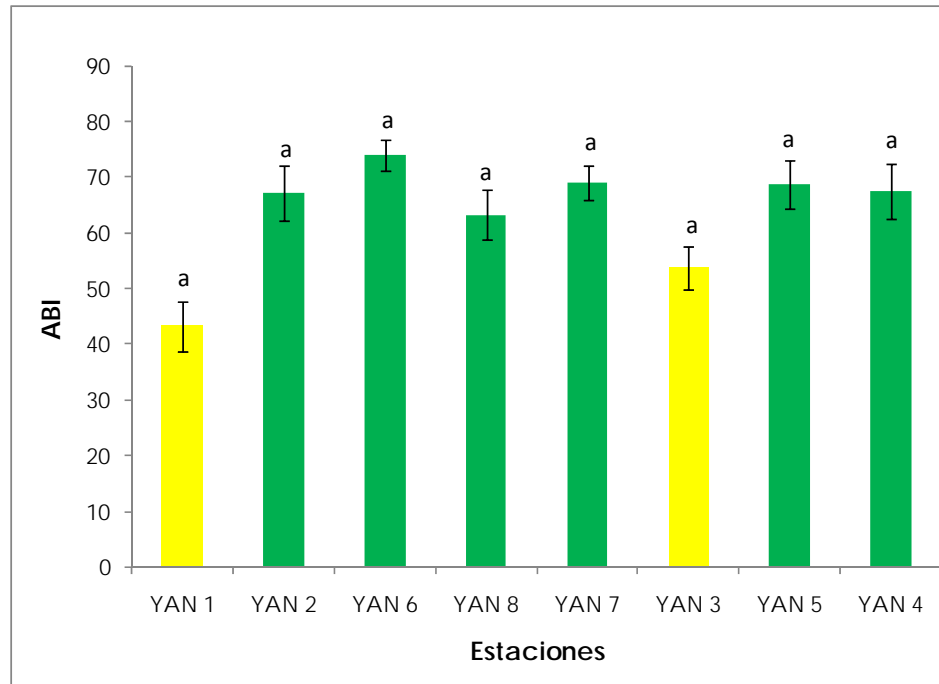


Figura 16. Valores promedios del ABI encontrado en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.2. Riqueza de Taxones

Varias investigaciones indican que a una mayor riqueza, existe un menor grado de estrés en los macroinvertebrados bentónicos (Cardinale et al. 2006). En este estudio se encontró un total de 34 grupos diferentes, los cuales no difieren entre cada una de las estaciones explicado por las condiciones frecuentes de lluvia en la zona, la cual incrementa los caudales y disminuye la capacidad de colonización de los macroinvertebrados, en relación a estudios con épocas de invierno y verano bien marcadas, en donde las época de sequía son más diversas y es cuando las condiciones de estrés ambiental por parte de los macroinvertebrados son más sensibles (Leiva 2004), pero podría estar de acuerdo al estudio de Jacobsen (2004) donde la riqueza de taxa es baja en zonas de altitud superiores a los 1 800 m s.n.m.

Las estaciones YAN 5 (13,33) y YAN 6 (13) tuvieron la mayor riqueza y se ubican en la parte alta y media respectivamente, la menor riqueza se presentó en la estación YAN 1 (8,75), lo que sugiere un efecto por la contaminación pero no significativamente diferente del resto (Fig. 17).

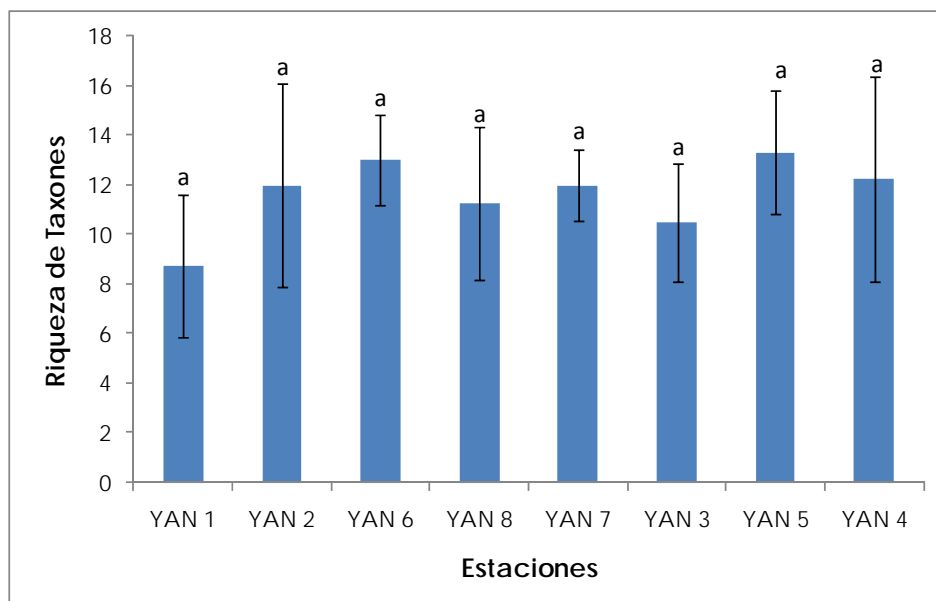


Figura 17. Valores promedio de la riqueza de taxones encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.3. Índice de EPT

Los insectos acuáticos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) son muy utilizados para estudios de calidad de agua, pues son muy sensibles a cambios de la temperatura, pH, así como a una baja de oxígeno (Jacobsen et al. 1997, Woodcok y Huryn 2007), el oxígeno no fue posible medir en este estudio.

Los porcentajes encontrados en la mayoría de las estaciones en estudio se encuentran catalogados como **muy buena**: YAN 1 (90,80%), YAN 2 (94,16%), YAN 6 (79,83%), YAN 8 (79,12%) y YAN 7 (84,62%) a pesar de que la mayoría de las estaciones se encuentran en la parte baja y media de la subcuenca, se presentan una gran cantidad de individuos sensibles a la contaminación del orden Ephemeroptera (Woodcok y Huryn 2007) (Fig. 18).

En cambio en la estación YAN 3 con un porcentaje de 25,36%, seguido de las estaciones YAN 5 (49,31%) y YAN 4 (40,99%) están catalogadas como **regulares**, y se encuentran en la zona alta de la subcuenca (páramo), se presentaron pocos grupos sensibles y tolerantes a la contaminación de ahí la obtención de un bajo

índice (Norris y Hawkins 2000, Pattle y Golladay 2001, Mebane 2001, Klemm et al. 2002, Ogbebu y Oribhabor 2002).

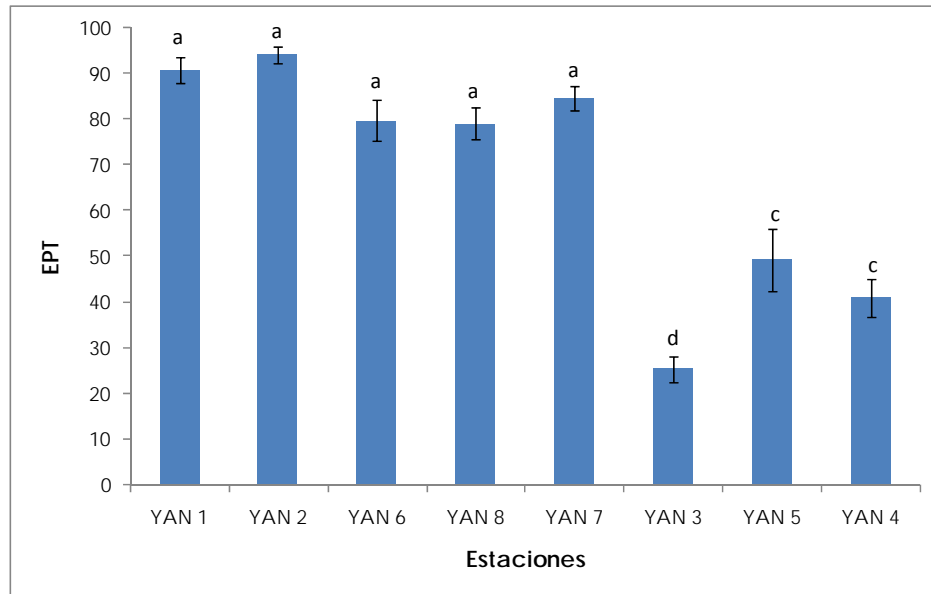


Figura 18. Valores promedio del índice EPT encontrado en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.4. Proporción EPT/Chironomidae

Este estudio al evaluar el balance de la comunidad entre los grupos indicadores EPT vs Chironomidos, sensibles y tolerantes a la contaminación respectivamente (Roldán 1992, 1996, 2003, Acosta et al. 2009), se observa en la Fig. 19 los resultados de calidad de agua buena al tener porcentajes superiores al 90% en aproximadamente en todas las estaciones, a excepción de YAN 3 (62,24%) y YAN 5 (49,80%); los porcentajes altos puede deberse a la abundancia presentada en todas las estaciones de la familia Baetidae perteneciente al orden Ephemeroptera, la cual es de mediana tolerancia a la contaminación y su gran capacidad de desplazamiento en corrientes en relación a la familia Chironomidae, la cual es tolerante a la contaminación y se ve desplazada al no soportar el incremento de los caudales (Rempel et al 1999, Robinson et al 2004).

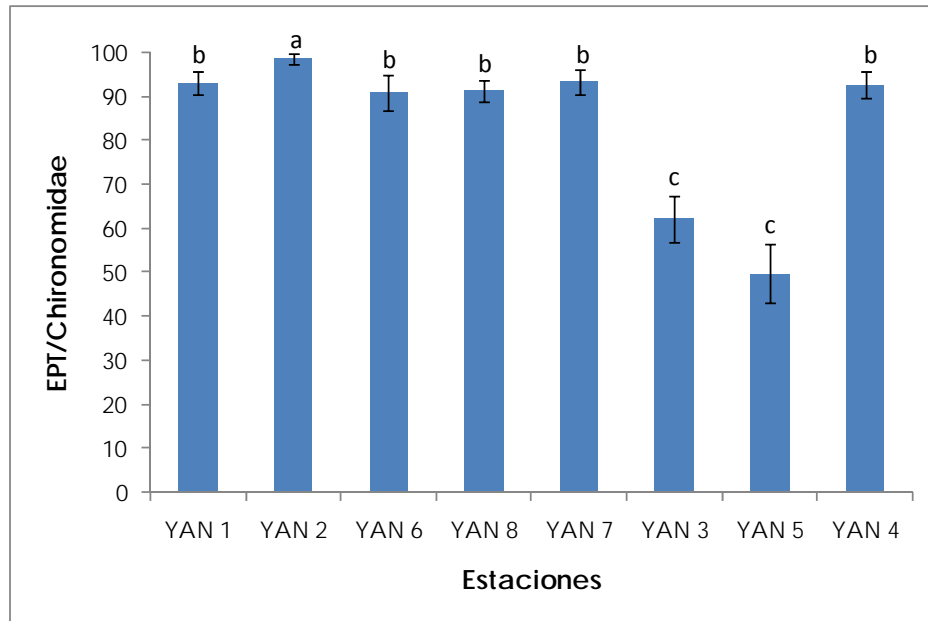


Figura 19. Valores promedio de los EPT/Chironomidae encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.5. Porcentaje de Contribución de la Familia Dominante

La familia Baetidae fue el grupo dominante en la mayor parte de las estaciones, la cual tiene una preferencia de caudales altos y niveles de tolerancia a la contaminación mediana (Roldán 1996). Se tuvo la familia Baetidae dominancia en las estaciones YAN 2 (90,62%), seguido de la estación YAN 1 (89,03%), YAN 7 (73, 55%), YAN 6 y YAN 8 (72,21%), los cuales demuestran un estrés ambiental por su dominio (Jaramillo 2001) (Fig. 20). En cambio en las estaciones YAN 5 (39,38%), YAN 3 (49,84%) y YAN 4 (43,22%) no presenta grupos mayores al 50% indicando una mejor composición y estructura de los macroinvertebrados como lo indica Carrasco (2008).

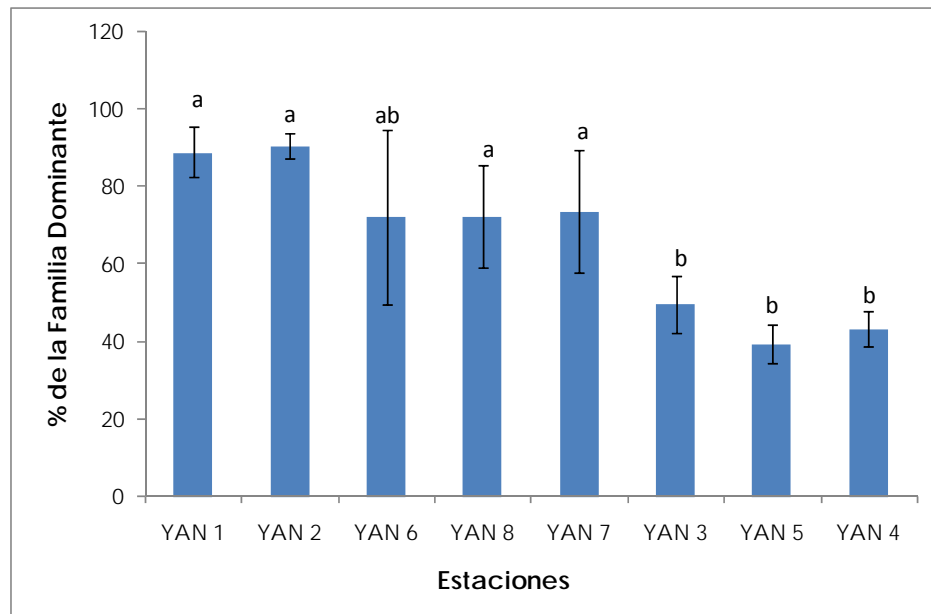


Figura 20. Promedio de los porcentajes de la familia dominante encontrados en las 8 estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica un EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.6. Equitatividad

Los resultados promedios obtenidos en el índice de Equitatividad demuestran el dominio por uno solo grupo de taxón (Baetidae) en las estaciones principalmente en las zonas bajas, como se confirmó con el índice de proporción de la familia dominante, por tanto los resultados obtenidos al ser altos en este índice indican un desequilibrio del ecosistema acuático (Jaramillo 2001) (Fig. 21), esto difiere de las estaciones de la parte alta con valores bajos.

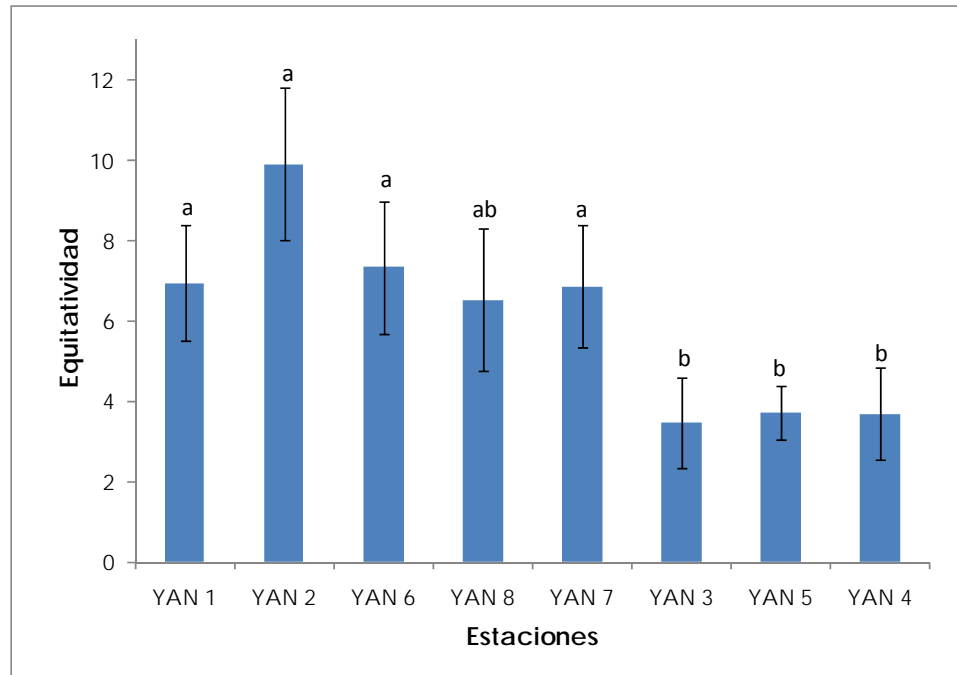


Figura 21. Valores promedio de equitatividad encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica una EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.3.7. Índice de diversidad de Simpson

Los resultados obtenidos con el índice de diversidad, nos permite comparar la composición y la estructura de las comunidades acuáticas, estos se agrupan en tres grupos e incrementan desde la zona baja hacia la alta.

La estación YAN 5 (3,60) es la de mayor valor, seguido de la estación YAN 4 (3,41) y YAN 3 (3,15); en otro grupo se tiene a las estaciones YAN 6 (2,06), YAN 7 (1,93), YAN 8 (1,90), y con los valores más bajos se agruparon las estaciones YAN 2 (1,22) y YAN 1 (1,26) ubicadas en la zona baja de la subcuenca (Fig. 22).

Esta diferencia en diversidad entre las estaciones puede ser por la mayor estabilidad que se tiene en la zona alta, que al estar ubicada en áreas con páramo por las características biogeográfica y geológicas, permite una evacuación lenta del agua lluvia en épocas con fuerte precipitación (Buytaert et al. 2006) y como resultado una mejor equidad en cuanto a la estructura y composición de las comunidades bénticas, en relación a las estaciones de la zona media, que presentan una vegetación arbustiva y con menor estabilidad del sustrato, además

de tener una influencia agrícola y ganadera. En la parte baja en tanto se tiene un mayor caudal e influencia urbana que afecta la calidad del agua por ende a la composición y estructura de los macroinvertebrados, disminuyendo su diversidad.

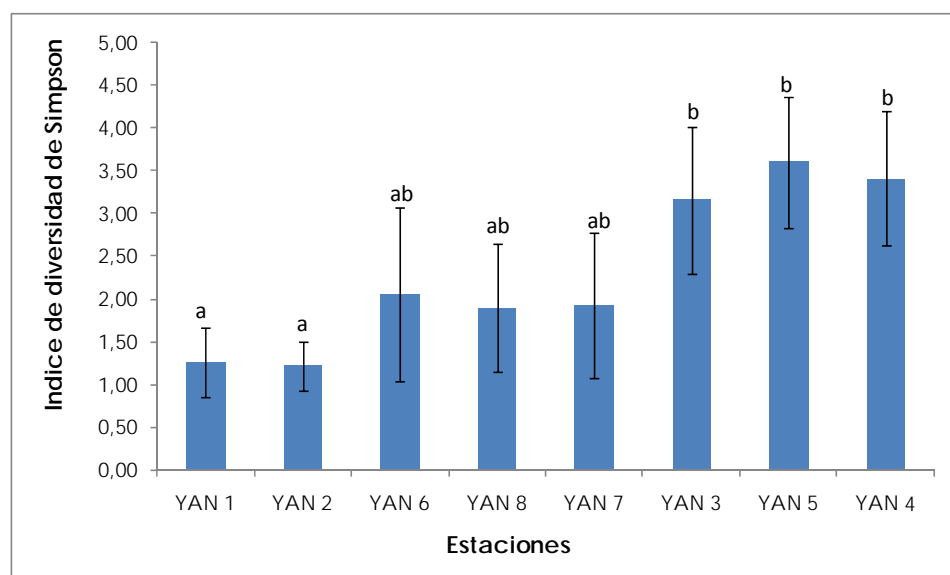


Figura 22. Valores promedio del índice de diversidad de Simpson encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay; en líneas verticales se indica una EE. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

2.4. Calidad del Hábitat

Al realizar la evaluación de las 10 variables de la calidad del hábitat, se evidenció que la de mejor calidad es la estación YAN 4 con el 90,5%, la cual es clasificada como BUENA de acuerdo a Barbour et al. (1999), al tener el mayor número de variables con puntuaciones dentro del rango óptimo (15 – 20), la acumulación de sedimentos es la única variable de menor puntuación (14) al ser inestable en la parte alta de la subcuenca; debido a que el sustrato del arroyo es expuesto a las prácticas del deporte vehicular 4 x 4 en una sección del río (Fig. 23).

Las estaciones que se encuentran en la parte alta de la subcuenca también fueron localidades potenciales de referencia, pero presentaron ganadería, vías o fincas cercanas que afectaban de alguna manera la calidad del agua y hábitat, entre estas tenemos a las estaciones YAN 3 (88,5%), YAN 5 (74,5%), que se categorizan como calidad del hábitat ACEPTABLE.

Estaciones de la zona media (YAN 7, YAN 8 y YAN6) se encuentran dentro de la calidad PARCIALMENTE ACEPTABLE, al tener cultivos y ganadería en las zonas aledañas, por tanto las puntuaciones relacionadas a la ribera disminuyeron. Mientras que la estación YAN 2 (60%) con una calidad del hábitat parcialmente ACEPTABLE, su mayor problema es la influencia urbana, que disminuye su puntuación; de igual manera sucede con la estación YAN 1 que tiene un porcentaje bajo del 56,5%, la cual se la categoriza como NO ACEPTABLE.

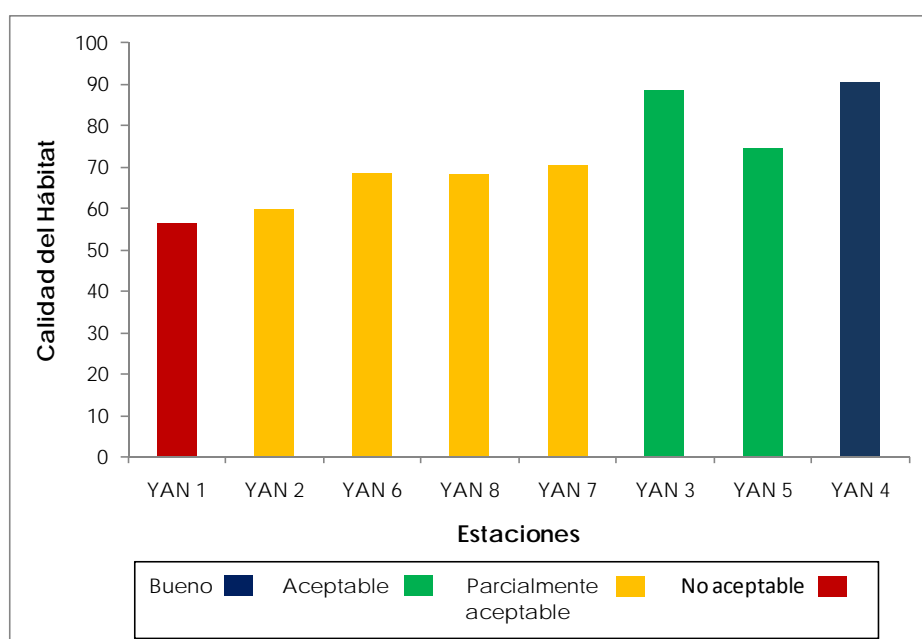


Figura 23. Valores de la calidad del hábitat encontrados en las ocho estaciones de muestreo de la subcuenca del río Yanuncay.

2.5. Dendograma Cluster

En cuanto a la agrupación de los diferentes períodos de muestreo mediante la creación de un dendograma cluster de acuerdo a las distancias Euclidianas con la utilización de variables significativamente influyentes en los resultados como son: temperatura, conductividad, caudal, índice de diversidad de simpson, equitatividad, EPT, relación EPT/Chironomidae y porcentaje de la familia dominante; se observa claramente la agrupación entre las estaciones de la zona alta (YAN 3, YAN 4 y YAN 5) por la similitud de sus características físico-químicas y biológicas en dos grandes grupos; mientras que los de la zona media (YAN 7, YAN 8 y YAN 6) y baja (YAN 2 y YAN 1) al ser muy semejantes entre sí, se agrupan dos subgrupos (Fig. 24).

Similaridad

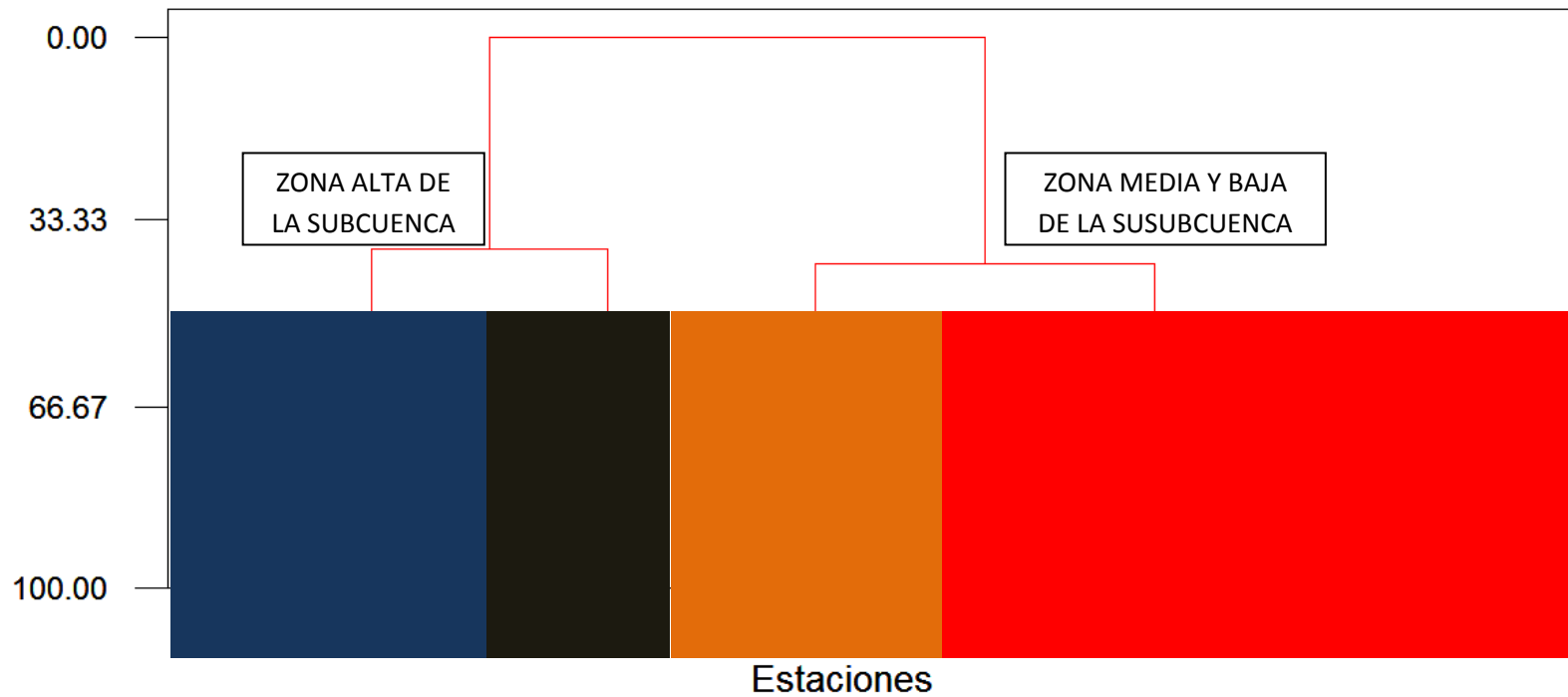


Figura 24. Dendrograma con el uso de las variables más influyentes en los resultados (Temperatura, Conductividad, Caudal, índice de diversidad de Simpson, Equitatividad, EPT, relación EPT/Chironomidae y Porcentaje de la familia dominante).

CONCLUSIONES

En este estudio se pudo evidenciar el efecto de la calidad del hábitat y las presiones antropogénicas sobre la calidad del agua a lo largo de la subcuenca del río Yanuncay, fue evaluada a partir de índices de calidad de agua con el uso de análisis de los parámetros físicos-químicos y biológicos.

Uno de los objetivos planteados era establecer la calidad del agua en dos épocas climáticas, el cual no se pudo verificar, al presentar condiciones climatológicas atípicas en la zona, con precipitaciones constantes durante todos los meses sin encontrar diferencias entre la estación seca y lluviosa.

Los resultados de los parámetros físicos- químicos y bacteriológicos reunidos con el índice de calidad de agua (ICA) fueron sensibles ante el estrés ambiental encontrada entre cada una de las estaciones; disminuye la calidad conforme se acercaba a la zona urbana. Una calidad regular se encontró en la estación inferior (YAN 1), el cual se encuentra afectado por una calidad baja del hábitat y descargas de aguas residuales no interceptadas del área urbana en la parte superior a este punto. La calidad tuvo un incremento a *buena* conforme se sube a la zona media y alta de la subcuenca, sin llegar a excelente, a pesar de la reducción de la densidad poblacional en las estaciones superiores, por tanto sus fuentes de influencia fueron la agricultura y ganadería. Los valores altos encontrados en los coliformes fecales y nitratos, influyeron para que este índice de calidad de agua (ICA) disminuya en todas las estaciones.

En cuanto al efecto antropogénico y de la calidad del hábitat también fue encontrado con los índices biológicos, que se calculan ante composición o estructura de los macroinvertebrados bentónicos, los cuales son sensibles ante el estrés ambiental.

Los valores del índice ABI de acuerdo a la presencia y grado de tolerancia a la contaminación de los macroinvertebrados, respondió diferente al índice de la calidad del agua de los parámetros físicos-químicos y bacteriológicos en la estación YAN 3, que en conjunto con la estación YAN 1 tienen una *calidad de agua* contaminada, afectados por la presencia de contaminación orgánica, sea por descargas de aguas residuales en la estación inferior (YAN 1) o de ganadería (YAN

3) en la estación superior. El resto de estaciones se mantienen dentro de la categoría con evidencia de algunos efectos de contaminación.

El mantener una buena calidad de agua puede deberse a la disolución de los contaminantes por las lluvias constantes en la zona y a la gran capacidad de autodepuración de los ríos de la materia orgánica que reciben por los microorganismos existentes en el agua en presencia del oxígeno disuelto proveniente fundamentalmente del contacto del agua con la atmósfera y del proceso de fotosíntesis realizado por las plantas acuáticas (Ruza 1993, Ibarra y Jaso 1990).

Mientras que la riqueza de taxones en este estudio es consistente con la investigación realizado por Jacobsen (2008), quien indica que la riqueza de familias es baja sobre los 1 800 m s.n.m.; además presenta un dominio de la familia Baetidae por el cierto grado de tolerancia a la contaminación y a su preferencia a aguas rápidas, de ahí que el índice EPT se mantiene alto en todas las estaciones, lo cual es evidente con los resultados de la Proporción ETP/Chironomidae, el porcentaje de la familia dominante y la equitatividad, con un desbalance de las comunidades de macroinvertebrados de las estaciones superiores a las inferiores.

El índice de diversidad de Simpson en cambio presentó un comportamiento semejante con el índice de calidad de agua (ICA), diferencia la zona baja, media y alta de la subcuenca, lo cual demuestra que a pesar de haber utilizado un nivel alto de identificación, se encontró respuesta en los resultados. Es importante considerar que podría variar los resultados si se llega a un nivel de clasificación más fino, que sería recomendable para las siguientes investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

- ABEL P.D. Water pollution biology. Ellis Horwood, Chichester, England. Taylor & Francis. 1989.
- ACOSTA R, RIOS B, PRAT N. Distribution of macroinvertebrate communities in the high Andes and their tolerance to pollution. A review and proposal of a biotic index for high Andean stream (Andean Biotic Index, ABI). Group of research: Freshwater Ecology and Management, Department of Ecology. Barcelona-España. University Barcelona. 2009. p.25-27.
- ALBA - TERCEDOR J, SÁNCHEZ A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el Hellallev (1978). *Limnetica*. España. 1988. p. 4:51-56.
- ALBA-TERCEDOR J. Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Almería. España. SIAGA. 1996. Vol. II: p. 203-213.
- BALLESTEROS Y, ZÚÑIGA M, ROJAS A. Distribution and structure of the order Trichoptera in various drainages of the Cauca River basin, Colombia, and their relationship to water quality. *Ohio Biological Survey*. Santiago de Cali. Colombia. Asociación Ibérica de Limnología. 1997. p. 19–23
- BARBOUR MT, GERRITSEN J, SNYDER BD, STRIBLING JB. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.EPA. 1999.
- BARROS S. Estudio del ecosistema acuático en los ríos Tomebamba y Yanuncay aguas arriba de las captaciones para la ciudad de Cuenca. ETAPA. Dirección de Gestión Ambiental. Ecuador. ETAPA. 2007a.
- BARROS S. Evolución de la calidad del agua de los tramos bajos de los ríos de la ciudad de Cuenca. ETAPA. Dirección de Gestión Ambiental. Ecuador. ETAPA. 2007b.
- BROWN R, McCLELAND N. "Water Quality Index. Application in the Kansas River Basin", 46th. Conf. Water Poll. Fed. Cleveland, Ohio.U.S.A.1973.
- BURAU D. Concentración de Metales en el Factor Biótico y Abiótico del Río Machángara y utilización del Factor Biótico como indicador de la Calidad del Agua. Tesis de Biólogo. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 1997.

- BUYTAERT W, CÉLLERI R, DE BIÉVRE B, CISNEROS F, WYSEURE G, DECKERS J, HOFSTEDE R. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Ecuador. *Earth-Science Reviews*. 2006. 79. 53-72
- CAIRNS J, PRATT R. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In D. M. Rosenberg & V. H. Resh (Eds) *Freshwater Biomonitoring*. U.S.A. 1993. p. 10-27.
- CARABIAS J, RODRÍGUEZ Y, LANDA R. México el agua y sus espacios. Programa Agua, Medio Ambiente y Sociedad. México. 2007.
- CÁRDENAS J. Dureza Total. Capítulo 11. Universidad Distrital. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Colombia. 2005.
- CARDINALE BJ, HILLEBRAND H, CHARLES DF. Geographic patterns of diversity in streams are predicted by a multivariate model of disturbance and productivity. *Journal of Ecology*. U.S.A. *British Ecological Society*. 2006. p. (94) 609-618.
- CARRASCO M. Estudio limnológico y de macroinvertebrados bentónicos en la zona de Surrocucho, Área Nacional de Recreación. Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología. Escuela de Biología. Tesis de Grado. Ecuador. Universidad del Azuay. 1996. p. 61.
- CARRASCO M. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas "Integridad biótica y su aplicación a una propuesta de gestión para los ríos Tomebamba y Yanuncay en Cuenca- Ecuador". Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Facultad de Ingeniería. Facultad de Psicología. Facultad de Filosofía. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Facultad de Química. Santiago de Querétaro, Qro. México. Universidad Autónoma de Querétaro. 2008. p. 209.
- CARRERA C, FIERRO K. Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Quito. Ecuador. Eco-Ciencia. 2001. p. 67.
- CG-Paute, UDA. Hidrografía de la cuenca del río Paute, año 2001. Escala 1:25.000. Cuenca, Ecuador. 2007.
- DE PAUW N, HAWKE HA. Biological monitoring of river water quality. P.87-111. In: *River water quality monitoring and control*. W.J. Walley and S. Judd EEUU. (Eds). Aston University, U.K. 1993. p. 249.
- DE WALTRE DW, WEBB, HARRIS MA. Summer Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) species richness and community structure in the lower

- Illinois River basin of Illinois. *Great Lakes Entomologist*. U.S.A.1999. 32:115-132.
- DOMÍNGUEZ E, FERNÁNDEZ, H. Guía para la Determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina. Editorial Universitaria de Tucumán. 2001. p. 282.
- ECHAVARRIA, M. Agua: Valoración de los servicios ambiental que prestan las áreas protegidas. Manual preparado por la Universidad Técnica Regional The Nature Conservancy. No. 1, vol. 1. Quito-Ecuador. 1999. p. 79.
- ETAPA. Caracterización de la Cuenca del río Yanuncay. Cuenca. Ecuador. 2007.
- ETAPA. Evolución de la calidad del agua de los tramos bajos de los ríos de la ciudad de Cuenca 2008. Dirección de Gestión Ambiental. Ecuador. 2008.
- FERNÁNDEZ H, DOMÍNGUEZ E. Guía para la determinación de artrópodos bentónicos sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina. Universidad Nacional de Tucumán. 2001. 282 pp.
- FERNÁNDEZ N, RAMOS J, SOLANO F. ICA Test v1.0.0.44. Una herramienta para la valoración de la calidad del agua. Centro de Hidroinformática. Instituto de Ciencias Naturales y Biotecnología. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad de Pamplona. Ecuador. Universidad de Pamplona. 2008. p. 24.
- FIGUEROA R, ARAYA, PARRA O, VALDIVINOS C. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE. Universidad de Concepción. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile. Chile. Universidad de Concepción. 1988. p. 3-24.
- FORMAN RT, SPERLINGD, BISSONETE JA, CLEVINGER AP, CUTSHALL CD, DALE VH. *Road Ecology*. Island Press. London. 2003. p. 481.
- HAUER R, RESH V. *Methods in Stream Ecology: Benthic Macroinvertebrates*. Edited by Hauer R and Lamberti G. U.S.A. Academic Press, Inc. 1996. p. 674.
- HAWKES H A. Invertebrates as indicators of river quality. In. A. James & L. Evison, *Biological indicators of water Quality*. John Wiley & Sons. U.S.A.1979. p. 2: 1 - 45.
- HAYEK LC, BUZAS MA. *Surbeing natural populations*. Columbia University Press. New York. U.S.A.1997. p. 563.
- HELLAWELL JM. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*, Elsevier. England. Elsevier Science Publishing Co. Inc.1986.

- IBARRA J, JASO C. Monografía: Manual para la restauración de los ríos. México. 1990.
- JACOBSEN D, ENCALADA A. The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. Stuttgart. Hydrobiology. U.S.A. Schweizerbart, Stuttgart, ALLEMAGNE. 1988. 142: 2. 179 – 195.
- JACOBSEN D, SCHULTZ R, ENCALADA A. Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. Freshwater Biology. U.S.A. Blackwell Science Ltd. 1997. (38) 247-261.
- JACOBSEN D. Tropical High – Altitude Streams. In David Dudgeon. ELSEVIER. U.S.A. Edit. Tropical Stream Ecology. 2008. p. 219 – 256.
- JARAMILLO C. Midiendo la diversidad en el registro fósil. Smithsonian Institution/Corporación Ares. U.S.A. 2001.
- JÁUREGUI-MEDINA C, RAMÍREZ S, ESPINOZA M, TOVAR R, QUINTERO B, RODRÍGUEZ LI. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. México. 2007. 3 (1) 65-73.
- KLEMM DJ, et al. Methods development and use of macroinvertebrates as indicators of ecological conditions for streams in the mid-Atlantic highlands region. Environmental Monitoring and Assessment. U.S.A. 2001. 78:169-212.
- LARNED S, SCARSBROOK M, SNELDER T, NORTON N, BIGGS B. Water quality in low-elevation streams and rivers of New Zealand: recent state and trends in contrasting land-cover classes. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. New Zeland. The Royal Society of New Zealand. 2004. Vol. 38, pp 347–366.
- LENAT D. A Biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings in J.N.Am. Benthol. Soc. EEUU. The North American Benthological Society. 1993. 11(4) 377-390.
- MALDONADO P. Biomonitorio de la calidad del agua del río Tomebamba, mediante el uso de macroinvertebrados bénticos. Tesis de Biólogo. Universidad del Azuay. Ecuador. 1988.
- MEBANE CA. Testing bioassessment metric: macroinvertebrate, sculping, and salmonid responses to stream habitat, sediment, and metals. Environmental Monitoring and Assessment. USA. 2001. (67) 293 – 322.

- MINSHALL R, SEDELL, CUSHING E. Stream ecosystem theory: a global perspective. J. N. Am. Benthol Society. USA. The North American Benthological Society. 1988. Vol: 7. 263 – 288.
- MONTEJANO JG, CANTORAL UE, CARMONA JJ, GAVIÑO RR, RIVAS LG, ROJAS AA, VALADEZ C. Comunidades Acuáticas (Algas, Insectos, y Ácaros) Indicadoras de la Calidad del Agua en los ríos Permanentes de la Región Poniente del Distrito Federal (Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa). México. 2002. p. 10.
- NORRIS RH, HAWKINS CP. Monitoring river health. Hydrobiology. USA. Kluwer Academic Publishers. 2000. (435) 5 – 17.
- OGBEBU AE, ORIBHABOR BJ. Ecological impact off river impoundment using benthic macroinvertebrates as indicators. Water research. USA. Elsevier Science Ltd. 2002. 36: 2437 – 2436.
- OLAIZ G. Norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". México. Salud Ambiental de México. 1995.
- PAPROCKI H, MUÑOZ F. Clave para identificación de las larvas de las familias neotropicales de Trichoptera. En: Diplomado Insectos Acuáticos. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia. 2002.
- PATTLE J, GOLLADAY SW. Water quality and macroinvertebrate assemblages in three types off seasonally inundated limesink wetlands in southwest Georgia. Journal of Freshwater Ecology USA. 2001. (16) 189 – 207.
- PECKARSKY B. Bugging water quality. Macroinvertebrates as indicators of streams quality, in Stream Ecology. USA. 1993.
- PÉREZ G, ROLDÁN G. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Negro. Vol. 7, N 24. Actualidades Biológicas. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1978. p. 27 – 36.
- PLAFLIN, J.L., BARBOUR, M.T., PORTER, K.D., GROSS, S.K. & HUGHES, R.M. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish. United States Environmental Protection Agency, EPA/444/4-89-001, Washington DC. USA.1989.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Agenda 21. Sección: Conservación y gestión de los Recursos Naturales. Río de Janeiro. Brasil.1992.

- REMPEL L., RICHARDSON J., HEALEY M. Flow Refugia for Benthic Macroinvertebrates during Flooding of a Large River. USA. Journal of the North American Benthological Society. 1999. Vol. 18, No. 1, 34-48.
- RENGEL A. Una alternativa de conservación de las cuencas hídricas - Caso Mazan. Universidad de Cuenca, Ecuador. 2004.
- RESTREPO A, TOBÓN L. Manual de Calidad de Aguas. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Facultad de Ingeniería Ambiental. Colombia. 2002. Capítulo I y II. Medellín.
- ROBINSON C, AEBISCHER S, UEHLINGER U. Immediate and Habitat-Specific Responses of Macroinvertebrates to Sequential, Experimental Floods. USA. North American Benthological Society. 2004. Vol. 23, No. 4, 853-867.
- ROJAS O. Índice de calidad en fuentes de captación. Memorias, Seminario Internacional Control de Calidad de Agua para consumo humano. Cali, Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL), Seccional Valle del Cauca (Eds). 1991. p. 28 – 38.
- ROLDÁN G. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín - Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 1992. p. 529.
- ROLDÁN G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Antioquia. Colombia. Fondo Fen Colombia / Colciencias / Universidad de Antioquia. 1996. p. 217.
- ROLDÁN G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. 2003.
- ROSENBERG DM, RESH VH. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Colombia. Chapman & Hall, N.Y.1993. p. 488.
- RUZA F. Tratado Universal del Medio Ambiente. 1era Edición. Vol. 4. Madrid, España. AGLOSA .1993. p. 490.
- SÁNCHEZ L. II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Control de la Contaminación de las Aguas. Departamento de Engenharia de Minas Escola Politécnica da Universidad de São Paulo. Trabajo publicado en "Aspectos Geológicos de Protección Ambiental", UNESCO. Brasil. Universidad Sao Paulo. 1995. Volumen I. capitulo 17. 269.
- SLACK KV, AVERETT RC, GREESON PE, LIPHSCOMB RG. Methods for collection and analysis of aquatic biological and microbiological samples. U.S. Department of the interior, Geological Survey, Washington, DC. USA. ProQuest. 1973. 4(5): 1-165.

- SUESS MJ. Examination of water for pollution control. A reference handbook. Pergamon Press 3. USA. Oxford; Pergamon Press. 1982.
- TORO J, SCHUSTER J, KUROSAWA J, ARAYA E, CONTRERAS M. Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas loticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores Río Maipo (Santiago: Chile). Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Chile. 2003.
- VANNOTE R; G MINSHALL, K CUMMINS, R SEDELL & C CUSHING. The River Continuum concept. Fish Aquatic Science. 1980. (37): 130- 137.
- WEAR D, TURNER M, NAIMAN R. Land Cover Along an Urban-Rural Gradient: Implications for Water Quality. Ecological Applications. USA. ESA Publications. 1998. Vol. 8, No. 3, pp. 619-630.
- WIEDERHOLM T. Use of benthos in lake monitoring. Journal of the water pollution control federation. USA. Water Environment Federation. 1980. 52: 537-547.
- ZÁRATE E. Estudio de macroinvertebrados del Río Mazán, Azuay, Ecuador. Tesis de Biólogo, Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 1996. p. 63.
- ZÚÑIGA MC, ROJAS A, MOSQUERA S. Biological aspects of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South America). Ephemeroptera & Plecoptera: Biology-Ecology-Systematics. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Cali. Colombia. P. Landolt & M. Sartori (Eds). 1997. p. 261–268.
- ZÚÑIGA MC. Contaminación de Corrientes Acuáticas. Universidad del Valle de Ingeniería. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos. Sección de Saneamiento Ambiental. Santiago de Cali. Colombia. 1996.
- ZÚÑIGA MC. Curso – Taller. Indicadores Biológicos de la Calidad del Ambiente con Énfasis en Bioindicadores Acuáticos. Bioindicadores de Calidad del Agua. Quito. Ecuador. EcoCiencia. 2002. p. 23.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- ÁLVAREZ J. Recomendaciones ambientales útiles para ahorra en el hogar. Ecuador. 1999.
http://192.188.53.69/profesores/hoeneisen/Ecuador_2050/ahorro.htm
- EL MERCURIO. Atentado Ambiental en Soldados. Ecuador. 2008.
http://www.elmercurio.com.ec/web/titulares.php?seccion=fzuyEtT&codigo=lnP3xY8jbD&nuevo_mes=03&nuevo_ano=2008&dias=15¬icias=2008-03-15.
- LUTZ D. Calculating NSF Water Quality Index. Iowa State University's Department of Civil, Construction and Environmental Engineering. USA. 2009.
http://te-webserver.cce.iastate.edu/research/lutz/dmrwqn/water_quality_index_calc.htm

ANEXOS**ANEXO 1**

Ubicación georeferenciada de las ocho estaciones de monitoreo de la subcuenca del río Yanuncay.

Estaciones	Latitud	Longitud	Altura
YAN 1	9677920 N	721926 E	2531 m s.n.m.
YAN 2	9679353 N	717548 E	2617 m s.n.m.
YAN 6	9677459 N	712987 E	2742 m s.n.m.
YAN 8	9673958 N	704286 E	3023 m s.n.m.
YAN 7	9681458 N	688077 E	3758 m s.n.m.
YAN 3	9669339 N	690320 E	3573 m s.n.m.
YAN 5	9672482 N	688800 E	3657 m s.n.m.
YAN 4	9678 255 N	693628 E	3780 m s.n.m.

ANEXO 2

Registro fotográfico y descripción general de las estaciones de muestreo.

ESTACION YAN 1



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

YAN 1.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 721926 E, 9677920 N, a una altitud de 2531 m s.n.m. se localiza en la calle 27 de Febrero y Roberto Crespo frente a la escuela del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Cuenca sobre el río Yanuncay. El tipo de uso de suelo es principalmente residencial y pequeñas zonas de áreas verdes.

ESTACION YAN 2



río arriba



río abajo



margen izquierdo



margen derecho

Vía de acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 717548 E, 9679353 N, a una altitud de 2617 m s.n.m. Localizada en la avenida Primero de Mayo y Roberto Crespo, frente a la escuela "Honorato Vásquez" por el puente de Misicata. El tipo de uso de suelo son los campos cultivados, residencias y pequeñas zonas de áreas verdes.

ESTACION YAN 6



río arriba



río abajo



margen izquierdo



margen derecho

Vía de acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 712987 E, 9677459 N, a una altitud de 2742 m s.n.m. este punto se encuentra por el sector de Barabón sobre el río Yanuncay. La foto río arriba fue tomada a 30 metros de un puente. El uso de suelo en la zona es de campos cultivados.

ESTACION YAN 8



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

Vía de Acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 704286 E, 9673958 N, a una altitud de 3 023 m s.n.m. este punto se encuentra ubicado en la vía Barabón cerca de la captación de Agua Potable Yanuncay. El uso que se presencia es la cobertura vegetal.

ESTACION YAN 7



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

Vía de Acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 688077 E, 9681458 N, a una altitud de 3758 m s.n.m. este punto se encuentra ubicado en la vía Soldados a unos 30 minutos del Tenis Club. El uso de suelo se encuentra en su mayor parte de cobertura vegetal.

ESTACION YAN 3



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

Vía de Acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 690320 E, 9669339 N, a una altitud de 3573 m s.n.m. se debe ingresar por la vía que pasa cerca del camal clandestino ubicado en el sector “El Cascajo”, antes de la unión con el río Sigsihuaycu. Esta vía llega directamente hacia el río, se tienen que caminar unos 20 minutos río abajo para llegar al punto. La cobertura existente en la zona es páramo.

ESTACION YAN 5



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

Vía de Acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 688800 E, 9672482 N, a una altitud de 3657 m s.n.m. este punto se encuentra en la vía al camal clandestino “El Cascajo” luego de haber pasado una zona poblada a cinco minutos de este se llegará un puente de madera y el punto se ubica a tres minutos río debajo de este arroyo. La cobertura existente en la zona es páramo.

ESTACION YAN 4



río arriba



río abajo



margen derecho



margen izquierdo

Vía de Acceso.- Se encuentra ubicado en la siguiente coordenada 17 693628 E, 9678255 N, a una altitud de 3780 m s.n.m. este punto se encuentra en la vía Soldados Chaucha en el sector de Angas, sobre el río Ishcayrumi. La cobertura existente en la zona es páramo.

ANEXO 3. Ficha de campo para la caracterización de la calidad física del agua.

DATOS GENERALES			
Nombre del arroyo _____	Provincia _____		
Código de la estación _____	Cantón _____		
Localidad _____	Parroquia _____		
Fecha (dd/mm/aa) _____	Longitud (UTM) _____	Latitud (UTM) _____	
Altitud _____ m s.n.m.	Orden 1 2 3 4		
Zona de vida: _____			
CONDICIONES DEL CLIMA			
<input type="checkbox"/> tormenta (lluvia fuerte)	¿Ha existido una lluvia fuerte en los últimos 7 días?		
<input type="checkbox"/> lluvia (lluvia constante)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/> llovizna (intermitente)			
<input type="checkbox"/> nublado % _____	Temperatura ambiental _____	°C.	
<input type="checkbox"/> claro / soleado	Otro _____		
CARACTERIZACION DEL ARROYO			
Subsistema del arroyo	Origen del arroyo		
<input type="checkbox"/> Perenne	<input type="checkbox"/> Glacial	<input type="checkbox"/> Montano no glacial	
<input type="checkbox"/> Intermitente	<input type="checkbox"/> Alimentado por un afluente	<input type="checkbox"/> Mezcla de orígenes	
<input type="checkbox"/> Tidal	<input type="checkbox"/> Fangoso y pantano	<input type="checkbox"/> Otro _____	
CARACTERISTICAS DE LA CUENCA DEL RIO			
Terreno circundante predominante	Polución local de la cuenca del río		
<input type="checkbox"/> Bosque	<input type="checkbox"/> Comercial	<input type="checkbox"/> No evidencia	
<input type="checkbox"/> campo de pastoreo	<input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Alguna fuente potencial	
<input type="checkbox"/> Agricultura	<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Fuentes obvias	
<input type="checkbox"/> Residencial			
Erosión local de la cuenca del río			
<input type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Alta	
VEGETACION RIBEREÑA (18 m de buffer)			
Indique el tipo dominante y registre las especies dominantes presentes:			
<input type="checkbox"/> Árboles	<input type="checkbox"/> Arbustos	<input type="checkbox"/> Pastizal	<input type="checkbox"/> Herbáceas
especies dominantes presentes _____			
CARACTERISTICAS DEL ARROYO			
	x		
Distancia		Cobertura del dosel	
Profundidad		<input type="checkbox"/> Abierto	
Ancho		<input type="checkbox"/> Parcialmente abierto	
Tiempo		<input type="checkbox"/> Sombreado	
Rápidos (%) _____	Canalizado	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
Corriente (%) _____	Diques presentes	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
Piscinas (%) _____			
VEGETACION ACUATICA			
Indique el tipo dominante y registre la especie :			
<input type="checkbox"/> Raíces emergentes	<input type="checkbox"/> Raíces sumergidas	<input type="checkbox"/> Flotación libre	
<input type="checkbox"/> Raíces flotantes	<input type="checkbox"/> Algas adheridas	<input type="checkbox"/> Algas flotantes	
Especies dominantes _____			
% de vegetación acuática en el tramo muestreado _____ %			

CALIDAD DEL AGUA

Temperatura _____ °C

Conductividad específica _____

Oxígeno disuelto _____

pH _____

Turbiedad _____

Instrumento utilizado en el WQ _____

Hora tomada: _____

Aceites en la superficie del agua

- Extenso Brillo Masa pequeña
 Puntos Ninguno Otro

Olor en el agua

- Normal o ninguno Anaeróbico
 Químico Petróleo
 Alcantarillado Otro _____

Turbiedad

- Claro Un poco turbio Turbio
 Opaco Teñido Otro _____

SEDIMENTO / SUBSTRATO*Olores*

- Normal Alcantarillado Petróleo Otro _____
 Químico Anaeróbico Ninguno

Aceites

- Ausentes Ligero Moderado Abundantes

Depósitos

- Lodos Aserrín Fibras de papel Arena Descargas de aceite Otros _____

¿Mire las piedras que no está hundidas profundamente, parte inferior de una coloración negra?

- Si No

COMPONENTES DE SUBSTRATOS INORGANICOS**(deben sumar el 100%)****COMPONENTES DEL SUBSTRATO ORGANICO****(necesariamente no debe sumar el 100%)**

<i>Tipo de substrato</i>	<i>Diámetro</i>	<i>% de composición del área muestreada</i>	<i>Tipo de substrato</i>	<i>Características</i>	<i>% de composición del área muestreada</i>
Roca firme/grande	> 256 mm		Detritos (gruesos)	ramitas, madera, los materiales de la planta toscos	
Rocas grandes	< 256 mm			Escombros de barro	el barro: negro, con abundante materia orgánica
Piedras	64 - 256 mm		Detritos fino		gris, con fragmentos pequeños de hojarasca
Graba	2 - 64 mm				
Arena	0,06 - 2 mm (Arenisco)				
Limo	0,004 - 0,06 mm				
Arcilla	< 0,004 mm				

ANEXO 4. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en este estudio para la obtención del índice ABI de acuerdo a Acosta et al. (2009).

Orden	Familia	ABI
Turbellaria		5
Hirudinea		3
Oligochaeta		1
Gasteropoda	Physidae	3
	Planorbidae	3
Bivalvia	Sphaeriidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
Trichoptera	Hyalellidae	10
	Odontoceridae	10
	Leptoceridae	8
	Hydroptilidae	6
	Hydrobiosidae	8
	Hydropsychidae	5
Coleoptera	Psephenidae	5
	Scirtidae	5
	Elmidae	5
	Hydrophilidae	3
Diptera	Blepharoceridae	10
	Simuliidae	5
	Tabanidae	4
	Tipulidae	5
	Cerapotonidae	4
	Chironomidae	2

ANEXO 5. Valoración de la calidad del hábitat en arroyos con pendientes altas.

Parámetros del hábitat	Categoría																				
	Óptimo					Subóptimo					Marginal					Pobre					
1. Substrato; hábitats que podrían ser colonizados	Más del 70% de los hábitats son favorables para la colonización; mezcla de substratos como son leños sumergidos, piedras, cortes en las orillas u otro hábitat estable que permite la colonización potencial completa (es decir, troncos u obstáculos imprevisto que no han sido de caída riesante y no temporal).					40 -70% de mezcla de hábitats estables; potencial para la colonización completa; hábitat adecuado para el mantenimiento de las poblaciones; presencia de substrato de una caída reciente, pero que todavía no está preparado para la colonización (puede estar al extremo alto de la escala).					20 - 40% de mezcla de hábitats estables; disponibilidad menor de hábitats; los substratos frecuentemente perturbados o removidos.					Menos del 20% de hábitats estables; falta obvia de hábitats; substrato inestable o faltante.					
PUNTUACION	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
2. Partículas que rodean al substrato	0 - 25% de la grava, piedra y rocas grandes rodeados por sedimento fino. Estratos de piedra proporcionan una diversidad de espacio del nicho.					25 - 50% de la grava, piedra y rocas grandes rodeadas por sedimento fino.					50 - 75% de la grava, piedra y rocas grandes rodeadas por sedimento fino.					Más del 75% de la grava, piedra y rocas grandes rodeadas por sedimento fino.					
PUNTUACION	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
3. Velocidad y Profundidad	Todos los cuatro regímenes de velocidad y profundidad lo presentan (lento - profundo, lento - poco profundo, rápido - profundo, rápido - poco profundo). (Lento es <0.3 m/s, profundo es > 0.5 m.)					Sólo 3 de las 4 categorías lo presentan.					Sólo 2 de las 4 categorías presentan en el hábitat (rápido - poco profundo o lento - poco profundo están ausentes).					Dominado por 1 velocidad y profundidad (normalmente lento - profundo).					
PUNTUACION	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
4. Acumulación de sedimento	Pequeño o ningún agrandamiento de islas o puntos de obstrucción. Menos del 5% del fondo afectado por depósitos de sedimento.					Una formación pequeña de barreras, principalmente de arena gruesa, arena o sedimento fino. 5 - 30% del fondo afectado; deposición ligera en piscinas.					Acumulación moderada de arena gruesa, arena o sedimento fino en barreras anteriores y recientes; 30-50% del fondo afectado; el sedimento es depositado encogiendo el lecho y curvaturas; deposición moderada de piscinas prevalecientes.					Depósitos altos de material fino, aumento en las barreras; más del 50% del fondo cambian frecuentemente; piscinas casi ausentes debido a la acumulación sustancial de sedimento.					
PUNTUACION	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
5. Estado del Flujo del cauce	Las bases de las dos orillas de la cuenca del río y el substrato del cauce están expuestas en una cantidad mínima.					El agua llena >75% del cauce disponible; o < 25% de substrato del cauce es expuesto.					El agua se llena del 25 - 75% del cauce disponible, o los substratos de los rápidos son principalmente expuestos.					Una muy pequeña cantidad de agua en el cauce y principalmente se presenta como piscinas permanentes.					
PUNTUACION	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

6. Alteración del cauce	Canalización o dragado ausentes o mínimos; arroyo con una forma normal.	Presenta algunas canalizaciones, normalmente en áreas de los estribos de los puentes; evidencia una canalización pasada, es decir, dragado (hace más 20 años) tal vez presente, pero reciente no está presente la canalización.	Canalización tal vez extensa; terraplenes o estructuras presentes en ambas orillas; y del 40 al 80% del arroyo canalizado e interrumpido en un tramo.	Las orillas apuntaladas con gaviones o cemento; más del 80% del arroyo canalizado e interrumpido. El hábitat del río alterado altamente o quitado completamente.
PUNTUACION	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
7. Frecuencia de rápidos (o recodos)	Presencia de rápidos relativamente frecuente; la proporción entre la distancia de rápidos dividido por ancho del arroyo es < 7:1 (generalmente 5 a 7); la variedad de hábitats es importante. En arroyos donde los rápidos son continuos, la presencia de rocas grandes u otros, obstáculos naturales son importante.	Presencia de rápidos poco frecuentes; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo está entre 7 a 15.	Rápidos o recodos ocasionales; los contornos del fondo proporcionan algún hábitat; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo está entre 15 a 25.	Generalmente toda el agua es uniforme o rápidos poco profundos; hábitat pobre; distancia entre rápidos dividido por el ancho del arroyo es una proporción >25.
PUNTUACION	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0
8. Estabilidad de la orilla (cuenta cada orilla)	Orilla estable; evidencia erosión de las orillas ausente o mínimo; pequeño potencial para problemas futuros. <5% de banco afectado.	Moderadamente estable; poco frecuente, pequeñas áreas de erosión han sanado principalmente encima. 5 - 30% de la orilla tiene áreas de erosión.	Ligeramente inestable; 30 - 60% de la orilla tiene áreas de erosión; alta de erosión potencial durante diluvios.	Inestable; muchas áreas erosionadas; áreas "descubiertas" frecuentan a lo largo de las secciones rectas y curvas; orilla con desprendimientos obvios; 60 - 100% de la orilla tiene marcas de erosión con cicatriz.
PUNT ____ (LB)	Orilla izquierda 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0
PUNT ____ (RB)	Orilla derecha 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0
9. Protección de la vegetación (cuenta cada orilla)	Más del 90% de la superficie de las orillas del río y las zonas ribereñas inmediatas, cubiertas por vegetación nativa, incluso de árboles, arbustos o macrófitas; interrupciones de la vegetación mínimo o no evidente; casi todas plantas tuvieron un crecimiento natural.	70 - 90% de la superficie de las orillas del río cubiertas por vegetación nativa, pero una clase de plantas no es bien representa; interrupción evidente pero no afecta el potencial crecimiento de las plantas para extenderse; más de la mitad son pequeñas plantas potenciales y el resto altas.	50 - 70% de la superficie de las orillas del río cubiertas por vegetación; interrupciones obvias; parches de tierra desnuda o la vegetación estrechamente segada común; menos de la mitad de plantas de pequeñas son plantas potenciales y el resto altas.	Menos del 50% de la superficie las orillas de río cubiertas por vegetación; la interrupción de la vegetación en las orillas es muy alta; se ha quitado vegetación a 5 cm o menos en media altura del rastrojo.
PUNT ____ (LB)	Orilla izquierda 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0
PUNT ____ (RB)	Orilla derecha 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0

10. Ancho de la vegetación ribereña (cuenta cada orilla)	Ancho de la zona ribereña > 18 m; actividades humanas (es decir, parques de estacionamiento, carreteras, cortes claros, césped, o cosechas) no hay una zona impactada.	Ancho de la zona del ribereña 12 - 18 m; las actividades humanas sólo han impactado la zona mínimamente.	Ancho de la zona ribereña 6 - 12 m; las actividades humanas han impactado un gran parte a la zona.	Ancho de la zona de ribereña < 6 m: pequeño o ninguna vegetación ribereña debido a las actividades humanas.
PUNT ___ (LB)	Orilla izquierda 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0
PUNT ___ (RB)	Orilla derecha 10 9	8 7 6	5 4 3	2 1 0