



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Biología del Medio Ambiente**

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA CALIDAD DEL  
AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RIO CAMANSHAY:  
SANTIAGO DE MÉNDEZ ECUADOR**

**Trabajo Previo a la Obtención del Título de  
Biólogo**

**Autor:**

**Christian Vicente Moscoso Miranda**

**Director:**

**Blgo. Edwin Zárate**

**Cuenca, Ecuador**

**2010**

### **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a toda mi familia y a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible este proyecto, a todos ellos muchas gracias.

## **Agradecimiento**

Al Biólogo Edwin Zárate, director del presente trabajo, por su incalificable ayuda y aporte durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Piercosimo Tripaldi por su valiosa ayuda al dirigir la marcha analítica desarrollada para todas las variables físico – químicas.

A la Dra. Fernanda Rosales por su gran ayuda en la realización de los análisis microbiológicos.

A mi gran amigo Fernando Cárdenas por su gran colaboración durante todos los análisis físico \_ químicos realizados en el laboratorio, y además en el manejo estadístico de los datos.

Al municipio del Cantón Santiago de Méndez, en especial a su ex alcalde el Sr Rafael Ruiz, por su inmejorable ayuda al inicio de este proyecto.

Al mi amigo Danilo Mejía por su ayuda en lo concerniente a los Sistemas de Información Geográfica.

A mis amigos guías y colaboradores de campo, por su gran ayuda durante los muestreos realizados, Abel Calderón, Pancho Guamán, George Zagal.

## RESUMEN

El río Camanshay se encuentra en la provincia de Morona Santiago. El visible deterioro del recurso hídrico en la microcuenca ha sido fácilmente perceptible, por lo que se realizó el presente estudio de calidad del agua. Se determinaron 7 puntos de muestreo en la microcuenca. Se tomaron muestras de agua; las cuales fueron analizadas mediante parámetros: físico-químicos, microbiológicos y además se realizó un biomonitoreo. Se encontraron 25 familias de macrozoobentos las cuales disminuyeron en forma gradual al descender la microcuenca. Para el análisis de los datos se utilizaron técnicas multivariantes las cuales establecieron importantes correlaciones entre los datos.

### **Palabras claves**

Biomonitoreo, microcuenca, macrozoobentos, técnicas multivariantes.

## **ABSTRACT**

Camanshay River is located at Morona Santiago Province, The water quality parameters of this sub-basin were monitored in this study. Seven sampling points were chosen. Physical chemical and microbiological parameters were determined. Moreover, a biomonitoring was performed. Twenty five macrobentozoos families were identified. These populations diminished gradually with the descending of the sub-basin. The data collected were analyzed with multivariate statistics, finding important correlations between variables.

Key words: biomonitoring, sub-basin, macrobentozoos, multivariate statistics.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>ixx</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>9</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
1.1 Zona de Estudio .....	9
1.2 Intensidad del muestreo.....	10
1.3 Trabajo de campo .....	10
1.4 Muestreo de Macroinvertebrados.....	10
1.5 Determinación del Caudal:.....	11
1.6 Trabajo de Laboratorio ( <i>Ex Situ</i> ).....	11
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>13</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>13</b>
2.1 Resultados de los muestreos de Macroinvertebrados.....	13
2.2 Índices Biológicos:.....	14
2.3 Caudal: .....	16
2.4 Resultados parámetros físico-químicos del agua. ....	18
2.5 Evaluación WQI.....	19
2.6 Evaluación de los diferentes parámetros Físico Químicos y el TULAS.....	20
2.7 Análisis de Datos: .....	23
2.8 Discusión:.....	32

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>41</b>

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Familias de macroinvertebrados recolectados durante todos los muestreos de este proyecto y su grado de tolerancia a la contaminación según Roldan, (1999).....	41
Anexo 2: Significado de los valores del índice BMWP.....	42
Anexo 3: Resultados del muestreo en la primera campaña.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 4: Resultados del muestreo en la segunda campaña.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 5: Resultados del muestreo en la tercera campaña .....	43
Anexo 6: Resultados del muestreo en cuarta campaña.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 7: Resultados del muestreo en la quinta campaña.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Anexo 8: Fotografía de la estación de muestreo numero 2.....	44
Anexo 9: Fotografía de la estación de muestreo numero 3.....	44
Anexo 10: Fotografía de la estación de muestreo numero 4.....	45
Anexo 11: Fotografía de la estación de muestreo numero 5.....	45



**ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1: Métodos utilizados para la determinación de las variables Físico – Químicas y Microbiológicas.....	12
Tabla 2. Total de individuos encontrados en las diferentes estaciones muestreadas.	14
Tabla 3: Evaluación del BMWP. ....	15
Tabla 4: Régimen de Caudales encontrados en la microcuenca del Río Camanshay.	16
Tabla 5: Parámetros Físico Químicos y Microbiológicos.....	18
Tabla 6: Evaluación del WQI.....	19
Tabla 7: Tabla general de datos. ....	24
Tabla 8: Calidad del Agua en la Microcuenca del rio Camanshay, según las estaciones de muestreo.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Microcuenca del Rio Camanshay, dentro del Cantón Santiago de Méndez.....	9
Figura 2: Evaluación de índices biológicos ABI y BMWP.....	15
Figura 3: Caudal promedio encontrado en las diferentes zonas de muestreo entre los meses de Febrero a Julio del 2008.....	17
Figura 4: Evaluación WQI a las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	19
Figura 5: Análisis de Oxígeno Disuelto a las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	20
Figura 6: Análisis pH en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	21
Figura 7: Estudio de la Dureza en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	22
Figura 8: Coliformes Totales y Fecales en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	22
Figura 9: Turbiedad en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.....	23
Figura 10: Autovalores (identificación de los componentes principales).....	25
Figura 11: Estudio de las variables Loading Plot.....	25
Figura 12: Dendograma tipo R.....	27
Figura 13: Cluster Análisis (Dendrograma tipo Q).....	28
Figura 14: CART (Clasificación de los objetos).....	30
Figura 15: CART Análisis de los centroides.....	30
Figura 16: CART Clases Asignadas y Clases Validadas.....	31

Moscoso Miranda Christian Vicente

Trabajo de Graduación

Blgo. Edwin Zárate

Enero del 2010

**ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA  
MICROCUCIENCA DEL RIO CAMANSHAY: SANTIAGO DE MÉNDEZ  
ECUADOR**

**INTRODUCCIÓN**

El agua es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta tierra. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivientes, tanto animales como vegetales. El agua es un líquido inodoro e insípido, tiene un cierto color azul cuando se concentra en grandes masas; a la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de fusión del agua pura es de 0 °C y el punto de ebullición es de 100 °C, cristaliza en el sistema hexagonal, llamándose nieve o hielo según se presente, de forma esponjosa o compacta, se expande al congelarse, es decir aumenta de volumen, de ahí que la densidad del hielo sea menor que la del agua y por ello el hielo flota en el agua líquida (Camper, 2000).

El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C (1g/mL). Su capacidad calorífica es superior a la de cualquier otro líquido o sólido, siendo su calor específico de 1 cal/g, esto significa que una masa de agua puede absorber o desprender grandes cantidades de calor, sin experimentar apenas cambios de temperatura, lo que tiene gran influencia en el clima, las grandes masas de agua de los océanos tardan más tiempo en calentarse y enfriarse que el suelo terrestre. Los calores latentes de vaporización y de fusión (540 y 80 cal/g, respectivamente) son también excepcionalmente elevados (Camper, 2000).

El agua es el compuesto químico más familiar para nosotros, el más abundante y el de mayor significación para nuestra vida. Su excepcional importancia, desde el punto de vista químico, reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no sólo en organismos vivos, sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en el laboratorio y en la industria, tienen lugar entre sustancias disueltas en agua, esto es en disolución. (Camper, 2000).

Normalmente se dice que el agua es el disolvente universal, puesto que todas las sustancias son de alguna manera, solubles en ella. No posee propiedades ácidas ni básicas, se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas (Camper, 2000).

La calidad y la cantidad de agua procedente de fuentes superficiales y subterráneas, se ven influenciadas por la geografía, el clima y las actividades humanas. Las aguas naturales por lo común son soluciones de diferente complejidad. Esto se debe al estrecho contacto que tiene el agua natural con los compuestos químicos de la litosfera, la atmósfera y la biosfera. (Camper, 2000).

El agua de los ríos y lagos contiene minerales disueltos, gases atmosféricos, y diversos compuestos químicos liberados por el hombre. Los compuestos químicos de las aguas naturales contribuyen a determinar las propiedades importantes del agua, algunos de tales compuestos son vitales para las plantas y los animales acuáticos. Por otro lado, varios de estos compuestos químicos interfieren con el uso al que se destina el agua y por tanto, se les considera contaminantes (Camper, 2000).

El agua de los ríos y lagos tiene composiciones variables. Esto es posible ya que tanto unos como otros, a menudo contienen agua que ha estado en contacto con varias formaciones geológicas, este líquido puede haber fluido a grandes y cortas distancias sobre la tierra, pudo haber disuelto minerales y sustancias de vida vegetal en descomposición a lo largo del recorrido y, además pueden contener materiales descargados por los seres humanos. Las impurezas encontradas en el agua pueden dividirse en:

- a) Sólidos disueltos.
- b) Gases disueltos.
- c) Materia suspendida.
- d) Microorganismos.

En los últimos años el recrudecimiento de los problemas ambientales relacionados con las actividades humanas han creado una gran presión sobre los recursos naturales en especial sobre el agua. El agua a pesar de constituir el 75% de la superficie de nuestro planeta solamente en un 2.5 % es dulce y de esta el 0.94% está disponible para el consumo humano. La mala distribución y consumo excesivo del agua han producido graves problemas de contaminación; las principales fuentes de contaminación son: desagües de aguas negras o descargas industriales, o fuentes no puntuales como lixiviados agrícolas o urbanos (Glynn, 1999).

La contaminación del agua es la causa principal de la desaparición progresiva de especies animales y vegetales, como demuestran diferentes estudios (Alba-Tercedor y Sánchez Ortega, 1988; Benito de Santos y Puig García, 1999). Además, otra de las causas de la disminución de las comunidades acuáticas es la variación de caudal de sus aguas. Las fluctuaciones inducidas por cambios en el régimen del caudal pueden modificar la composición de las especies, sus ciclos de vida y la abundancia de las poblaciones (Torralva *et al.* 1995; Bonada *et al.* 2000).

Para evaluar la calidad del agua del río en estudio se utilizaron parámetros: físico-químicos, microbiológicos y biológicos. El uso de parámetros físico químicos es un método costoso y no siempre reflejan el verdadero estado de un hábitat, por que es muy susceptible a cambios que se pueden producir en un sistema hídrico. Por lo cual para determinar la calidad del agua, se utilizan además los macroinvertebrados que es un método sencillo, barato y óptimo en la determinación de la calidad del sistema hídrico en estudio (Alba – Tercedor & Sánchez – Ortega. 1988; Zamora *et al.* 1995).

Entre los indicadores biológicos que utiliza como referencia el biomonitoreo en sistemas hídricos, se encuentra los macroinvertebrados acuáticos observables a simple vista, miden entre 2 y 30 milímetros entre los que sobresalen las larvas de

insectos que inician su vida en el agua y posteriormente adoptan hábitos terrestres. (Carrera, 2001).

En los ríos los macroinvertebrados pueden vivir en diferentes hábitats como: hojas flotantes y sus restos, troncos caídos o en descomposición, en arena de fondo de río y adheridos a las piedras. Las fuentes alimenticias de los macroinvertebrados incluyen plantas acuáticas, restos de otras plantas, algas, otros invertebrados, peces, pequeños restos de comida en descomposición, elementos nutritivos del suelo y del agua, animales en descomposición y sangre de otros organismos (Carrera, 2001).

Estos individuos proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y al usarlos en el monitoreo podemos entender claramente el estado en que se encuentra un río, laguna o el cuerpo de agua dulce que se esté evaluando. Estos son los organismos que han sido utilizados con mayor frecuencia en los estudios relacionados con la contaminación de los ríos. Algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir, otros en cambio, resisten, crecen, y abundan cuando hay contaminación; además presentan ciclos de desarrollo suficientemente largos que les hace permanecer en los cursos de agua el tiempo suficiente para detectar cualquier alteración y la diversidad que presentan es tal que hay una infinita gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Hellowell, 1986).

Otra ventaja de este grupo radica en que tras una perturbación necesitan un tiempo mínimo de recolonización., por lo que los efectos de una perturbación pueden detectarse varias semanas e incluso meses después de que esta se produzca; Mientras que los métodos analíticos actuales ofrecen una visión puntual de las aguas en el momento de la toma de las muestras (Alba-Tercedor, 1996).

Para los indicadores de la calidad del agua se utilizó el índice BMWP ( Biological Working Party) por sus siglas en ingles, creado en Inglaterra por Hellewell (1978), fue concebido para analizar la tolerancia de familias de macro-invertebrados, esto en la práctica resulta ventajoso para aquellos países donde el grado del conocimiento sistemático de los invertebrados es bajo y la diversidad de especies es alta, como en los países neotropicales. El índice fue adaptado por Alba-Tercedor & Sánchez Ortega (1988) para la Península Ibérica y fue llamado BMWP.

En Latinoamérica se han hecho intentos de aplicar índices para evaluar la calidad de las aguas. Roldán propone el uso del BMWP/Col método aplicado para Colombia. En Costa Rica se hicieron sugerencias para la utilización del BMWP en torrentes tropicales, En Argentina se investigaron cinco índices bióticos, entre ellos el BMWP, tanto en torrentes montañosos como en la parte baja. En otro trabajo, realizado, se propone el BMPS (Biotic Monitoring Patagonian Stream) para evaluar la calidad biológica en ríos de La Patagonia. Este índice es una adaptación del BMWP a las condiciones de Argentina (Miserendino & Pizzolón, 1999).

Junquiera et al (2000) realizaron un trabajo relacionado con el BMWP. En el mismo estos autores adaptaron este índice creando tablas de tolerancias de familias a nivel regional para Brasil correlacionado sus resultados con análisis físico-químicos, lo cual reafirmó la eficacia del método. Naranjo et al (2003) crearon el BMWP-Cub para Cuba, el cual como lo anteriores resulta de una adaptación del BMWP. Este índice fue probado en varios ríos del Oriente y Centro del país, dando magníficos resultados. El puntaje final se obtiene sumando los valores de todos los componentes de cada muestra determinando así la calidad del agua (Mandaville, S.M. 2002).

El índice BMWP fue aplicado en este trabajo debido principalmente a que dichos valores fueron aplicados por Armitage 1988, Zuñiga de Cardoso *et al.* 1997, ellos realizaron un estudio al Sur Occidente de Colombia, y esta zona tiene características muy parecidas a las realizadas en este estudio y el sesgo que se tendría sería relativamente bajo y los resultados serian certeros y confiables. El índice ABI generalmente se aplica para los paramos de nuestros andes, pero ha demostrado ser muy útil y dar muy buenos resultados durante la realización de este estudio, demostrando valores muy similares a los de BMWP, es por eso que se lo incluyo en el cálculos realizados.

La contaminación fecal del agua produce dos hechos notables desde un punto de vista sanitario: la incorporación de un gran número de microorganismos pertenecientes a la flora fecal, y la incorporación de materias orgánicas fecales. El primero de ellos justifica el empleo de indicadores microbiológicos mientras que la incorporación de materias fecales deberá condicionar el tipo de indicadores químicos. La contaminación fecal ha sido, y sigue siendo, el principal riesgo

sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos y la transmisión hídrica a la población susceptible (Camper, 2000).

Para evaluar la calidad físico química del agua se utilizó el índice WQI, este índice es básicamente un medio matemático de cálculo de un valor único de múltiples resultados obtenidos sobre diferentes parámetros en una muestra de agua. El índice representa el nivel de calidad del agua en una cuenca hidrográfica, como un lago, río o arroyo.

El WQI, se desarrolló en la década de 1970, se puede utilizar para controlar la calidad del agua, la prueba del WQI toma diversos parámetros, para el cálculo del índice tomamos en cuenta los siguientes parámetros físico químicos: pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, turbiedad, dureza, fosfatos y además el índice evalúa los coliformes totales como fecales. (Environmental Protection Agency)

Para obtener toda la información posible de los datos se aplicó estadística multivariante la cual estudia la información en su conjunto, con esto logramos entender de forma general la problemática de la calidad del agua; analizando tanto los factores físico-químicos, microbiológicos y biológicos en su conjunto y no por separado. Para llevar a cabo un análisis de este tipo se deben considerar los siguientes pasos:

- 1) Establecer los objetivos del análisis.
- 2) Diseñar el análisis.
- 3) Evaluar las hipótesis.
- 4) Realizar el análisis.
- 5) Interpretar los resultados obtenidos.
- 6) Validar los resultados.

Los datos encontrados fueron analizados mediante métodos de exploración los cuales fueron: ACP, CLUSTER análisis y un modelo de Clasificación CART. Estas técnicas son un conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos en donde existen una serie de variables medidas para cada individuo u objetos estudiados. Por esta razón, este tipo de análisis da un mejor



entendimiento de la problemática del fenómeno estudiado obteniendo toda la información posible de los datos. Además el análisis ayuda al investigador a tomar decisiones óptimas para solucionar un problema propuesto teniendo en cuenta toda la información disponible del conjunto de datos analizados (Frank, 1994).

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica quimiométrica bien conocida de uso general que permite analizar y comprimir la estructura de los datos multivariante proyectándolos en un hiper-espacio reducido, definido por las primeras componentes principales significativas. Estas corresponden a nuevas variables que resultan de combinaciones lineales de las variables originales, donde el primer componente principal contiene la máxima varianza, y así sucesivamente. (Todeschini, R. 1998).

Generalmente, los resultados obtenidos del ACP se muestran con dos graficas; la proyección de las muestras en el hiper-espacio reducido se representa por medio del grafico de los scores, mientras que los coeficientes lineales de las combinaciones de cada variable original se demuestran en el grafico de los loadings. Los loadings representan la influencia de cada variable en cada componente principal (Todeschini, R. 1998).

El análisis de Cluster permite evaluar la similitud entre muestras, es decir dividir los datos en grupos útiles llamados "cluster". El objetivo es detectar agrupaciones homogéneas de objetos significativos, así entonces los cluster resultantes deben contener la estructura natural de los datos, se fundamenta sobre el concepto de similitud, este concepto es relativo a su complemento de disimilaridad; el punto de partida para evaluar la similitud entre dos objetos es la determinación de la distancia que existe entre ellos, el cluster no es un método de clasificación, pues los grupos formados deben ser estudiados para poder dar una interpretación, que permita sugerir la existencia de eventuales categorías para posteriores estudios de clasificación. (Todeschini, R. 1998).

Para definir la problemática de la zona se construyó un modelo matemático, utilizando un método de clasificación; las clases fueron definidas mediante el análisis de cluster, el método utilizado fue CART este método construye un árbol de

decisiones como una regla de clasificación. CART construye este árbol de decisión mediante una partición binaria de los datos; en donde se definen tres partes del árbol la raíz que es la parte inicial del árbol los nudos parte intermedia y las hojas que definen los niveles del árbol de decisión. (Frank, I., 1994).

Para evaluar la calidad del modelo establecido mediante el método de clasificación CART se determinó  $Q^2$ , mediante el método “*leave-one-out*” (LOO). El método LOO es un método de validación que perturba en mínima forma el modelo, utilizando  $n-1$ , es decir, se excluye un objeto del modelo este se calcula y las respuestas se van acumulando hasta estimar un parámetro predictivo de error en el modelo (Meloun et al, 1994).

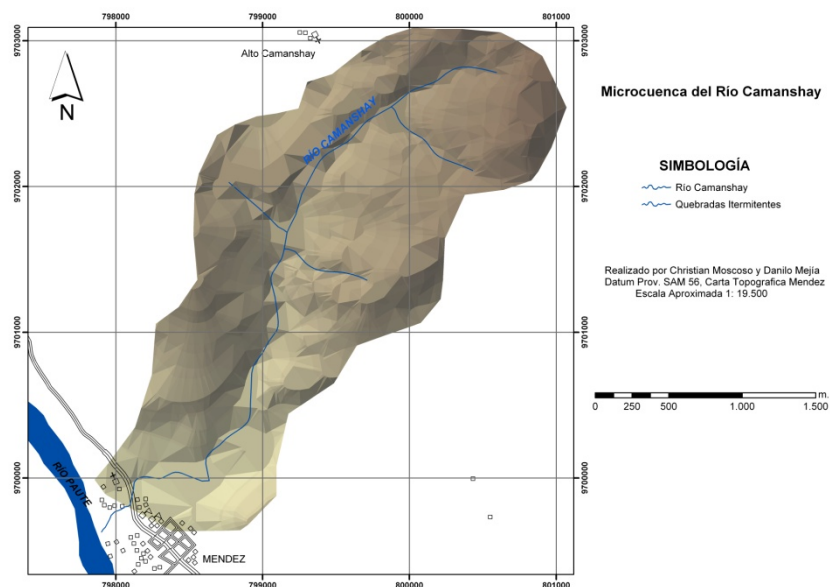
Lo que se pretendió durante el desarrollo de este proyecto fue el obtener datos claros y reales de la situación actual de la calidad del agua de la microcuenca del río Camanshay, aplicando diversos criterios que permitieron establecer los diferentes grados de contaminación del agua, y definir las posibles acciones a tomar para mejorar el estado de conservación de la misma

## CAPITULO 1

### METODOLOGÍA

#### 1.1 Zona de Estudio

El río Camanshay tiene una altura máxima de 1000 m s.n.m. y es la principal fuente de agua para la comunidad del Alto Camanshay. El visible deterioro de la microcuenca en los últimos años es algo que ha sido fácilmente perceptible por la comunidad por lo que la problemática surgida por la posible contaminación de la microcuenca llevó la necesidad de evaluar la calidad de sus aguas.



**Figura 1:** Ubicación de la Microcuenca del Río Camanshay, dentro del Cantón Santiago de Méndez.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, MAPA CARTOGRÁFICO: Hoja MENDEZ. 1:50'000. Instituto Geográfico Militar. Quito – Ecuador,( 1996).

Alto Camanshay está ubicada a una altura promedio de 580 m.s.n.m. Ubicado en una región montañosa, el clima de la comunidad de "ALTO CAMANSHAY" es calido-húmedo, caracterizado por inviernos lluviosos y veranos poco secos, con una temperatura media anual de 22°C, existiendo una mínima diferencia mensual en el año, su régimen pluviométrico es lluvioso regular. El período de invierno se inicia a finales del mes de Abril y termina el mes de Agosto, con una cantidad de lluvia anual de 2000 mm, el resto de meses del año corresponden a la época de verano con lluvias frecuentes. (Tapia, 2007)

## **1.2 Intensidad del muestreo**

Se establecieron siete puntos de muestreo, los cuales fueron definidos mediante la utilización del suelo y su respectiva influencia en la calidad del agua. Se realizaron cinco salidas de campo, dentro de los meses de Febrero a Julio, los cuales se encuentran en época de altas precipitaciones, esto con el fin de tener un mayor campo de representatividad en las variables estudiadas.

## **1.3 Trabajo de campo**

En el campo (*in situ*) se determinaron tres parámetros, que fueron el Oxígeno Disuelto, el pH y la conductividad, esto se realizó mediante equipos portátiles.

## **1.4 Muestreo de Macroinvertebrados**

Los muestreos se los realizaron mediante el uso de una red de patada de 250um de ojo de malla, puesto que este método es el más adecuado para las aguas de corriente poco profundas (Roldan, 1996), como es el caso de la microcuenca del río Camanshay. Este método es el ideal para determinar la calidad de las aguas del río, a través de la comunidad béntica; se realizaron cinco replicas por estación de muestreo, las muestras recolectadas se almacenaron en frascos de plástico esterilizadas y rotuladas, estas contenían alcohol al 90 %, posteriormente las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio de la Universidad del Azuay donde se prepararon e

identificaron mediante el uso de un estéreo microscopio, primero a orden faunístico, luego a nivel de familia mediante el uso de claves taxonómicas digitales para insectos acuáticos de la Universidad de Dakota del Norte, 2003 y de Domínguez, et al (2001)

### **1.5 Determinación del Caudal:**

Para el caudal, en primer lugar, se buscó un transecto de río con la sección lo más homogénea posible y por el que pasó todo el caudal, esto, siguiendo la metodología sugerida por Pablo Jáimez – Cuéllar *et al*, 2002, luego:

- Se midió la anchura del río con ayuda de una cinta métrica (w)
- A lo ancho de este tramo se realizaron medidas de profundidad (d)
- utilizando un objeto flotante se dejó caer este para que se deslice sobre la superficie río abajo hasta recorrer una distancia conocida de 1 metro (l), en forma complementaria a ello se tomó el tiempo (t) que transcurre en que el objeto recorre dicha distancia

Finalmente el caudal aproximado se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal Promedio} = w \cdot d \cdot a \cdot l / t$$

En donde **a** es un coeficiente que varía de 0.8 si el cause es rugoso o 0.9 si es liso (Prat *et al* 2001).

### **1.6 Trabajo de Laboratorio (*Ex Situ*)**

Los análisis físico-químicas se realizaron en el Laboratorio de Análisis Ambientales de la Universidad del Azuay, todos estos parámetros se realizaron mediante técnicas indicadas en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* y su metodología aplicada se expone para cada uno de los parámetros en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Métodos utilizados para la determinación de las variables Físico – Químicas y Microbiológicas.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Métodos Utilizado</b>
Turbidez	UNT	2130 A+
Amonio	Ppm	4500-Nh3 A
Conductividad	uS	2510 A
Alcalinidad	(mEq/L)	2320 A
Fosfatos	Ppm	4500_PE
Oxígeno Disuelto	mg/ de oxígeno Disuelto	Oxímetro WtW 320 / SET serie 82362 Weilheim
pH	Unidades de pH	4500_H+A
Sólidos Totales	Ppm	2540 A
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	2340 A
Microbiológico	NMP/100ml. de muestra	Técnica de Fermentación en tubo múltiple para miembros del Grupo de Coliformes 9221

## **CAPITULO II**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **2.1 Resultados de los muestreos de Macroinvertebrados**

##### **Diversidad de macroinvertebrados**

Durante todos los muestreos se registraron 25 taxones a nivel de familias, representados en 9 ordenes, siendo los seis grupos más representativos Ephemeroptera (20.15%), Diptera (18.76%), Odonata (16.97%), Coleoptera (12.17%), Plecoptera y Trichoptera, (11.57%). En su gran mayoría corresponden a estados inmaduros de artrópodos.

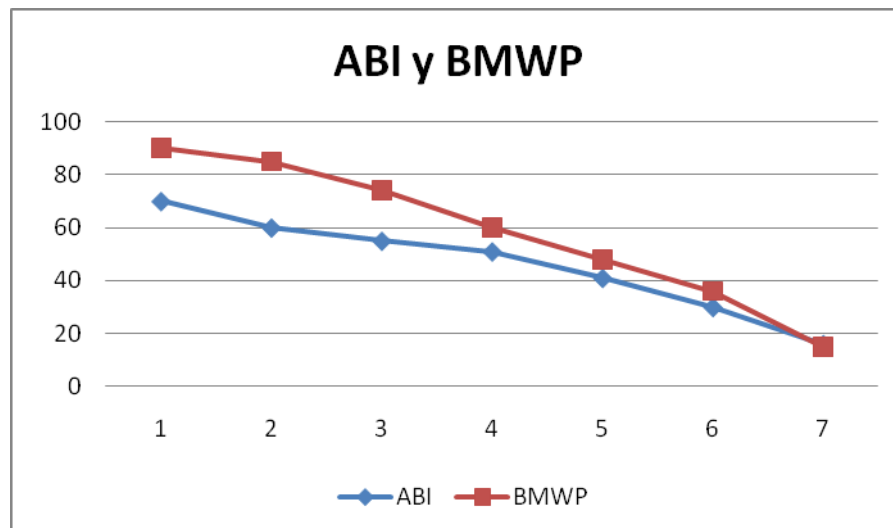
**Tabla 2. Total de individuos encontrados en las diferentes estaciones muestreadas.**

FAMILIAS	ESTACIONES						
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Corydalidae	2	12	18				
Elmidae	11	7	1	1			
Hydropsychidae	14		16		4		
Philopotamidae	2	2					
Perlidae	17	18	23				
Polythoridae	7	7	8				
Coenagrionidae	4		4		3	2	
Leptohyphidae	16	11	11	12			
Scirtidae	6	5	1				
Tipulidae	3		1		6	2	1
Beatidae	4	10		10			
Naucoridae		10					
Ptilodactylidae	10	10			2		
Chironomidae				3	2		74
Hydrobiosidae				10			
Libellulidae						40	10
Leptoceridae				5	5		
Leptophlebiidae				27			
Blepharoceridae			1				
Psephenidae				1	2	4	
Culicidae				1			
Gerridae					1		
Gomphidae						1	
Physidae							1
Aeshnidae		9					
<b>BMWP</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>74</b>	<b>60</b>	<b>48</b>	<b>36</b>	<b>15</b>
<b>ABI</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>51</b>	<b>41</b>	<b>30</b>	<b>16</b>
Riqueza familias	12	10	10	9	8	5	4
<b>Total individuos</b>	<b>96</b>	<b>92</b>	<b>84</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>49</b>	<b>86</b>

## 2.2 Índices Biológicos:

Con los datos obtenidos en los muestreos se evaluaron diferentes índices de calidad del agua. Estos se subdividieron en índices biológicos que fueron determinados mediante los macroinvertebrados como: el ABI y el BMWP y un índice que determina la calidad físico-química del agua el WQI.





Estaciones de muestreo.

**Figura 2: Evaluación de índices biológicos ABI y BMWP.**

En la figura 2 se muestra que al descender en las estaciones los índices de calidad del agua disminuyen. Esto se debe al incremento de las cargas orgánicas que son incorporadas al cuerpo de agua.

**Tabla 3: Evaluación del BMWP.**

Estación	Valor	Clase	Calidad del Agua	Significado
1-2	88	II	Aceptable	Son evidentes algunos efectos de la contaminación
3-4-5	61	III	Dudosa	Aguas contaminadas
6-7	26	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas

El BMWP nos muestra que en la microcuenca existen tres calidades de agua, la calidad del agua disminuye al descender de estación, esto se debe al aporte de cargas orgánicas encontradas a lo largo de la misma. En las estaciones 1 y 2 la calidad del agua se ve poco afectada por actividades de los pobladores de la comunidad Shuar del Alto Camanshay. Existe un segundo grupo que esta conformado por las estaciones 3-4-5 en donde la calidad del agua disminuye debido a fincas ganaderas, lo que determina que el uso del suelo cambie afectando la calidad del agua. El tercer grupo que tiene la influencia directa de las actividades antrópicas de la Ciudad de

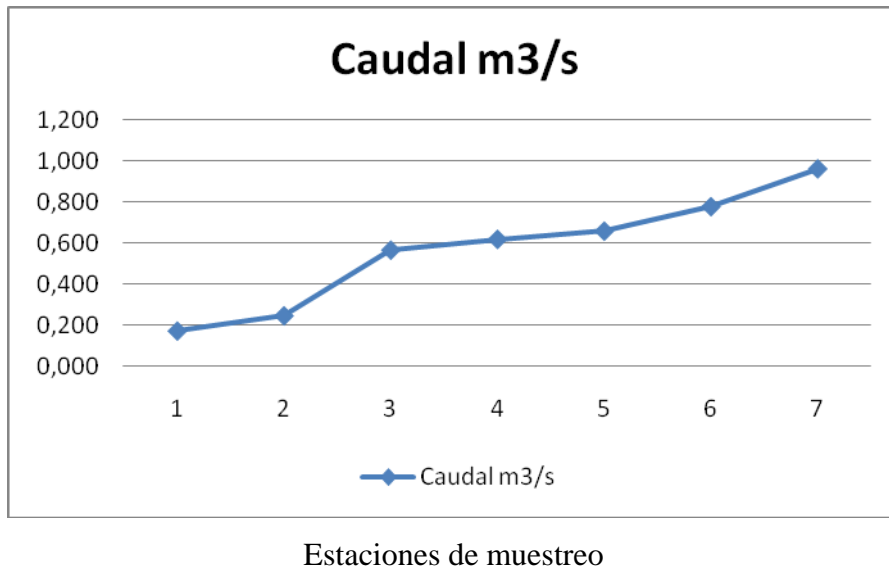
Méndez en donde la calidad del agua declina considerablemente esta zona esta conformada por las estaciones 6 y 7.

### 2.3 Caudal:

El caudal influye en la distribución de los macroinvertebrados, esto se debe a la existencia de regulaciones de caudal o desviaciones del mismo. En la tabla numero 4 podemos observar que no existen diferencias significativas entre las distintas fechas de muestreo y el caudal encontrado.

**Tabla 4:** Régimen de Caudales encontrados en la microcuenca del Río Camanshay.

Estación	Caudal encontrado en los diferentes muestreos (m <sup>3</sup> /s)					Caudal X
	1	2	3	4	5	
1	0,169	0,179	0,159	0,189	0,174	0,174
2	0,243	0,253	0,233	0,263	0,248	0,248
3	0,562	0,572	0,552	0,582	0,567	0,567
4	0,615	0,625	0,605	0,635	0,620	0,620
5	0,655	0,665	0,645	0,675	0,660	0,660
6	0,774	0,784	0,764	0,794	0,779	0,779
7	0,907	0,917	1,100	0,927	0,963	0,963



**Figura 3: Caudal promedio encontrado en las diferentes zonas de muestreo entre los meses de Febrero a Julio del 2008.**

En la figura 3 podemos observar el valor promedio de los caudales encontrados en las diferentes zonas de muestreo, se evidencia el aumento del caudal al descender en la microcuenca esto se debe a los aportes que tiene la misma al descender en altura.

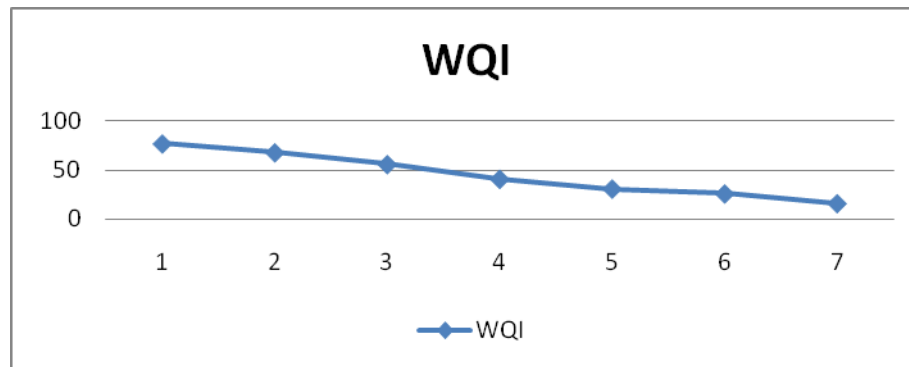
## 2.4 Resultados parámetros físico-químicos del agua.

**Tabla 5:** Parámetros Físico Químicos y Microbiológicos.

Muestra	Estación	Fecha	pH	Turbiedad	Dureza	SolidosTotales	Conductividad	Alcalinidad	Fosfatos	Oxigeno	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
1	1	18/01/08	8,27	9,02	17	19,92	39,7	0,2	0,09	6,4	160	90
2	2	18/01/09	8,37	10	30	21	18	0,5	0,36	5,65	420	240
3	3	18/01/10	7,99	8,06	30	9,78	19,53	0	0,08	6,5	340	200
4	4	18/01/11	7,91	8,08	15	22,6	45,1	0,2	0,09	6,1	3700	1500
5	5	18/01/12	7,98	8,43	22	27	54,1	0,3	0,06	6	7200	6000
6	6	18/01/13	7,98	14,365	30	39,4	78,2	0,8	0,4	5,65	34000	30000
7	7	18/01/14	8,51	53	45	119,2	238	0,8	4,3	4	30000	20000
8	1	14/02/08	8,54	7,901	15	18,45	36,8	0,1	0,04	6,2	160	130
9	2	14/02/09	8,21	12	23	19	20	0,7	0,29	5,7	420	340
10	3	14/02/10	7,84	7,462	10	9,23	18,5	0,1	0,06	6,2	90	40
11	4	14/02/11	8,52	10,26	14	18,81	37,5	0,1	0,23	6,1	3700	1500
12	5	14/02/12	8,02	9,81	16	22,7	45,4	0,1	0,16	6	7200	6000
13	6	14/02/13	8	15,78	26	35	70,2	0,3	0,33	5,4	32000	30000
14	7	14/02/14	8,82	32,6	45	75,6	151,2	0,5	0,9	5,25	30000	28000
15	1	18/03/08	7,37	9,31	28	11,77	23,5	0,4	0,12	5,2	200	190
16	2	18/03/09	7,38	12	49	24,4	25	0,4	0,23	5,1	460	340
17	3	18/03/10	7,47	7,556	18	9,01	18,02	0,1	0,16	5,9	500	450
18	4	18/03/11	7,76	7,842	27	16,63	33,7	0,2	0,17	5,7	3700	1500
19	5	18/03/12	7,9	8,6	22	19,44	38,9	0,1	0,05	5,8	7200	6000
20	6	18/03/13	7,76	13,37	22	25,9	51,8	0,2	0,3	5	30000	28000
21	7	18/03/14	8,36	81,2	46	58,9	117,75	0,6	0,94	4,8	20000	18000
22	1	25/04/08	8,41	9,04	39	20,2	40,3	0,6	0,02	6,6	100	130
23	2	25/04/09	8,23	12,3	65	23	87	0,2	0,32	6,6	420	340
24	3	25/04/10	7,81	7,629	17	9,26	18,515	0,3	0,04	6,3	670	610
25	4	25/04/11	8,23	8,5	17	17,74	35,6	0,2	0,13	6,55	3700	1500
26	5	25/04/12	8,27	8,34	34	20	40,1	0,2	0,05	6,4	7200	6000
27	6	25/04/13	8,54	12,05	36	33,7	67,3	0,1	0,23	6,4	30000	24000
28	7	25/04/14	8,64	47,8	55	81,6	163,4	0,2	0,6	5,15	20000	18000
29	1	16/05/08	8,46	9,4	14	18,85	37,9	1	0,14	6,7	90	130
30	2	16/05/09	8,64	13	32	21	83,5	1,8	0,41	6,6	420	340
31	3	16/05/10	8,06	7,6	12	7,61	15,15	0,5	0,37	6	780	470
32	4	16/05/11	8,12	8,9	14	16,13	32,1	0,9	0,12	6,59	3700	1500
33	5	16/05/12	8,27	8,58	14	17,94	35,9	1,1	0,06	6,4	7200	6000
34	6	16/05/13	8,56	12	20	65,9	33	2	0,31	6	30000	26000
35	7	16/05/14	8,95	49	51	65,9	132,1	1,9	0,52	5	20000	17000

## 2.5 Evaluación WQI

Al determinar los parámetros físico-químicos se realizó la determinación del índice WQI, este índice determina la calidad físico-química del agua.



Estaciones de muestreo.

**Figura 4: Evaluación WQI a las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**

En la figura 4 muestra que al descender en la microcuenca, el índice WQI baja debido al incremento de los diferentes parámetros físico-químicos medidos en el agua, sobre todo al descenso del valor del oxígeno disuelto que disminuye drásticamente en las estaciones 6 y 7 debido a la aportación de diferentes cargas orgánicas en la zona.

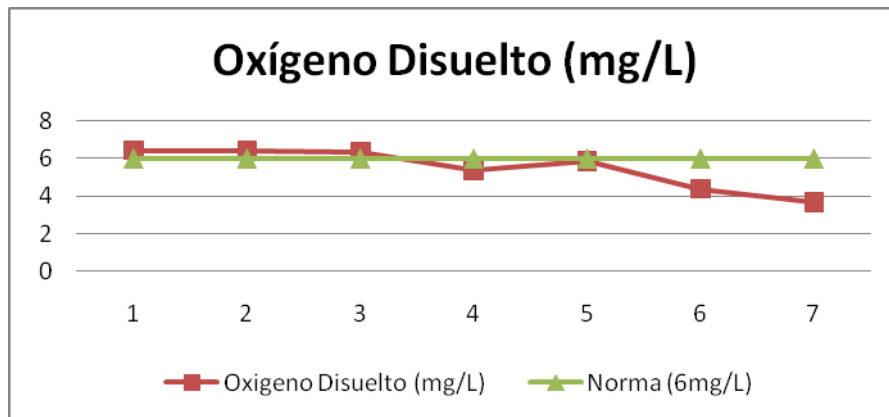
**Tabla 6: Evaluación del WQI**

Estación	Valor	Calidad del agua
I-II	73	Buena
III-IV-V	43	Regular
VI-VII	21	Pobre

El índice WQI nos reporta la presencia de tres calidades de agua a lo largo de la microcuenca en donde se observa que al descender en las estaciones el índice WQI disminuye debido a la presencia de mayores concentraciones de los parámetros físico-químicos.

## 2.6 Evaluación de los diferentes parámetros Físico Químicos y el TULAS

El TULAS, es un conjunto de normas de reglas que permiten el mantenimiento del medio ambiente, evitando la contaminación por desechos sólidos, líquidos o gaseosos, además de normar la contaminación acústica y vibratoria. (Escrito Marco, 2007).

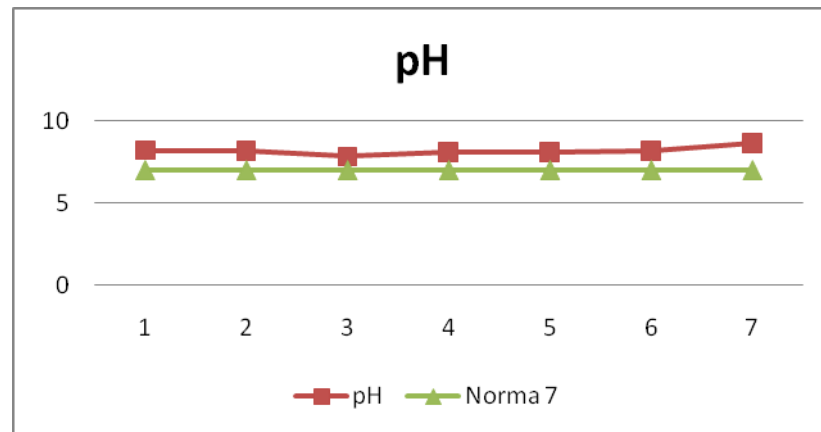


Estaciones de muestreo.

**Figura 5: Análisis de Oxígeno Disuelto a las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**

Según el TULAS en su índice de calidad del agua para la preservación de la flora y la fauna en aguas corrientes frías y cálidas, el valor de la norma para el oxígeno disuelto es 6 mg/L, en el gráfico podemos observar que en las tres primeras estaciones se cumplen con las especificaciones de la norma, el resto de estaciones están fuera de la norma debido a los diferentes aportes orgánicos a lo largo de la microcuenca según la figura 5.

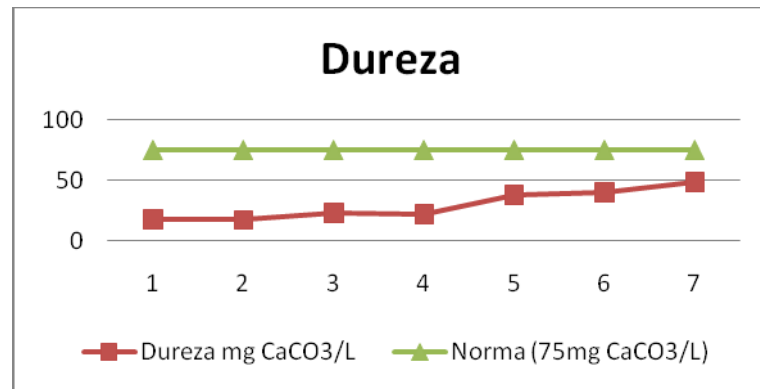
**pH:**



Estaciones de muestreo.

**Figura 6: Análisis pH en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**

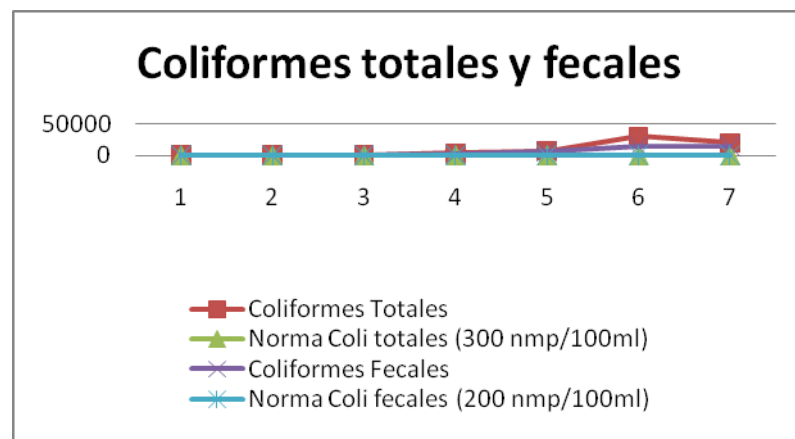
La norma establecida por el TULAS para el pH está entre 6, 5-9 para la preservación de la flora y fauna, todas las estaciones están dentro de el parámetro establecido por la norma, pese a ser un poco alcalinas según indica la figura 6.

**Dureza:**

Estaciones de muestreo

**Figura 7: Estudio de la Dureza en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**

La norma indica un valor de 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L todas las estaciones están dentro de la norma lo cual indica que este parámetro no afecta a la preservación y conservación de la flora y la fauna del sector.

**Coliformes Totales y Fecales:**

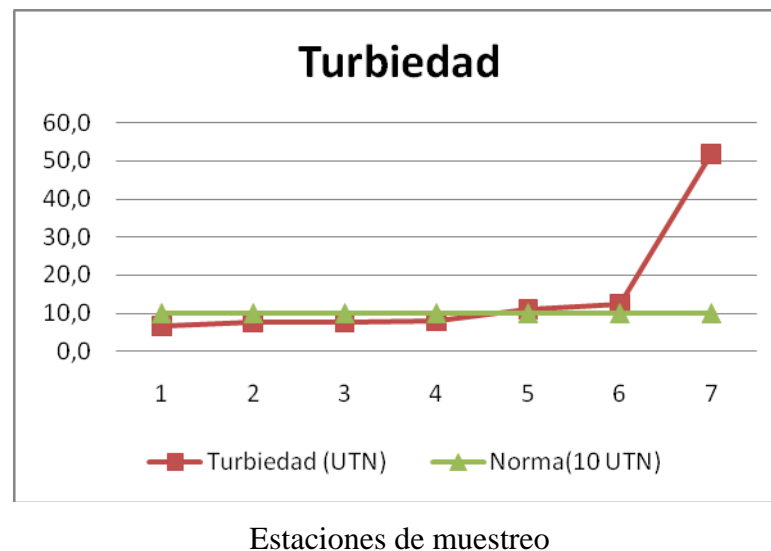
Estaciones de muestreo

**Figura 8: Coliformes Totales y Fecales en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**



En relación a los coliformes solo las tres primeras estaciones cumplen con la norma, el resto de estaciones presentan valores sumamente elevados de este parámetro.

### Turbiedad:



**Figura 9: Turbiedad en las diferentes estaciones de muestreo entre los meses de Febrero a Julio de 2008.**

La norma establece como valor de turbiedad 10 UTN (Unidades de Turbidez Nefelométricas), en el grafico se observa que las primeras cuatro estaciones cumplen con la especificación de la norma, las tres estaciones subsiguientes están fuera de la norma.

### 2.7 Análisis de Datos:

Con los datos obtenidos se construye una matriz de datos  $n \times p$  donde  $n$  son el número de objetos, que para el presente estudio fueron 35 y  $p$  el número de variables que son 13 en las cuales se incluyen los parámetros físico-químicos, microbiológicos y biológicos.

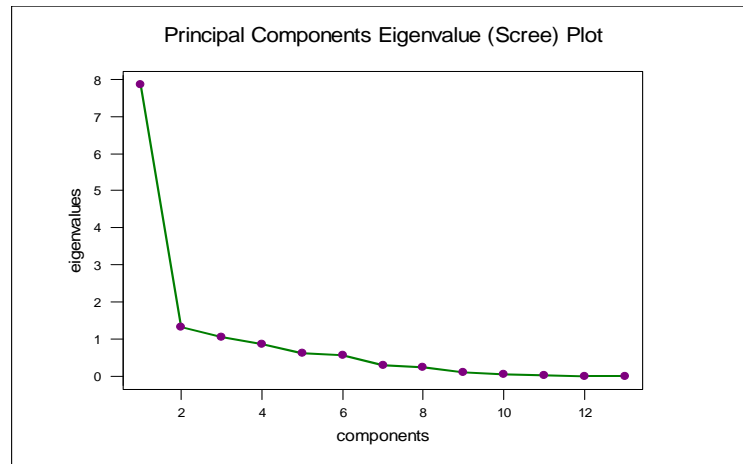
**Tabla 7:** Tabla general de datos.

Muestra	Estación	Fecha	pH	Turbiedad	Dureza	SolidosTotales	Conductividad	Alcalinidad	Fosfatos	Oxigeno	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	ABI	BMWP	WQI
1	1	18/01/08	8,27	9,02	17	19,92	39,7	0,2	0,09	6,4	160	90	80	62	80
2	2	18/01/09	8,37	10	30	21	18	0,5	0,36	5,65	420	240	70	50	72
3	3	18/01/10	7,99	8,06	30	9,78	19,53	0	0,08	6,5	340	200	94	64	60
4	4	18/01/11	7,91	8,08	15	22,6	45,1	0,2	0,09	6,1	3700	1500	88	44	45
5	5	18/01/12	7,98	8,43	22	27	54,1	0,3	0,06	6	7200	6000	87	47	35
6	6	18/01/13	7,98	14,365	30	39,4	78,2	0,8	0,4	5,65	34000	30000	12	29	30
7	7	18/01/14	8,51	53	45	119,2	238	0,8	4,3	4	30000	20000	1	16	20
8	1	14/02/08	8,54	7,901	15	18,45	36,8	0,1	0,04	6,2	160	130	80	62	75
9	2	14/02/09	8,21	12	23	19	20	0,7	0,29	5,7	420	340	68	55	67
10	3	14/02/10	7,84	7,462	10	9,23	18,5	0,1	0,06	6,2	90	40	94	64	55
11	4	14/02/11	8,52	10,26	14	18,81	37,5	0,1	0,23	6,1	3700	1500	88	44	40
12	5	14/02/12	8,02	9,81	16	22,7	45,4	0,1	0,16	6	7200	6000	87	47	30
13	6	14/02/13	8	15,78	26	35	70,2	0,3	0,33	5,4	32000	30000	12	29	25
14	7	14/02/14	8,82	32,6	45	75,6	151,2	0,5	0,9	5,25	30000	28000	1	16	15
15	1	18/03/08	7,37	9,31	28	11,77	23,5	0,4	0,12	5,2	200	190	80	62	78
16	2	18/03/09	7,38	12	49	24,4	25	0,4	0,23	5,1	460	340	75	55	70
17	3	18/03/10	7,47	7,556	18	9,01	18,02	0,1	0,16	5,9	500	450	94	64	58
18	4	18/03/11	7,76	7,842	27	16,63	33,7	0,2	0,17	5,7	3700	1500	88	44	43
19	5	18/03/12	7,9	8,6	22	19,44	38,9	0,1	0,05	5,8	7200	6000	87	47	33
20	6	18/03/13	7,76	13,37	22	25,9	51,8	0,2	0,3	5	30000	28000	12	29	28
21	7	18/03/14	8,36	81,2	46	58,9	117,75	0,6	0,94	4,8	20000	18000	1	16	18
22	1	25/04/08	8,41	9,04	39	20,2	40,3	0,6	0,02	6,6	100	130	80	62	77
23	2	25/04/09	8,23	12,3	65	23	87	0,2	0,32	6,6	420	340	70	56	69
24	3	25/04/10	7,81	7,629	17	9,26	18,515	0,3	0,04	6,3	670	610	94	64	57
25	4	25/04/11	8,23	8,5	17	17,74	35,6	0,2	0,13	6,55	3700	1500	88	44	42
26	5	25/04/12	8,27	8,34	34	20	40,1	0,2	0,05	6,4	7200	6000	87	47	32
27	6	25/04/13	8,54	12,05	36	33,7	67,3	0,1	0,23	6,4	30000	24000	12	29	27
28	7	25/04/14	8,64	47,8	55	81,6	163,4	0,2	0,6	5,15	20000	18000	1	16	17
29	1	16/05/08	8,46	9,4	14	18,85	37,9	1	0,14	6,7	90	130	80	62	74
30	2	16/05/09	8,64	13	32	21	83,5	1,8	0,41	6,6	420	340	70	56	66
31	3	16/05/10	8,06	7,6	12	7,61	15,15	0,5	0,37	6	780	470	94	64	54
32	4	16/05/11	8,12	8,9	14	16,13	32,1	0,9	0,12	6,59	3700	1500	88	44	39
33	5	16/05/12	8,27	8,58	14	17,94	35,9	1,1	0,06	6,4	7200	6000	87	47	29
34	6	16/05/13	8,56	12	20	65,9	33	2	0,31	6	30000	26000	12	29	24
35	7	16/05/14	8,95	49	51	65,9	132,1	1,9	0,52	5	20000	17000	1	16	14

Definida la matriz de datos se auto-escalaron los valores para que su importancia en el análisis multivariante sea el mismo.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

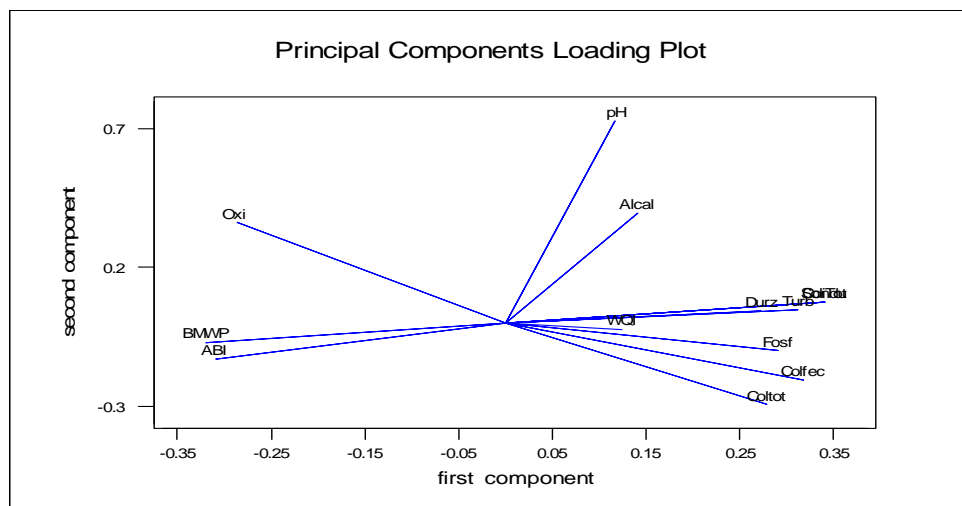
**Análisis de Componentes Principales:** el análisis determinó que existen tres componentes principales en el set de datos, en estos tres componentes principales se retiene el 78% del total de la información de los datos.



**Figura 10:** Autovalores (identificación de los componentes principales)

El Scree plot muestra que tres componentes serán tomados en el presente estudio, es decir se reduce la dimensión de la matriz ya que se utilizarán tres variables importantes en lugar de las 13 variables originales.

**Estudio de las Variables:**



**Figura 11:** Estudio de las variables Loading Plot

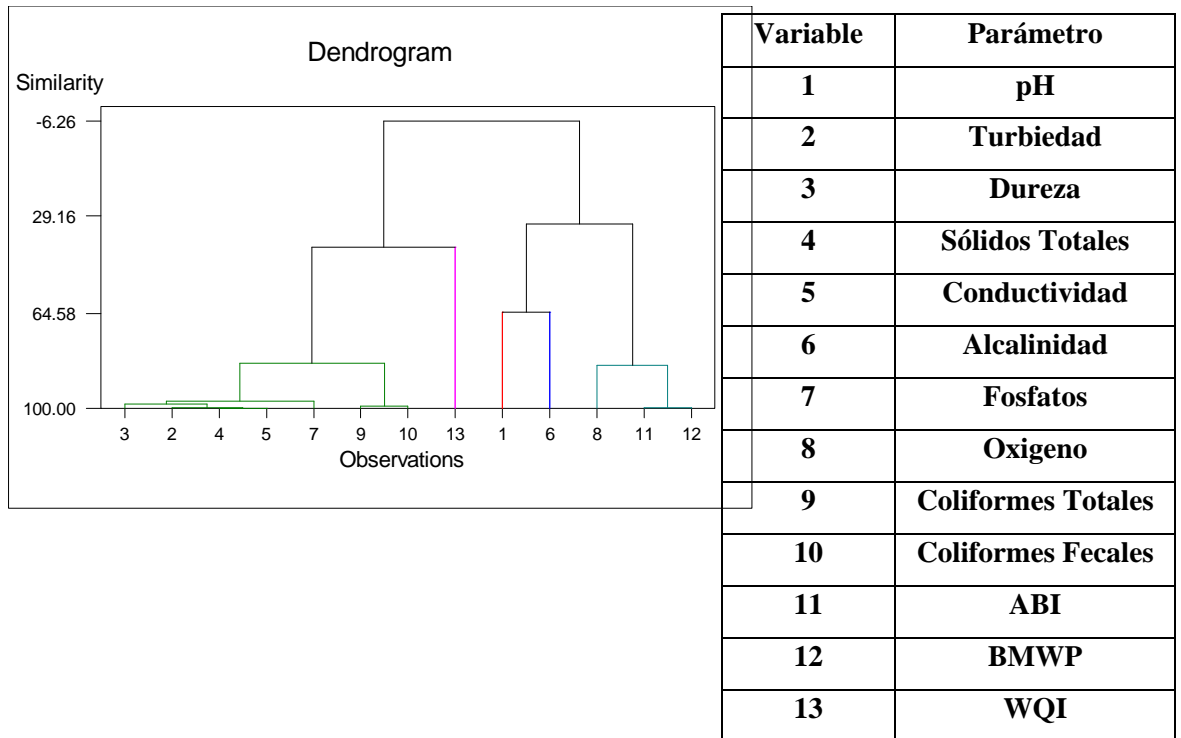
En el loading plot se ve que en el primer componente las variables físico-químicas, los índices de calidad de agua BMWP-ABI-WQI y los coliformes totales como fecales son los más importantes. Cuando existe poca cantidad de oxígeno en las

aguas existe gran cantidad de coliformes totales como fecales. Los índices de calidad de agua como: el BMWP y el ABI disminuyen al aumentar el valor de las variables físico-químicas.

Además el WQI está relacionado con todas las variables físico-químicas estudiadas, esto determina que al aumentar estos parámetros el WQI se reduce es decir la calidad del agua disminuye. En las variables físico-químicas se observa que la turbiedad y los sólidos totales están relacionados es decir si existe mayor turbiedad, mayor cantidad de sólidos totales se va a tener.

La dureza y la conductividad también están correlacionadas si existe mayor conductividad, mayor será la dureza por que al tener más conductividad mayor cantidad de sales existe. El segundo componente principal esta determinado por el pH y la alcalinidad de las aguas, esta correlación se debe a que las aguas analizadas en el presente trabajo tenían un pH básico lo cual determinó su alcalinidad.

Para comprobar las diferentes correlaciones existentes en nuestro estudio se realizó un análisis clúster tipo R utilizando el método de WARD y aplicando la distancia euclídeana cuadrada, en este cluster tipo R se agrupan las variables dando los siguientes resultados:

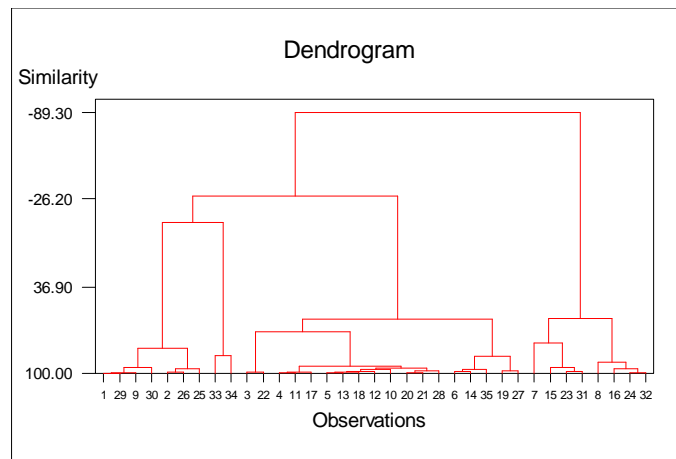


**Figura 12: Dendograma tipo R.**

El cluster análisis tipo R muestra la existencia de tres grupos definidos, el primer grupo esta determinado por las variables físico-químicas que son estudiadas para determinar el WQI, las cuales son: dureza, turbiedad, sólidos, conductividad, fosfatos, coliformes fecales y totales. El segundo grupo esta formado por el pH y la alcalinidad, estos parámetros están correlacionados debido a que las aguas analizadas tenían un pH básico lo cual determinó la correlación entre estos parámetros. Y el tercer grupo formado por lo parámetro biológicos el BMWP y el ABI correlacionados con el oxígeno.

**Estudio de los Objetos**

Se realizó un análisis cluster tipo Q para determinar la similitud entre los objetos y las variables, este método nos permitió definir sitios similares a largo de la Microcuenca del Río Camanshay; se utilizó el método de WARD y se aplicó la distancia euclideana cuadrada.



**Figura 13: Cluster Análisis (Dendrograma tipo Q).**

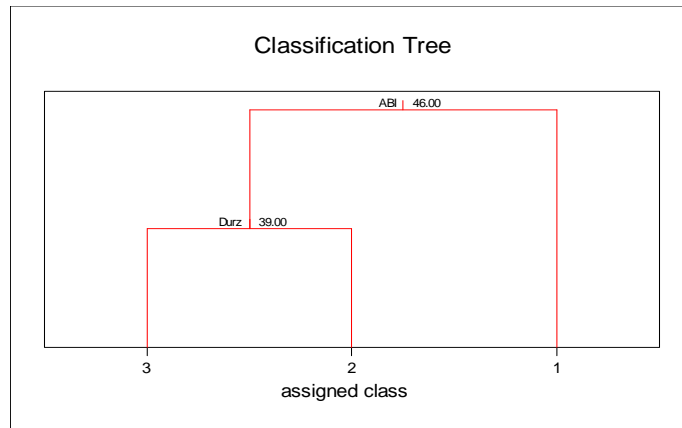
El dendrograma muestra la existencia de tres grupos definidos a una similaridad del 70% a lo largo de la microcuenca. El primer grupo está conformado por objetos de las estaciones 1 y 2, en donde la calidad del agua se ve poco afectada por actividades de los pobladores de la comunidad Shuar del Alto Camanshay. El grupo 2 está conformado por las estaciones 3-4 y 5, en donde la calidad del agua disminuye debido al establecimiento de fincas ganaderas, lo cual determina que el uso del suelo cambie afectando la calidad del agua. Y el tercer grupo formado por las estaciones 6 y 7, estas estaciones están asentadas en la ciudad de Méndez por lo cual tienen la influencia directa de las actividades antrópicas de la ciudad aquí la calidad del agua declina considerablemente

**Tabla 8: Calidad del Agua en la Microcuenca del río Camanshay, según las estaciones de muestreo.**

Estación	Grupo
1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	3
7	3

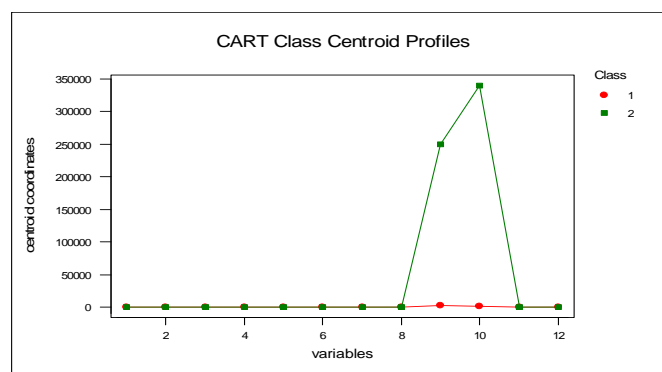
Los objetos contenidos en el grupo 1 poseen una buena calidad del agua en donde los parámetros físico-químicos son bajos y los índices de calidad del agua son elevados. En el grupo 2 la calidad del agua decrece los parámetros físico químicos son elevados y sobre todo existe la presencia elevada de coliformes. El grupo 3 es el más afectado del sector debido a una gran carga orgánica y por consiguiente una baja considerable de oxígeno disuelto en el agua. Para definir de mejor manera la problemática de la calidad del agua en la zona se procedió a construir un modelo matemático, que defina las principales variables que caracterizan la calidad del agua en la zona; por lo cual se realizó un análisis de clasificación en donde las clases fueron definidas mediante el análisis de cluster luego de esto se realizó el método de clasificación CART.

El método CART define que las variables que permiten la separación de los grupos son el ABI y la dureza del agua.



**Figura 14:** CART (Clasificación de los objetos).

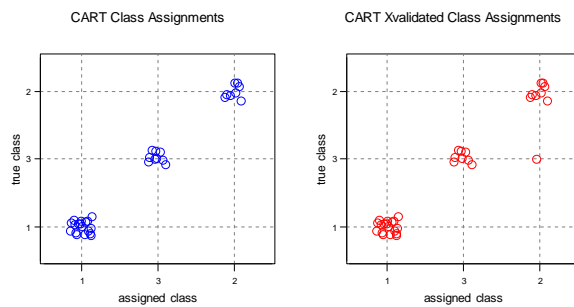
El gráfico muestra los valores umbrales que CART estima para la separación de las clases, estos valores son 46 para el ABI y 39 para la dureza del agua. Los objetos que superan el valor umbral del ABI son clasificados en la clase 1 es decir estos objetos poseen una buena calidad del agua. Si estos objetos no superan el valor umbral del ABI pasan a una segunda clasificación en donde los objetos son clasificados por la dureza. La dureza posee un valor umbral de 39 si los objetos no superan este valor pasan a formar parte de la clase 2, que es una clase intermedia en relación a la calidad del agua. Si los objetos superan el valor umbral de la dureza pasan a formar parte de la clase 3, en donde la calidad del agua posee malas características. Estas variables con sus respectivos valores umbrales nos ayudan a definir la clase a la cual corresponde un nuevo objeto tan solo realizando 2 análisis de los 13 propuestos al principio del estudio, con lo cual se optimiza recursos y tiempo en nuevos estudios realizados en la zona.



**Figura 15:** CART Análisis de los centroides.



El gráfico muestra los centroides de las clases del método CART, en donde se observa que las variables que permiten la separación de los grupos son los coliformes tanto fecales como totales por lo cual estas variables también son importantes para la definición de las clases. Para determinar la calidad del modelo matemático se validó el método mediante una validación leave-one-out.



**Figura 16:** CART Clases Asignadas y Clases Validadas

Se puede ver que existe un objeto mal clasificado lo cual nos proporcionan error al modelo matemático. El modelo matemático es de excelente calidad al tener un error del 0.0286%, este modelo encontrado nos sirve para la predicción de nuevos objetos los cuales pueden ser clasificados mediante la utilización de los valores umbrales ya encontrados por el modelo.

## 2.8 Discusión:

Al realizar un estudio completo de análisis de la calidad del agua se estudian varios factores, entre estos factores físico químicos, microbiológicos y biológicos, para obtener la información mas relevante del conjunto de datos, en la actualidad se utilizan técnicas de análisis multivariantes, estas están siendo ampliamente utilizadas en estudios de calidad del agua, como los señalan Vivas et. al. y Ramírez et. al. (2005).

En nuestro estudio el análisis de componentes principales determinó que existieron tres componentes importantes, los cuales retienen el 78% de toda la información contenida en los datos, este es un valor significativo en relación a Ramírez et. al. que en su análisis estableció el mismo número de componentes principales, los cuales contienen el 80% de información de sus datos, teniendo en este estudio la misma cantidad de variables.

Ramírez et. al. (2005) indica en su análisis que la dureza y la conductividad poseen una importante correlación, al aumentar la conductividad mayor presencia de sales en el agua, lo cual aumenta la dureza en la misma, además este estudio indica una importante correlación entre la turbiedad y los sólidos totales; se estableció que también existe una importante correlación en las variables indicadas anteriormente. Ramírez et. al.(2005) señala una importante correlación entre el pH y la alcalinidad, esta correlación se repite en nuestro estudio debido a que el pH encontrado en las aguas poseían valores un poco elevados lo cual nos indica que son aguas alcalinas.

Estos resultados señalan que al existir menor cantidad de oxígeno disuelto en las muestras, mayor cantidad de coliformes totales y fecales presentes en el agua, esta correlación es indicada en el estudio de Vivas et. al. (2006) que ratifica la correlación encontrada en el presente estudio. Vivas et. al. (2006) muestra que al existir valores elevados en las variables físico químicas, menores serán los valores de los índices biológicos que para el estudio fueron el BMWP y el ABI.

Además el Loading Plot muestra que al existir mayor concentración de las variables físico-químicas menor será el WQI, este índice al igual que el BMWP indican la presencia de tres calidades de agua presentes en la microcuenca. Estos índices de calidad del agua disminuyen al descender en las estaciones, esta característica está determinada por la presencia de diferentes aportes materia orgánica a lo largo de la misma.

En relación a los diferentes parámetros contrastados con la reglamentación del TULAS se observa que la mayoría de parámetros están sobre las normas de preservación de la flora y fauna en aguas cálidas y frías, sobre todo en las estaciones bajas que son las más afectadas; el único parámetro que está dentro de la norma es la dureza que presenta valores menores a los de la norma en todas las estaciones de muestreo.

Ramírez et. al. (2005) y Vivas et. al.(2006) señalan en sus estudios que es de gran importancia la zonificación de las diferentes estaciones de muestreo, mediante la aplicación del análisis Cluster, el cual indica las diferentes agrupaciones de las estaciones de muestreo, siendo de gran importancia para la toma de decisiones en el manejo de la microcuenca. Además, en este análisis se establecen los factores que influyen en la calidad del agua, que en este estudio los factores más determinantes son en la zona alta las actividades de los pobladores de la comunidad Shuar del Alto Camanshay, en la zona media las actividades ganaderas, y en la zona baja las actividades antrópicas de la ciudad de Santiago de Méndez.

Para definir de mejor manera la problemática en esta zona de estudio, se construyó un modelo matemático mediante la aplicación de un estudio de clasificación, esta se estableció mediante el análisis de Cluster que determinó la presencia de tres clases, las cuales fueron contrastadas mediante el método de CART, nuestro método matemático posee una excelente calidad, que determinó que los factores que establecen la separación de los grupos son la dureza y el ABI; esto es de gran importancia ya que en próximos estudios se pueden optimizar recursos y tiempo debido a que solo se deben analizar la dureza y el ABI. En estudios como los de Vivas et. al.(2006) y Ramírez et. al.(2005) no se realizan este tipo de análisis siendo esto una ventaja competitiva en relación a estos estudios.

El presente estudio es una línea base que servirá para la toma de decisiones pertinentes que ayuden al mejoramiento de la calidad de las aguas de la microcuenca y además este trabajo servirá para la realización de futuros estudios, los cuales ayudarían a tener mayor información sobre la calidad del agua en la microcuenca.

## CONCLUSIONES

Al realizar el presente estudio encontramos que el análisis multivariante propuesto en la aplicación de este proyecto, fue de gran ayuda para el cumplimiento de los diferentes objetivos del trabajo. Mediante el análisis de exploración de datos, encontramos varias correlaciones importantes tales como la turbiedad con los sólidos, la conductividad y la dureza, el pH y la alcalinidad, también el análisis mostro que al existir mayor cantidad de sustancias químicas en el agua menor será el índice de calidad biológica, además al encontrarse menor cantidad de oxígeno disuelto se encontrara mayor cantidad de coliformes totales como fecales.

El análisis Cluster demostró la existencia de tres grupos identificados en la zona, el primer grupo está conformado por las estaciones de muestreo 1 y 2, estas zonas se ven afectadas por actividades de pobladores de la comunidad Shuar del alto Camanshay. En la zona media la calidad del agua esta determinada por actividades ganaderas la cual está conformada por las estaciones 3, 4 y 5; el grupo tres está formado por las estaciones 6 y 7, estas estaciones se ven afectadas por actividades antrópicas de la ciudad de Méndez; esta zonificación es de gran importancia para la toma de decisiones en el manejo de la microcuenca.

En la microcuenca existe la presencia de tres tipos de calidad del agua, esto se realizó mediante la evaluación de índices biológicos con el BMWP y el ABI, esta tendencia fue reafirmada por el WQI que es un índice de calidad del agua físico-químico. Estos índices indican la degradación de la calidad del agua en relación al descenso en las estaciones de muestreo. El índice BMWP califica al agua desde un índice aceptable hasta un índice crítico. Mientras que el WQI considera el agua en la zona alta como aceptable y en la zona baja como pobre, lo cual nos indica la declinación de la calidad el agua en la microcuenca.

Para definir la problemática de la calidad del agua en la zona construimos un modelo matemático mediante la aplicación de un método de clasificación. La asignación de la clase a los objetos se realizó mediante el análisis Cluster. Como método de estadístico se utilizó CART, el cual mostro que las variables que define el modelo

matemático y que muestra la mayor separación de los grupos fueron la dureza y el ABI. El modelo matemático encontrado posee un error del 0.0286%, lo cual nos indica que el modelo matemático posee muy buenas características en predicción por lo cual el modelo matemático nos puede ayudar a predecir nuevos objetos que pueden ser incluidos en el mismo.

**BIBLIOGRAFÍA**

ALBA- TERCEDOR, J Macroinvertebrados y la calidad de las aguas de los Rios. En: IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), vol II: 203 – 213. España Editorial Linnetica. 1996. (84 – 84).

ALBA TERCEDOR, J & SANCHEZ ORTEGA, A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basados en el de Hellewell España. Editorial Limnetica. 1997. 4: (51 – 56p).

ARMITAGE ZÚÑIGA DE CARDOSO et al. Índices Biológicos para Evaluar Integridad de los Ecosistemas Acuáticos y Calidad del Agua, Universidad del Valle. Colombia. Editorial Insecta Mundi. 1997. (22-25p).

BENITO DE SANTOS, P. & M.A. PUIG GARCI BMWPC Un índice biológico para la calidad de las aguas adaptado a las características de los ríos catalanes. Tecnología del Agua, España, 1999. 16 1:( 43-56 p).

BONADA, N, M. RIERADEVALL & N. PRAT Temporalidad y contaminación como claves para Calidad biológica del río Cinca 113 interpretar la biodiversidad de macroinvertebrados en un arroyo mediterráneo. Barcelona, España. Editorial Limnetica. 2000. 18: (8 1-90) p.

CARRERA, C Y FIERRO K. Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. Quito, Ecuador. Revista Ecociencia, 2001. (67p).

CAMPER AK et al. Investigation of the biological stability of water in treatment plants and distribution systems. American Water Works Association Research Foundation. EEUU. Printed on recycled paper . 2000. (254 p).

FRANK, I., Todeschini, R. The data analysis handbook. Amsterdam, The Netherlands. Editorial Elsevier Science. 1994. (333-335 p).

GLYNN, H. Gary, W. Ingeniería Ambiental. DF; México. Editorial Prentice, Segunda Edicion, Hall. 1999. (384:392p).

HELLEWELL, J. Biological indicators of freshwaters pollution and environmental management. New York, EEUU. Editorial Elsevier Applied Science Pub. 1986. (546p.)

HELLEWELL, J. M.. Biological surveillance of rivers. Water Research Center, Stevenage. New York, EEUU. Editorial Elsevier Science Pub. Co., Inc. 1998. (322p).

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, MAPA CARTOGRÁFICO: Hoja MENDEZ. 1:50'000. Quito – Ecuador Instituto Geográfico Militar., 1996.

JUNQUEIRA, M. V., M. C. AMARANTE, C. F. S. Dia. & E. S. França, Biomonitoramento da qualidades das águas da bacia do Alto Rio das velhas (MG/Brasil a través de macroinvertebrados. Brasil. Acta Limnologica Brasiliensia. Vol. 12. 2000. 1: (73-87).

MANDAVILLE, S.M. Benthic Macroinvertebrates in freshwaters-Taxa Tolerance values, Metrics, and Protocols, EEUU. 2002. (24p).

MELOUN, M. Forina, M. Militky, J. Chemometrics for Analytical Chemistry. Great Britain. Editorial Ellis Horwood, Volumen 2. 1994. (273p).

MISERENDINO, M. & L. PIZZOLON. Rapid assessment of river water quality using macro-invertebrates: a family level biotic index for the Patagonic Andean zone. Argentina. Acta Limnologica Brasiliensia. Vol. 11, N0 2. 1999. (137-148).



RAMÍREZ, et. al. Dinámica físico química y calidad del agua en la microcuenca El volcán. Bucaramanga, Colombia. Revista de la Facultad de Ciencias Básicas vol. 3, numero 001. 2005 (5-16p).

ROLDAN Gabriel, Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Colombia. Editorial Presencia S.A., 1996. (4-7p).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association; American Water Works Association; EEUU. Water Environment Federation; 20 th Edition, 1998 (7-9p).

TAPIA, J. Sistema de agua potable para la Comunidad de Alto Camanshay. I. Municipio de Santiago. Ecuador. Editorial San Martin. 2007 (7-8 p).

TODESCHINI, R. Introduccion a la Quimiometria. Universidad de Milano. Milano, Italia. Editorial Springer Netherlands. 1998 (39 p).

TORRALVA, M. M.; E J. OLIVA; N. A. UBEROPASCAL; J. MALO & M. A. PUIG. Efectos de la regulación sobre los macroinvertebrados en el río Segura. España. Editorial Limnetica. 1995. 11 (49-56p).

VIVAS et. al. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto Guadalmed. Asociación Española de Limnología, Madrid España, Editorial Limnetica. 2006. (149-167 p).

### **Citas electrónicas**

VCSU Macro-invertebrate Lab. Digital Key to aquatic Insects of North Dakota; EEUU. (2003); [http:// www.waterbugkey.vcsu.edu/index.htm](http://www.waterbugkey.vcsu.edu/index.htm)

Environmental Protection Agency. Watershed-Based Needs accounting, EEUU (1996) <http://www.epa.gov/cwns/1996rtc/wtr.htm>

NARANJO, C., G. GARCES, D. GONZALES, S. MUÑOS & Y. MUSLE. Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cu para ríos cubanos. Evento de la Facultad de Ciencias Naturales. Cuba (2003) <http://www.cnt.uo.edu.cu> ISBN 959-207-093-8

## ANEXOS

Anexo 1: Familias de macroinvertebrados recolectados durante todos los muestreos de este proyecto y su grado de tolerancia a la contaminación según Roldan, (1999).

<b>Orden</b>	<b>Familias</b>	<b>Valor de tolerancia para el índice BMWP</b>
Gasteropoda	Physidae	3
Ephemeroptera	Beatidae	8
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
Odonata	Aeshnidae	6
	Gomphidae	10
	Libellulidae	6
	Coenagrionidae	6
	Polythoridae	10
Plecoptera	Perlidae	10
Heteroptera	Gerridae	3
	Naucoridae	4
Trichoptera	Leptoceridae	8
	Hydrobiosidae	8
	Hydropsychidae	5
	Philopotamidae	8
Coleoptera	Ptilodactylidae	10
	Psephenidae	10
	Scirtidae	7
	Elmidae	6
Diptera	Blepharoceridae	10
	Tipulidae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
Megaloptera	Corydalidae	9

**Anexo 2:** Significado de los valores del índice BMWP

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Buena	> 150 101-120	Aguas muy limpias o no contaminadas de modo sensible	Azul
II	Aceptable	61-100	Son evidentes algunos efectos d contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

**Anexo 3:** Resultados del muestreo en la primera campaña**ESTACIONES**

Parámetros	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Número de familias	9	8	10	13	12	9	4
Abundancia	28	20	30	37	41	25	77
Valor del BMWP	90	80	72	60	50	30	20
Valor del ABI	63	59	55	50	40	20	16

**Anexo 4:** Resultados del muestreo en la segunda campaña**ESTACIONES**

Parámetros	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Número de familias	11	9	9	11	11	10	1
Abundancia	30	15	47	21	25	17	4
Valor del BMWP	95	85	70	62	50	30	15
Valor del ABI	63	65	54	50	51	30	6

**Anexo 5:** Resultados del muestreo en la tercera campaña**ESTACIONES**

<b>Parámetros</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z5</b>	<b>Z6</b>	<b>Z7</b>
<b>Número de familias</b>	10	7	11	5	4	9	2
<b>Abundancia</b>	20	27	28	12	5	15	2
<b>Valor del BMWP</b>	90	87	70	64	50	35	9
<b>Valor del ABI</b>	69	50	40	45	40	26	10

**Anexo 6:** Resultados del muestreo en cuarta campaña**ESTACIONES**

<b>Parámetros</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z5</b>	<b>Z6</b>	<b>Z7</b>
<b>Número de familias</b>	10	8	10	9	9	9	2
<b>Abundancia</b>	26	20	35	23	24	19	28
<b>Valor del BMWP</b>	92	85	74	63	63	38	12
<b>Valor del ABI</b>	64	63	57	45	30	20	11

**Anexo 7:** Resultados del muestreo en la quinta campaña**ESTACIONES**

<b>Parámetros</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z5</b>	<b>Z6</b>	<b>Z7</b>
<b>Número de familias</b>	10	9	9	9	6	8	3
<b>Abundancia</b>	29	25	36	20	27	18	32
<b>Valor del BMWP</b>	88	85	75	66	63	34	16
<b>Valor del ABI</b>	69	58	52	40	45	23	10

**Anexo 8:** Fotografía de la estación de muestreo numero 2.



**Anexo 9:** Fotografía de la estación de muestreo numero 3.



**Anexo 10:** Fotografía de la estación de muestreo numero 4.



**Anexo 11:** Fotografía de la estación de muestreo numero 5.

