



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

ESCUELA DE BIOLOGÍA, ECOLOGIA Y GESTIÓN

**Efecto de la variación temporal en la calidad de agua y comunidad
de macroinvertebrados en la cuenca del río Paute**

**Tesis previa a la obtención de título de Biólogo con mención en Ecología y
Gestión**

POR:

ADRIANA ESTEFANÍA ORTIZ ULLOA

PATRICIA ESTEFANÍA RODAS ESPINOZA

DIRIGIDO POR:

BLGO. EDWIN JAVIER ZÁRATE HUGO

JULIO 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Senagua (Secretaria Nacional del Agua), al decanato de investigación y el equipo de investigadores de la Universidad del Azuay por dejarnos participar en este proyecto de monitoreo e investigación. A nuestras familias y amigos por su apoyo incondicional durante este proceso. Un agradecimiento especial a los biólogos Edgar Segovia y Gonzalo Sotomayor por su colaboración y aporte para finalizar este trabajo y a nuestro director Edwin Zarate por dirigir el mismo.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
CAPITULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS	12
1.1 Área de estudio	12
1.2 Métodos	14
1.2.1 Medición de parámetros in situ:.....	15
1.2.1.1 Parámetros físico- químicos en el campo (in situ):.....	15
1.2.1.2 Caracterización física:.....	15
1.2.1.3 Muestreo de macroinvertebrados:.....	15
1.2.1.4 Toma de muestras de agua:.....	16
1.2.1.5 Traslado de las muestras de agua:.....	16
1.2. 2 Análisis físico- químico:.....	16
1.2.2.1 Parámetros físico – químicos medidos en laboratorio:.....	16
1.2.3 Análisis microbiológico:.....	17
1.2.4 Análisis de datos:	17
1.2.4.1 Análisis de datos macroinvertebrados:	17
1.2.4.5 Zonificación de la red hidrográfica a partir de las clases de índice biótico ABI/ BMWP-COL.....	20

CAPITULO 2: RESULTADOS	22
2.1 Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados	22
2.2 Obtención de datos faltantes.....	22
2.3 Contraste de normalidad de datos.	23
2.4 Comparación descriptiva para parámetros físico- químicos, microbiológicos y de macroinvertebrados entre verano e invierno.....	23
2.5 Resultados de análisis estadísticos multivariados aplicados:	25
2.5.1 Análisis factorial y análisis de componentes principales:	25
CAPITULO 3: DISCUSIONES	32
CONCLUSIONES.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la cuenca hidrográfica del río Paute con los puntos de muestreo	12
Figura 2: Tendencia central medida en los parámetros asociados a los individuos de macroinvertebrados recolectados	23
Figura 3: Tendencia central medida para análisis microbiológicos.....	23
Figura 4: Tendencia central medida para parámetros físico químicos en invierno y verano.....	23
Figura 5: Tendencia central medida para parámetros físico químicos in situ	24
Figura 6: Tendencia central para concentración y saturación de oxígeno.....	24
Figura 7: Tendencia central para el puntaje del protocolo EPA de caracterización física de riveras medidas en invierno y verano	25
Figura 8: Zonificación de calidad de agua basada en el índice BMWP-col/ABI para la CRP en invierno	30
Figura 9: Zonificación de calidad de agua basada en el índice BMWP-col/ABI para la CRP en invierno	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área de cobertura de la cuenca hidrográfica del río Paute por provincia (Cordero. D, 2013)	13
Tabla 2: Códigos de las estaciones con sus correspondientes coordenadas y subcuencas.....	14
Tabla 3: Parámetros físico químicos medidos en laboratorio	16
Tabla 4: Metales pesados medidos en laboratorio	17
Tabla 5: Significado de la valoración ABI/BMWP-Col	18
Tabla 6: Abundancia porcentual de familias medidas durante todos los muestreos.	22
Tabla 7: Cargas del análisis de componentes principales (PCA) medida en todo el muestreo	26
Tabla 8: Resumen de rotación varimax aplicada para los datos clasificados por índice biótico en las diferentes estaciones,	27
Tabla 9: Correlaciones observadas en el CPI	33

INDICE DE ANEXOS

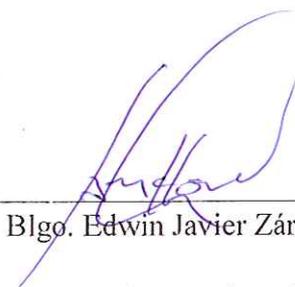
Anexo 1: Modelo de ficha de caracterización física de ecosistema de río para análisis EPA: Valoración de la calidad del hábitat en arroyos.....	41
Anexo 2: Resultados de análisis microbiológicos en verano e invierno.....	43
Anexo 3: Macroinvertebrados encontrados en invierno	45
Anexo 4: Macroinvertebrados encontrados en verano.....	46
Anexo 5: Puntajes índice biótico para invierno y verano	47
Anexo 6: Resultado de análisis de datos faltantes	48
Tabla 10: Ecuación aplicada para obtener alcalinidad	48
Tabla 11: Ecuación aplicada para obtener DQO	48
Tabla 12: Ecuación aplicada para obtener oxígeno	49
Anexo 7: Test de Normalidad Shapiro- Wilk	49
Tabla 13: Test de normalidad aplicado a parámetros microbiológicos.....	49
Tabla 14: Test aplicado a parámetros físico- químicos	49
Tabla 15: Test aplicado a metales pesados.....	50
Tabla 16: Test aplicado a nitratos, cadmio, magnesio, potasio, plomo, cloruros e individuos que demostró que los datos no se extraen de una población normal...	50
Tabla 17: Test aplicado al ph, el único parámetro que mostró un comportamiento normal para todos los muestreos.	50
Anexo 8: Cargas de rotación varimax.....	50

**EFFECTO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL EN LA CALIDAD DE AGUA Y
COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA DEL RÍO
PAUTE**

RESUMEN

En la cuenca hidrográfica del río Paute se estudió la comunidad de macroinvertebrados y variables físico- químicas y microbiológicas en 17 estaciones en las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago durante un período de cuatro meses con escasas precipitaciones. Se compararon los datos obtenidos con los de un monitoreo previo caracterizado por precipitaciones altas. Se utilizaron análisis de estadística univariada, y multivariada para correlacionar y analizar los datos medidos. Los resultados nos enseñaron que la calidad de agua es influenciada por la variación temporal presentándose en época seca una diversidad y abundancia menor, menor puntaje en el índice biótico, y diferencias significativas en los parámetros físico químicos y microbiológicos. Se observó una mejor calidad de agua a la época de invierno atribuyéndolo a un nivel intermedio de perturbación en el hábitat acuático que beneficio a la comunidad de macroinvertebrados.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, macroinvertebrados, calidad de agua, precipitación, invierno, verano



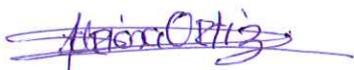
Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo

Director de tesis



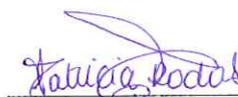
Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo

Director de escuela



Adriana Estefania Ortiz Ulloa

tesista



Patricia Estefania Rodas Espinoza

tesista

ABSTRACT

EFFECT OF TEMPORARY CHANGES IN THE QUALITY OF WATER AND IN THE MACROINVERTEBRATE COMMUNITY IN THE *PAUTE* RIVER BASIN

The macro invertebrate community and physicochemical and microbiological variables in the *Paute* river basin were studied in 17 stations in the provinces of Azuay, Cañar and Morona Santiago over a period of four months with little rainfall. Data obtained was compared with the ones from previous monitoring characterized by high rainfall. Univariate and multivariate statistical analysis were used to correlate and analyze the measured data. The results showed that the quality of water is influenced by the temporal variation becoming less diverse and abundant during the dry season, lower score in the biotic index, and significant differences in physical, chemical and microbiological parameters. Better quality of water was observed during winter time attributing it to an intermediate level of disturbance in the aquatic habitat that benefits the community of macro invertebrates.

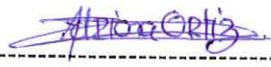
Keywords: River Basin, Macro Invertebrates, Water Quality, Rain, Winter, Summer



Msc. Edwin Javier Zárate Hugo
Thesis Director



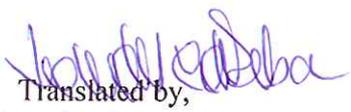
Msc. Edwin Javier Zárate Hugo
School Director



Adriana Estefanía Ortiz Ulloa
Author



Patricia Estefanía Rodas Espinoza
Author



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Adriana Estefanía Ortiz Ulloa

Patricia Estefanía Rodas Espinoza.

Trabajo de graduación

Dirigido por: Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo.

Julio de 2014.

EFFECTO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL EN LA CALIDAD DE AGUA Y COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA DEL RÍO PAUTE

INTRODUCCIÓN

En la actualidad 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). La cuenca del Río Paute (CRP), es por muchas razones, una de las cuencas más importantes del país; la razón más conocida es que contribuye al 35% de generación hidroeléctrica para el país y es fuente de agua para uso doméstico en los cantones y parroquias de los habitantes aledaños a fuentes hídricas provenientes de sus diferentes subcuencas.

Diversos autores han puesto en manifiesto que caracterizar comunidades en distintas épocas del año con distintas condiciones ambientales, por ejemplo la época de caudal basal y en la época de crecidas, permite conocer cómo responde la comunidad frente a un amplio rango de condiciones ambientales. Las bases de datos con información correspondiente a distintas épocas del año generan resultados más completos y de mayor predictibilidad de las que se realizan en una sola época del año (Furse et al. 1984).

El monitoreo de la cuenca hidrográfica del Río Paute se ha venido realizando desde el 2008 por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y la Universidad del

Azuay a manera de monitorear parámetros físico- químicos, biológicos y de hábitat de 20 estaciones correspondientes a 8 subcuencas. El estudio se ha venido realizando usando una caracterización de índice biológico por presencia de los organismos bioindicadores denominados macroinvertebrados bentónicos, los que en la actualidad son los organismos más utilizados para la bioindicación (Resh, 2008).

Las principales ventajas de utilizar organismo béntonicos son varias; entre estas se encuentran: su amplia distribución geográfica, la riqueza de especies con diversidad de respuestas a las gradientes ambientales, su sedentarismo, ciclos de vida largos, y la facilidad y costo bajo para muestrearlos (Bonada et al., 2006). La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinado, es un índice inequívoco de las condiciones que están allí prevaleciendo (Roldán, 1999). La estructura de las comunidades de macroinvertebrados está influenciada por factores como las interacciones abióticas entre especies (depredación, competencia, parasitismo, etc.), así como también por factores abióticos (temperatura, velocidad del agua, descarga, etc.)

Los efectos causados por cambios en la regulación hídrica por variaciones estacionales de caudal tienen efecto sobre las variables que constituyen el ambiente hídrico. La morfología del relieve, la topografía, las características físicas y químicas de los suelos, el tipo de vegetación, el uso de suelos y otros elementos que operan a nivel del paisaje son factores determinantes en la estructuración de los diferentes patrones de funcionamiento en ríos (Hynes 1975, Vannote et al 1980, Naiman y Décamps 1990). Modelos como la hipótesis del río continuo (Vannote et al. 1980) pretenden explicar el funcionamiento de los sistemas lóticos de una manera integral. Algunos de los cambios en las variables físico- químicas del río se encuentran en amortiguaciones estacionales en la temperatura y homogenización de sustratos (Ward & Stanford, 1979; Ward, 1984).

El análisis y diagnóstico de las estaciones se lo realizó con la finalidad de conocer la variación temporal en la calidad de agua e integrar los parámetros del hábitat y las variables físico- químicas y sobre todo los índices biológicos que toman en cuenta la comunidad de macroinvertebrados y esto nos permita zonificar la red hidrográfica en función de la calidad de agua.

CAPITULO 1:

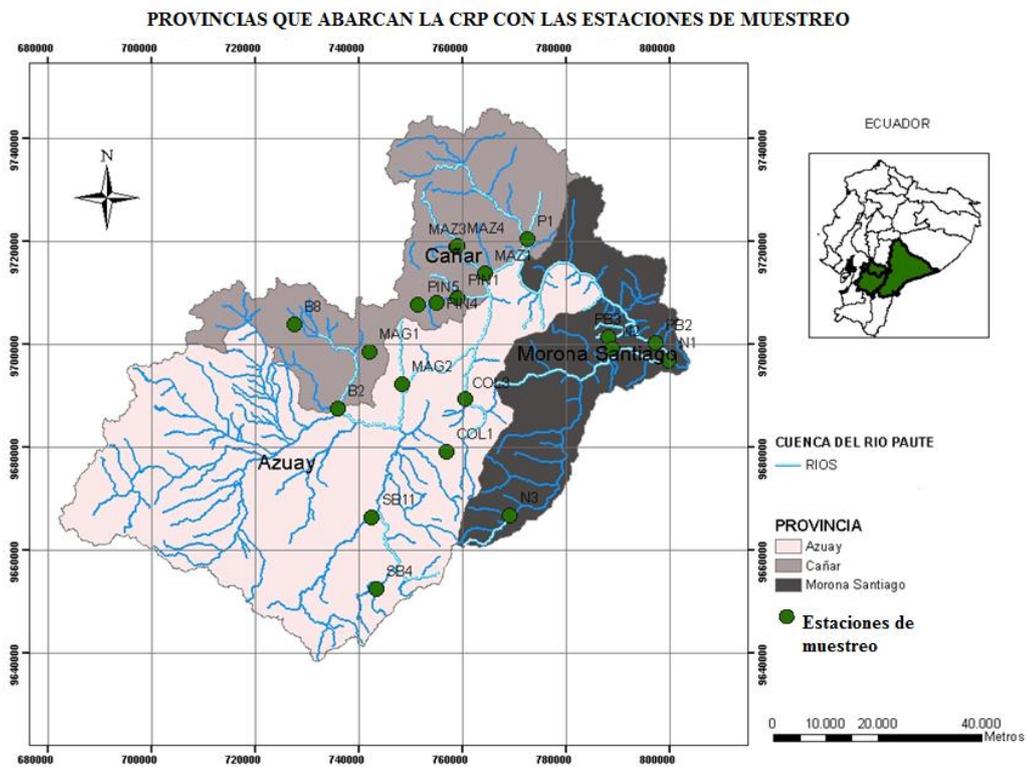
MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área de estudio

La cuenca hidrográfica del río Paute se encuentra localizada al Sur de los andes Ecuatorianos, en una región de depresión interandina, entre los paralelos 2°15' y 3°15' de latitud sur y entre los meridianos 78°30' y 79°20' de latitud oeste.

El área de la cuenca tiene una extensión de aproximadamente 644202 ha (UDA, IERSE 2007), sus altitudes varían desde 500 m.s.n.m. hasta 4680 m.s.n.m. La selección de los puntos de monitoreo está basada en el diseño previo de las primeras fases de monitoreo y consta de 20 estaciones ubicadas en la cuenca hidrográfica del río Paute que abarca tres provincias, Azuay, Cañar y Morona Santiago (Figura 1).

Figura 1: Mapa de la cuenca hidrográfica del río Paute con los puntos de muestreo



Fuente: IERSE, Universidad del Azuay

Las estaciones muestreadas se encuentran ubicadas a distintas alturas por lo tanto se evidencian variaciones climáticas influenciadas por diversos factores. Dentro de la cuenca baja el clima es mesotérmico húmedo con precipitaciones superiores a los 2000mm anuales, temperatura media de 20°C y humedad relativa de 91%. La presencia de masas de aire húmedo en estas estaciones proviene de las regiones amazónicas las cuales están caracterizadas por precipitaciones en todo el año, de manera unimodal con precipitaciones máximas entre Junio y Agosto y precipitaciones mínimas desde Noviembre hasta Febrero. Las estaciones ubicadas en la zona media de la cuenca la cual comprende las altitudes desde los 2, 200 msnm hasta 2 600 msnm, son de clima templado semi-húmedo con precipitaciones entre 500 y 1000 mm/año, temperatura media anual de 15 °C y 84% de humedad relativa. Las estaciones ubicadas entre los 2600 4600 msnm tienen clima frío semi- húmedo con precipitaciones entre 1000 a 2000 mm/año, temperaturas medias de alrededor de 8°C y humedad relativa media 88%. Tanto en la cuenca alta y media, las masas de aire que provienen del océano pacifico alcanzan la parte más occidental de la cuenca, lo que hace que exista precipitación bimodal, con dos estaciones lluviosas en el año, la primera entre febrero y mayo y la segunda entre octubre y noviembre. La estación seca principal se da de junio a septiembre y es generalmente marcada; mientras que la segunda estación seca es más aleatoria; influenciada sobre todo en la cuenca media por el anticiclón del sur, el fenómeno del niño y de la niña que tienen una importante influencia sobre esta. (Pourrut, 1995).

Tabla 1: Área de cobertura de la cuenca hidrográfica del río Paute por provincia (Cordero. D, 2013)

PROVINCIA	SUPERFICIE EN KM²	PORCENTAJE (%)	CANTONES EN LA CUENCA DEL RÍO PAUTE
Azuay	3636.0	56.5	11 de 14
Cañar	1547.9	24	4 de 7
Morona Santiago	1255.2	19.5	6 de 10
TOTAL	6439.3	100	21

Las estaciones a su vez están ubicadas en 9 subcuencas que corresponden a los ríos: Collay Magdalena, Mazar, Pulpito, Burgay, Negro, Pindilig, Santa Bárbara y la parte baja del río Paute.

Los puntos fueron dispuestos en las partes altas y otros en las partes bajas, procurando que los puntos estén ubicados en las cotas más elevadas para que sean representativos en cuanto a la subcuenca y actúen como estaciones de referencia de la misma (Figura 2).

Tabla 2: Códigos de las estaciones con sus correspondientes coordenadas y subcuencas

ESTACIONES	COORDENADAS		RÍO/ QUEBRADA	SUBCUENCA
	X	Y		
B2	735889	9687359	RIO BURGAY	RIO BURGAY
B8	727608	9703675	RIO CACHI-BURGAY	
COL 1	756778	9678907	RIO COLLAY	RIO COLLAY
COL 3	760397	9689329	RIO COLLAY	
MAG 1	742107	9698367	RIO MAGDALENA	RIO MAGDALENA
MAG 2	748316	9692118	RIO MAGDALENA/ CUTILCAY	
MAZ 1	764254	9713557	RIO MAZAR	RIO MAZAR
MAZ 3	759009	9718934	RIO MAZAR	
MAZ 4	759135	9719317	RIO MAZAR	
N1	799773	9696573	RIO NEGRO	
N2	788746	9698962	RIO NEGRO	RIO NEGRO
N3	769119	9666642	RIO GUALACEÑO	
P1	772473	9720257	RIO PÚLPITO	
PB2	797214	9700030	RIO PAUTE	RIO PAUTE BAJO
PB3	788040	9701275	RIO PESCADO	
PIN 1	759046	9708905	RIO PINDILIG	RIO PINDILIG
PIN 4	754941	9707867	RIO DUDAS	
PIN 5	751335	9707433	RIO CACHICORRAL	
SB11	742493	9666260	RIO SANTA BÁRBARA	RIO SANTA BARBARA
SB4	743350	9652377	RIO SANTA BÁRBARA	

1.2 Métodos

Durante el estudio se obtuvieron cuatro campañas de muestreo durante una época de escasas precipitaciones, la primera campaña se realizó entre los meses de Agosto y Septiembre del 2012, la segunda campaña durante el mes de octubre de 2012, la tercera en el mes de noviembre de 2012 y una cuarta y última campaña entre los meses de enero y febrero de 2013; en las campañas de muestreo se midieron distintas variables tanto de macroinvertebrados y de análisis físico- químico y microbiológico.

1.2.1 Medición de parámetros in situ:

1.2.1.1 Parámetros físico- químicos en el campo (in situ):

Los parámetros físico químicos medidos en el campo fueron: pH, temperatura medida en grados centígrados (°C) y conductividad medida en microsiemens por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

1.2.1.2 Caracterización física:

Tomando en consideración los protocolos de monitoreo de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de USA por sus siglas en inglés) el “hábitat” incorpora todos los aspectos físicos junto con las interacciones bióticas, la calidad del lecho del río y la vegetación riparia influyen la estructura y función de las comunidades acuáticas del mismo (Barbour et al., 1999), por lo que se identifica la conservación de las riberas, mediante la cobertura riparia (árboles, arbustos), en la calidad de la cubierta (presencia de especies introducidas o plantaciones), y en el grado de naturalidad del canal fluvial.

Así de acuerdo a este protocolo, en cada punto de muestreo, se empleó una valoración de hábitat de tipo visual, las variables fueron evaluadas y clasificadas en una escala numérica del 0 al 20 (máximo), éstas se hicieron focalizándose en el lecho, seguidas por morfología del canal, características estructurales del banco y finalmente la vegetación riparia. Ver anexo 1.

1.2.1.3 Muestreo de macroinvertebrados:

Los muestreos de macroinvertebrados se realizaron en 20 estaciones, se utilizó una red de mano/arrastre, con un ojo de malla de 0.25mm, se muestreo en diferentes tipos de sustratos tratando de abarcar todos los tipos presentes en cada estación, encontrando piedras de un diámetro no mayor a 20 cm, hojarasca grava y arena, abarcando el centro y las orillas de las quebradas o ríos que fueron factibles de ser muestreados. Se pateó con el mismo esfuerzo realizando dos repeticiones por estación y pateando durante dos minutos en cada repetición. Todo el contenido de la red fue colocado en una bandeja plástica, se removió el material orgánico y se recolectó los macroinvertebrados. Los organismos fueron colocados en un frasco de 200 ml con alcohol al 75%.

1.2.1.4 Toma de muestras de agua:

Se seleccionaron zonas representativas donde el agua estuvo bien mezclada (zonas centrales), evitando tomar agua superficial, rebosaderos de los embalses, confluencias de ríos poco importantes, lugares de pequeños vertidos, etc., y así evitar efectos muy localizados en la química del agua de ese tramo, y evaluar incorrectamente el estado del río y las características del agua en el tramo de estudio. Al igual que en los muestreos anteriores esta metodología se basó en el protocolo GUADALMED (Protocolo Rápido de Evaluación de la Calidad Ecológica ó PRECE) diseñado por diferentes universidades y entidades de investigación de España (Jáimez–Cuéllar *et al.* 2002)

1.2.1.5 Traslado de las muestras de agua:

Para evitar transformaciones químicas o biológicas; las muestras se conservaron y transportaron en una hielera portátil a temperatura entre 3 y 8° c en frascos estériles de 200 ml para los análisis microbiológicos y de 1000 ml para los análisis físico-químicos que fueron medidos posteriormente en laboratorio.

1.2. 2 Análisis físico- químico:**1.2.2.1 Parámetros físico – químicos medidos en laboratorio:**

Los análisis físico químicos se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad del Azuay a través de métodos estandarizados (APHA, AWWA, WPCF, 1992). Los metales pesados se midieron a través de polarografía. Los parámetros y la unidad de medición aplicada están resumidos en la Tabla 4; y para metales pesados en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros físico químicos medidos en laboratorio

Parámetros	Unidad
Hierro (Fe)	ppm
Cobre (Cu)	ppm
Aluminio (Al)	ppm
Plomo (Pb)	ppm
Cadmio (Cd)	ppm

Tabla 4: Metales pesados medidos en laboratorio

Parámetros	Unidades
Sodio (Na)	mg/l
Calcio (Ca)	mg/l
Potasio (K)	mg/l
Magnesio (Mg)	mg/l
Nitratos (NO ₃)	mg/l
Amonio (NH ₄)	mg/l
Alcalinidad	mg/l
Turbiedad	UNT
DQO	mg/l
Sólidos totales	mg/l
Fósforo	mg/l
Fosfatos	mg/l

1.2.3 Análisis microbiológico:

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio de microbiología de la Universidad del Azuay. Se determinaron coliformes totales y fecales contabilizándolos en la medida de número más probable (NPM/ ml) mediante el método Standar Methods (procedimiento 9221).

1.2.4 Análisis de datos:**1.2.4.1 Análisis de datos macroinvertebrados:**

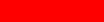
Para identificar las muestras de macroinvertebrados se utilizaron las claves taxonómicas de Domínguez (2009), Roldan (2008). Todas las muestras fueron sistematizadas y coleccionadas referencialmente en el Laboratorio de Limnología de la Universidad del Azuay; el manejo estadístico de los datos se lo realizó a nivel de familia.

1.2.4.2 Índices de integridad de la comunidad de macroinvertebrados:

Se utilizó el Andean Biotic Index (ABI) y el índice BMWP adaptado para Colombia (BMWP/Col) como índices bióticos. El índice ABI se utilizó para ríos altoandinos ubicados a más de 2000 msnm basándonos en el protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos altoandinos CERA (Acosta et al, 2009). El índice BMWP/Col (Zamora H, 1999) se utilizó para los puntos ubicados bajo los 2000 msnm. Ambos índices analizan la composición de los macroinvertebrados a nivel de

familia y de acuerdo a su tolerancia a la contaminación, asignándole a cada familia un puntaje de acuerdo a su capacidad de supervivencia a distintos niveles de contaminación, 10 a los más sensibles o menos tolerantes y 1 a los tolerantes o resistentes. El puntaje final se obtuvo sumando los valores de todos los componentes de cada muestra determinando así la calidad del agua.

Tabla 5: Significado de la valoración ABI/BMWP-Col

CALIDAD	CLASE	VALOR BMWP/ABI	SIGNIFICADO	COLOR
BUENA	I	> 150, 101-120	AGUAS MUY LIMPIAS/ NO CONTAMINADAS DE MODO SENSIBLE	
ACEPTABLE	II	61-100	EVIDENTES ALGUNOS EFECTOS DE CONTAMINACIÓN/LIGERAMENTE CONTAMINADAS	
DUDOSA	III	36-60	EVIDENTES ALGUNOS EFECTOS DE CONTAMINACIÓN/ MODERADAMENTE CONTAMINADAS	
CRÍTICA	IV	16- 35	AGUAS MUY CONTAMINADAS	
MUY CRÍTICA	V	< 15	AGUAS FUERTEMENTE CONTAMINADAS	

1.2.4.3 Colección y base de datos:

Se realizó una base de datos y una colección debido a la importancia que sugiere que los organismos preservados queden depositados en una colección debidamente cuidada y de acceso a otros investigadores.

1.2.4.4 Análisis estadístico

1.2.4.1 Datos faltantes:

Para calcular datos faltantes que no pudieron calcularse en el campo y en laboratorio se utilizaron modelos de estadística multivariable, para obtener los siguientes datos: alcalinidad, DQO y oxígeno disuelto. Se usó el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVI.I

1.2.4.1.1 Alcalinidad: La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre alcalinidad y 4 variables independientes calcio, magnesio, conductividad y pH. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Alcalinidad} = 0.134698 - 0.00123027 * \text{Ca} + 0.0000794415 * \text{EC} + 0.00699016 * \text{Mg} - 0.0166355 * \text{pH}$$

1.2.4.1.2 DQO: Se utilizó un análisis de regresión múltiple de manera que la salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre DQO y DBO. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\underline{DQO = 4,86666 + 1,92172*DBO}$$

1.2.4.1.3 Oxígeno disuelto: Para obtener el oxígeno se realizó una ecuación que se ajustó a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre O₂ y 8 variables independientes: DBO, DQO, conductividad, índice EPA, pH, temperatura, coliformes totales y coliformes fecales. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\underline{O_2 = 9,21616 - 0,0635254*DBO - 0,0117121*DQO - 0,00833821*EC - 0,0330213*EPA - 0,388016*pH - 0,0200131*T^{\circ}C - 0,000245873*Coli_{Fec} - 0,000114129*Coli_{Tot}}$$

1.2.4.2 Contraste de normalidad de datos:

Con el fin de contrastar si los datos fueron extraídos de una población normal y comprobar si la información suministrada de los diferentes parámetros en los muestreos sigue una determinada distribución de probabilidad continua específica, se utilizó el test de Shapiro- Wilk y la prueba de Anderson- Darling respectivamente. El programa estadístico que se utilizó fue PAST (PAleontological STatistics versión 2.17).

1.2.4.3 Análisis estadístico univariado:

Se realizó un análisis univariado de las variables físico- químicas, microbiológicas y de macroinvertebrados para los muestreos realizados en invierno y verano, la principal medida descriptiva que se analizó para comparar fue la mediana para representar la tendencia central de cada variable, para realizar este análisis se utilizó el programa PAST (PAleontological STatistics versión 2.17).

1.2.4.4 Análisis estadístico multivariado:

1.2.4.4.1 Análisis factorial y análisis de componentes principales (AF/ ACP)

Se utilizó un análisis factorial de componentes principales (AF/ACP) con el objetivo de reducir datos, obtener parámetros más significativos y estudiar la correlación de la estructura inicial de las variables originales con un mínimo de pérdida de información (Morales et al, 1999;.. Wunderlin et al, 2001). En primer lugar se ingresaron los datos en una matriz de análisis multivariado donde se utilizó las 5 clases del índice biótico (ABI/BMWP-COL) aplicado a cada muestra en las columnas y las variables aleatorias en las filas.

Los análisis fueron ejecutados con el software estadístico PAST (PAleontological STatistics versión 2.17). Mediante el análisis ACP, se encontraron los valores propios y los vectores propios de la matriz de varianza-covarianza o la matriz de correlación.

Después de definir la matriz de correlación, se evaluó la idoneidad del modelo de factores. Una medida de la adecuación muestral se calculó utilizando una herramienta de var-covar normalizado, debido a que las variables se midieron en distintas unidades lo que implicó la normalización mediante la división por sus desviaciones estándar. Las variables estimadas hipotéticas se llamaron componentes principales (CP) y fueron extraídos por el análisis factorial de componentes principales a partir del criterio de que sólo los factores con varianzas mayores a 0,1 se incluyesen, de manera que se tenga una pertenencia más clara e inteligible de cada variable.

La interpretación de la matriz se facilitó usando un procedimiento de rotación ortogonal con el método Varimax. El proceso de rotación ortogonal sirvió para correlacionar los factores obtenidos que tengan las saturaciones más altas y eliminar aquellos con saturaciones casi nulas. Igualmente se utilizó el software estadístico PAST en este módulo se implementó por método clásico Imbrie y Kipp (1971) de análisis factorial y regresión del medio ambiente (CABFAC y regresión, consulta Klován y Imbrie 1971).

1.2.4.5 Zonificación de la red hidrográfica a partir de las clases de índice biótico ABI/ BMWP-COL

Los mapas se construyeron a partir de cartografía temática tomada del IERSE (UDA, 2007) con mapas a escala 1:50 000 gracias a la utilización de la herramienta

ArcGIS 9.3, utilizando el Sistema de Proyección WGS84. Los mapas fueron generados con un archivo shapefile de tipo vector y raster. Se utilizó un mapa base de las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago; este mapa consta de límites provinciales, la red hidrográfica perteneciente a la CRP y los puntos de muestreo.

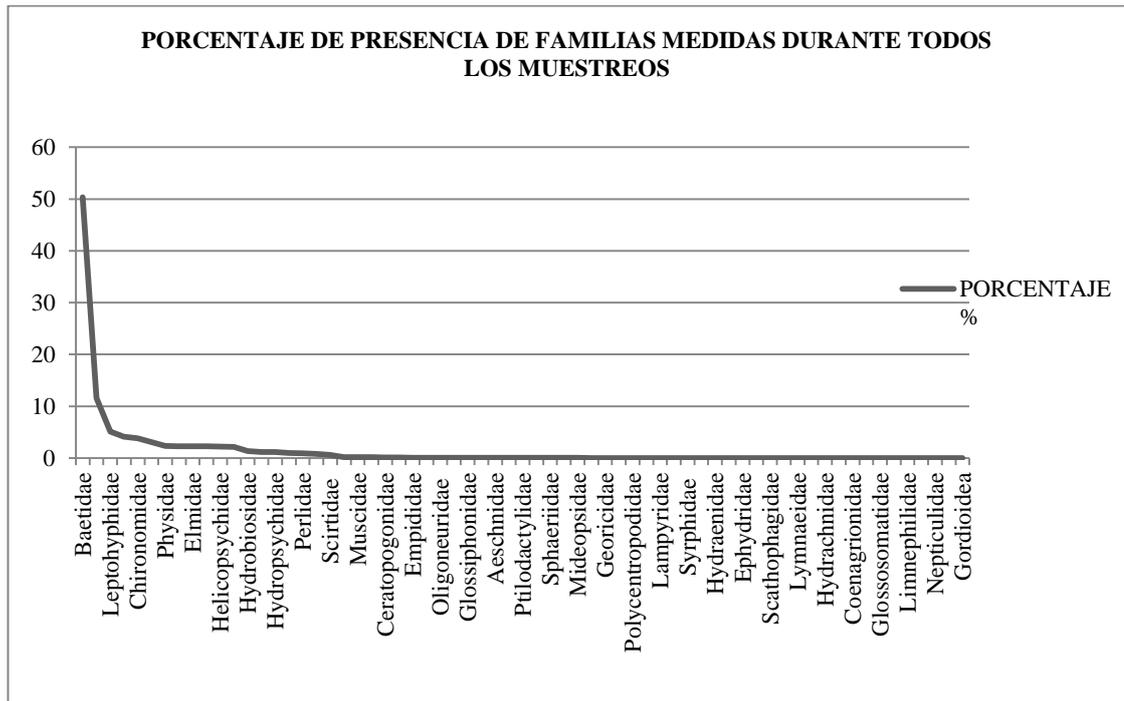
Las coordenadas de las estaciones se ingresaron en una tabla de Excel, mediante la utilización de la herramienta Add XY DATA. Las estaciones fueron clasificadas en 5 clases basadas en la media aritmética del índice biótico ABI / BMWP-Col, medido en todas las estaciones de muestreo en invierno y verano. A cada clase basada en el índice biótico se le dio un color representado en un círculo por cada estación. La calidad de agua se puede interpretar mirando las leyendas del mapa clasificadas por la simbología y el color que va desde el nivel bueno hasta el nivel crítico.

CAPITULO 2: RESULTADOS

2.1 Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados

En las campañas de muestreo llevadas a cabo que se realizaron se registraron un total de 12685 individuos pertenecientes a 65 familias. En el monitoreo de especies que se realizó en época seca encontramos 3883 individuos los cual se clasificaron en 109 morfoespecies agrupadas en 61 géneros, 43 familias y 15 órdenes; Los grupos pertenecientes al subfilo Oligochaeta fueron identificados hasta este nivel taxonómico; y las morfoespecies se separaron según características morfológicas tanto a nivel de género como de familia (por ejemplo individuos de la familia Chironomidae: Chironomidae sp3 o el género Smicridea: Smicridea sp2). La familia más abundante corresponde a la familia Baetidae la cual ocupa el 50, 31% de individuos contabilizados.

Tabla 6: Abundancia porcentual de familias medidas durante todos los muestreos



2.2 Obtención de datos faltantes

Debido a su importancia como datos físicos químicos se obtuvieron los datos faltantes correspondientes a alcalinidad, DQO y oxígeno disuelto con técnicas de análisis de regresión múltiple y simple en el programa y se computaron en la matriz general para partir hacia un análisis real. Se utilizó el software STATGRAPHICS

Centurión XVI.I con la herramienta Statadvisor. El procedimiento se puede observar en el anexo 6.

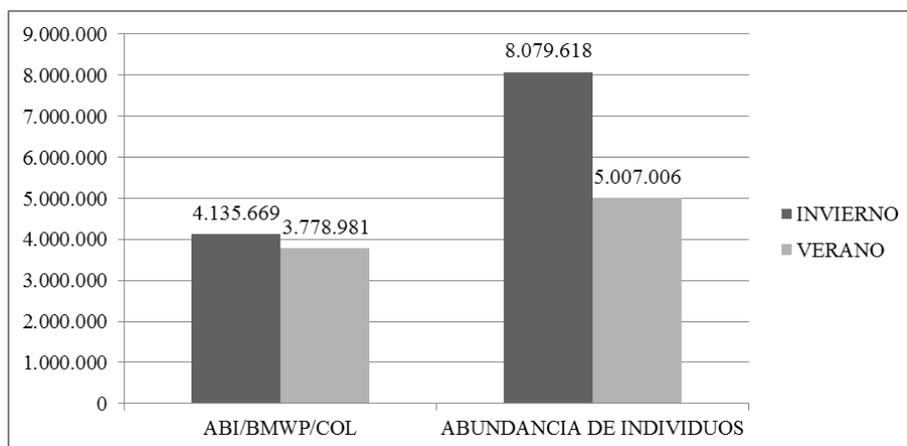
2.3 Contraste de normalidad de datos.

De acuerdo con el test de contraste de Shapiro- Wilk los datos no se tomaron de una población normal; y en cuanto al test de Anderson- Darling los datos no responden a una distribución continua; en ambos casos la excepción es el parámetro que corresponde al Ph.

2.4 Comparación descriptiva para parámetros físico- químicos, microbiológicos y de macroinvertebrados entre verano e invierno

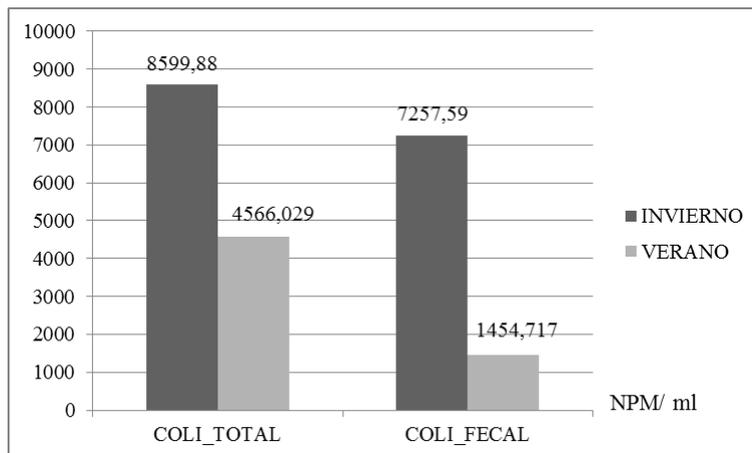
Para representar la tendencia central en la variación estacional para cada una de las variables medidas, se utilizó la media aritmética expresada en la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales medidas en cada una de las variables.

Figura 2: Tendencia central medida en los parámetros asociados a los individuos de macroinvertebrados recolectados



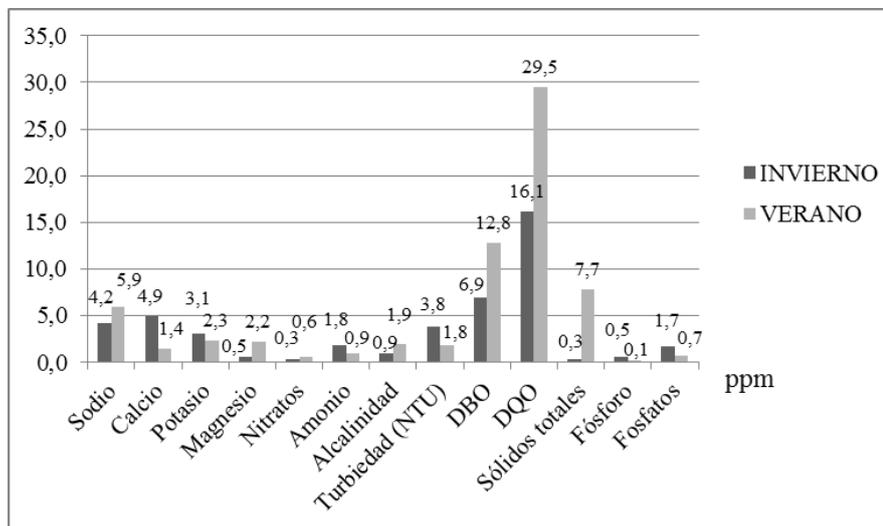
Se puede observar que existe una variación considerable tanto en el número de individuos como en el índice biótico; en el invierno se encontró mayor número de individuos y la calidad de agua de acuerdo a los índices bióticos aumenta, lo que demuestra que la calidad de agua basada en índices bióticos es mejor en invierno.

Figura 3: Tendencia central medida para análisis microbiológicos



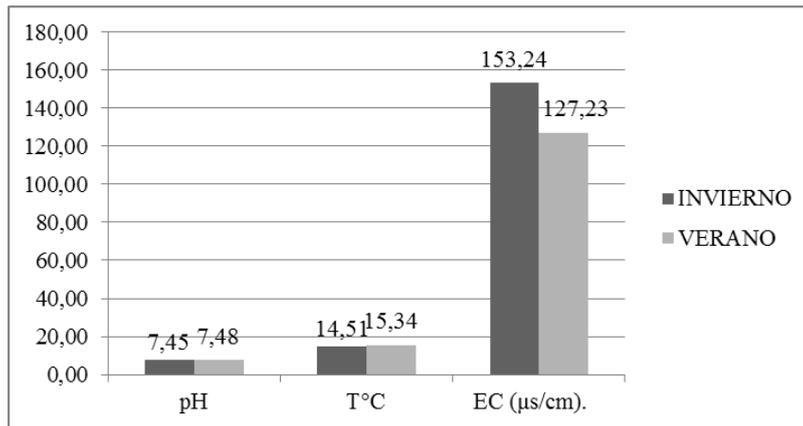
Los resultados de análisis microbiológicos de bacterias coliformes medidas durante los muestreos de invierno y verano, muestran un número considerablemente más alto durante la época de mayores precipitaciones mostrando casi el doble de organismos medidos por ml de agua.

Figura 4: Tendencia central medida para parámetros físico químicos en invierno y verano



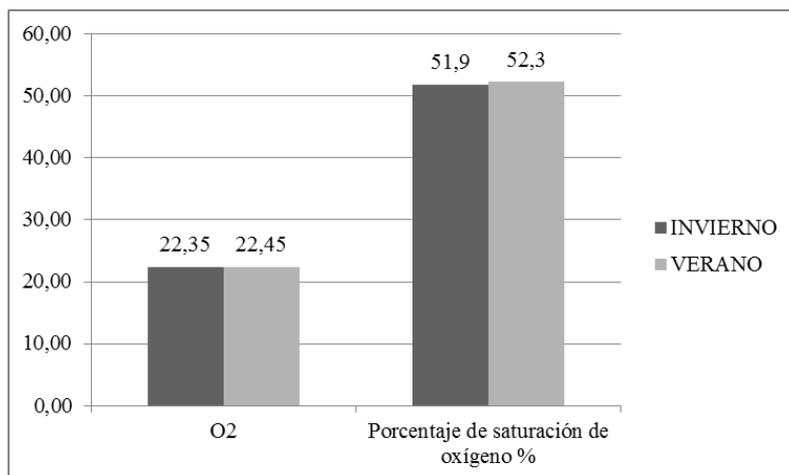
Se pueden identificar diferencias muy significativas medidas en los distintos parámetros, en verano existe un incremento en el calcio, sodio, magnesio, nitratos, alcalinidad, demanda química y biológica de oxígeno y sólidos totales; mientras que en invierno existe una concentración más alta en el calcio, potasio, amonio, fósforo y fosfatos.

Figura 5: Tendencia central medida para parámetros físico químicos in situ



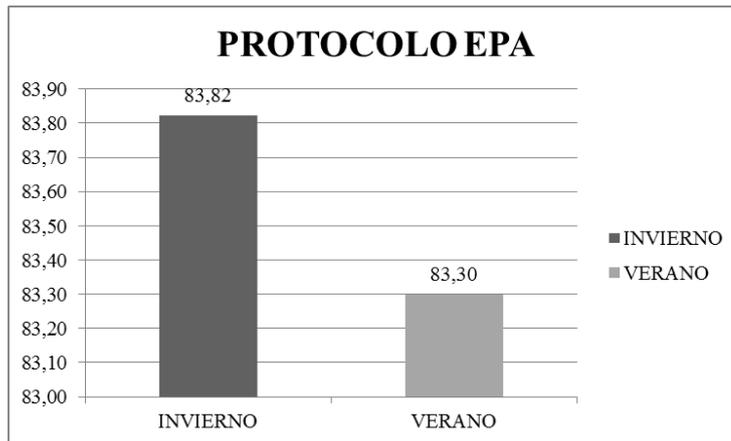
Dentro de los parámetros medidos in situ se puede observar que el pH no mayor variación temporal; la temperatura sin embargo se diferencia en un grado centígrado y es más alta en verano, mientras que la conductividad es más elevada durante el invierno.

Figura 6: Tendencia central para concentración y saturación de oxígeno



En esta figura podemos observar que el oxígeno es ligeramente más alto durante la época de verano.

Figura 7: Tendencia central para el puntaje del protocolo EPA de caracterización física de riveras medidas en invierno y verano



La media entre los puntajes para caracterización física se diferencian apenas enseñando un mejor puntaje para las variables medidas en invierno.

2.5 Resultados de análisis estadísticos multivariados aplicados:

2.5.1 Análisis factorial y análisis de componentes principales:

El criterio que se aplicó fue el de determinar los componentes principales a partir de valores propios (eigenvalues) mayores a 0.1 dentro de la matriz de correlación. Este modelo demostró que 18 de las 32 variables consideradas en la matriz, representan las variables más sensibles, estas son coliformes fecales, puntuación del protocolo EPA, número de individuos, índice biótico, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura, concentración de oxígeno, pH, sodio, turbiedad, número de familias (taxas), DBO, DQO, sólidos totales, conductividad, carbonato de calcio, cloruros y coliformes totales. De acuerdo con el criterio de porcentaje de varianza se tomaron los dos primeros componentes principales los cuales explican el 79,59% para CP1 y 10,52% para CP2 que corresponden al 90,11% del total de la varianza de la base de datos original. (tabla7)

Tabla 7: Cargas del análisis de componentes principales (PCA) medida en todo el muestreo

Variables	Componentes	
	CP1	CP2
Coli_Fec	5,2767	-0,54559
EPA_I	-0,51846	-4,3018
Individuals	-0,13375	-1,4777
Biotic_Index	-0,16409	-1,4388
%_SAT_O2	-0,34565	-2,7805
T°C	-0,052768	-0,42389
O2	-0,02707	-0,21538
pH	-0,027765	-0,22041
Na	-0,016561	-0,12023
UNT	-0,016799	-0,088378
Family_Taxas	-0,027513	-0,236
DBO	-0,040479	-0,27645
DQO	-0,093628	-0,62906
TS	-0,026824	-0,056493
EC	-0,16628	-0,93515
CaCO3	-0,05747	-0,51288
CL-	-0,02044	-0,008749
Coli_Tot	2,1621	-0,4852
Eigenvalue	124,95	16,524
Porcentaje de varianza %	79,59	10,52

En la tabla 7 se puede observar claramente en la definición de dos componentes principales como las variables se correlacionan unas con otras. En el componente principal 1 que tiene casi el 80% de la varianza se observa cómo influye el aumento de coliformes fecales y coliformes totales en la disminución de las demás variables, en especial las asociadas a la caracterización física del protocolo EPA, la saturación de oxígeno y la abundancia de individuos.

Los resultados fueron complementados con el examen de las cargas de la rotación varimax permitiendo una asignación mejor y más explícita de variables experimentales a FA / PCA, ya que la correlaciones entre algunas de las variables y los componentes son altos, otros son bajos, y algunas correlaciones son intermedias (Helena et al, 2000;.. Singh et al, 2005). Las cargas y varianzas a partir de la rotación varimax están representadas en un gráfico de dispersión en donde se tomaron los factores 1 y 2 como ejes “x” y “y” ya que estas fueron las que se minimizaron tomando en cuenta las variable con cargas altas y eliminando aquellas con cargas factoriales bajas. Sobre los ejes se representan las variables originales ayudando a describir la estructura latente de los datos originales y sus correlaciones

Tabla 8: Resumen de rotación varimax aplicada para los datos clasificados por índice biótico en las diferentes estaciones,

INDICE BIOTICO	Factor 1	Factor 2
1	0,57464	-0,26268
2	20,421727	-12,30122
3	29,679373	-21,73089
4	30,35442	-9,754646
5	15,143547	-4,06395

En la tabla 8 se puede observar que los datos que poseen saturaciones más altas se encuentran correlacionadas en el factor 1 a partir del análisis factorial con rotación ortogonal varimax por lo que se tomó este y el factor 2 para analizar la correlación de datos.

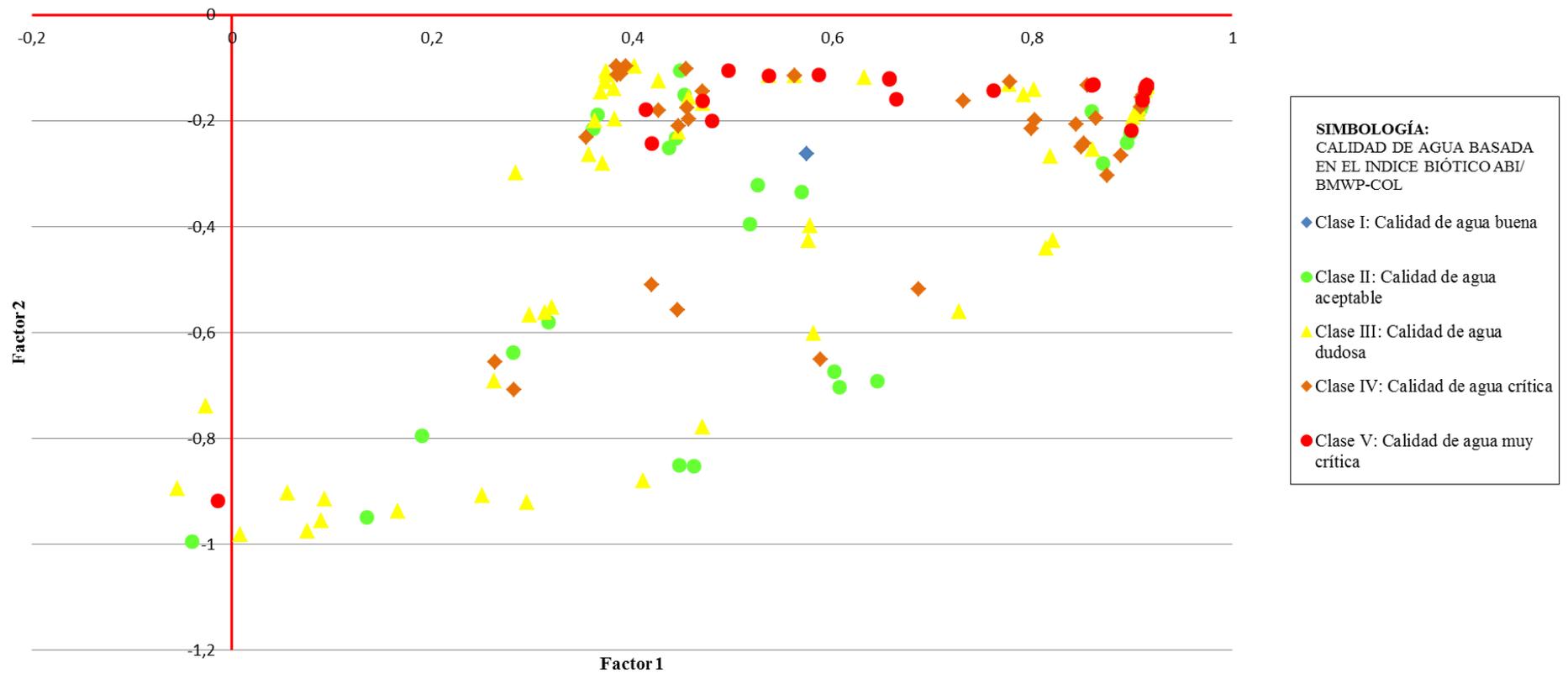


Figura 8: Gráfico de dispersión a partir de análisis de rotación varimax

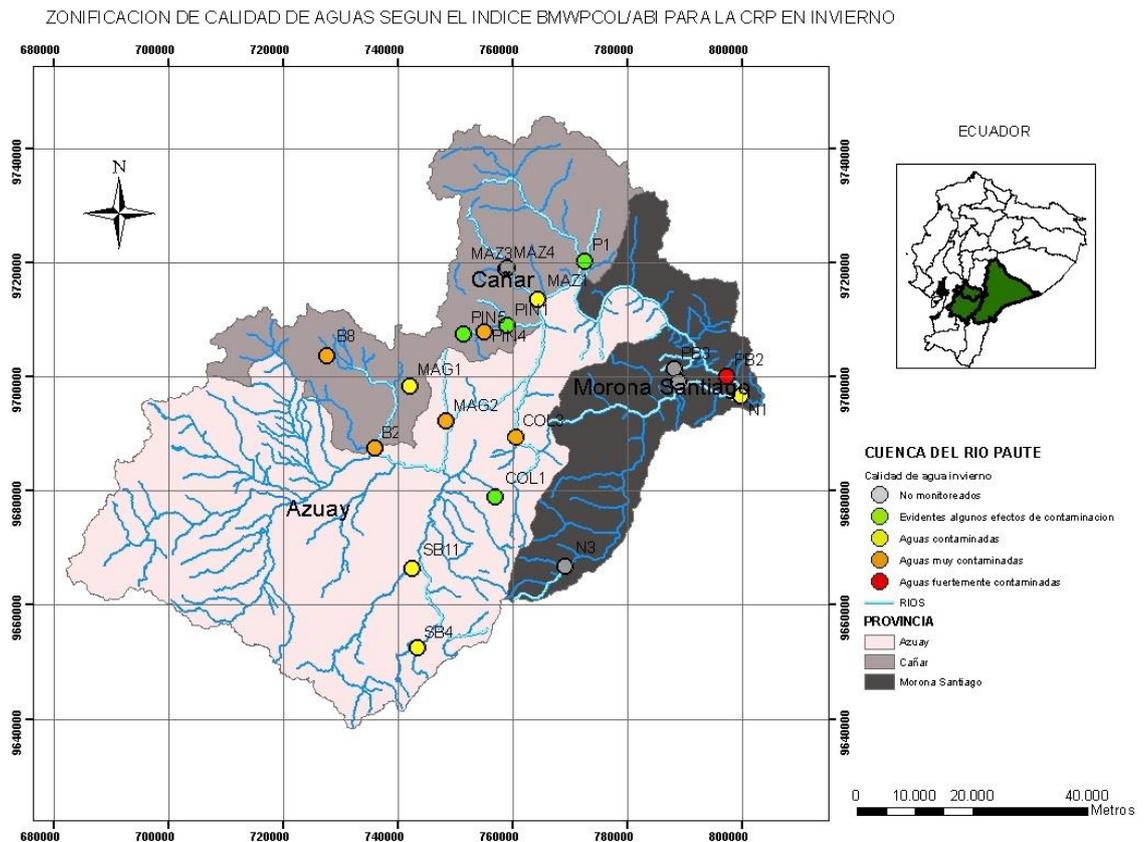
En la figura 8 se observan un análisis de dispersión donde se representan las estaciones de muestreo con sus respectivas calificaciones de índices bióticos, con el análisis PCA se pudo observar que el componente principal 1 tiene una alta correlación para las variables correspondientes a colonias de coliformes fecales y totales y cuando estas aumentan se produce un efecto inversamente proporcional para las variables correspondientes a los índices ABI, EPA, saturación de oxígeno, número de individuos, una mínima reducción en el pH, temperatura, DBO, sólidos totales, tasas y conductividad. La mayoría de estaciones con la clase correspondiente a la calidad de agua muy crítica y calidad de agua crítica, se encuentran agrupadas cerca del factor 1 por lo que se puede asociar este comportamiento a las correlaciones entre variables explicadas para el componente principal 1.

Las estaciones con calidad de agua aceptable aparecen dispersadas hacia el centro y alejadas del factor 1 y acercándose ligeramente hacia el factor 2 correspondiente a aproximadamente el 10% de la varianza de datos originales y donde se explica que disminuciones considerables en los puntajes del protocolo EPA, individuos, saturación de oxígeno e índice biótico se relacionan pobremente con disminuciones mínimas para las demás variables. Por lo que al estar en el medio pueden estar asociadas a cambios que se expliquen en las correlaciones para ambos factores. Las estaciones con calidad de agua dudosa aparecen agrupadas cerca del factor 1 y otras cerca del factor 2 por lo que la calidad de estas puede estar asociada a ambas correlaciones. La única estación con calidad de agua buena se encuentra al medio del gráfico indicando que puede estar asociada a ambos factores.

2.6 Zonificación en función de la calidad del agua.

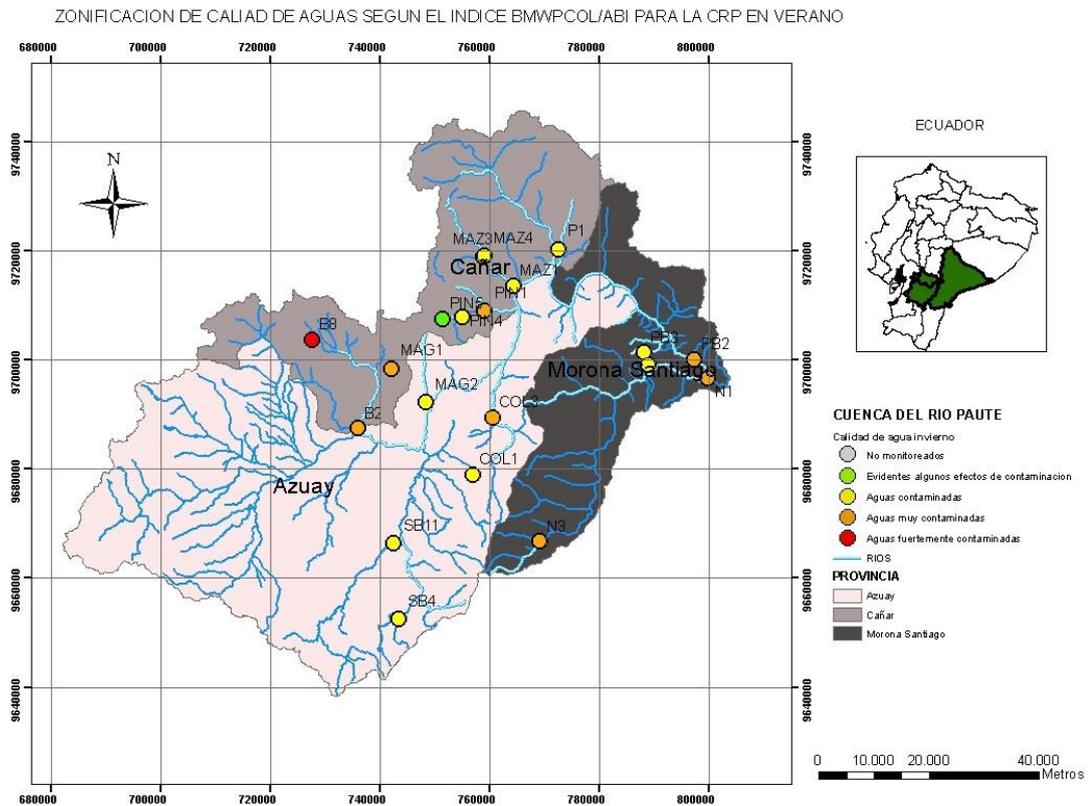
Basados en la media aritmética obtenida de la puntuación correspondiente a la clasificación del índice ABI y BMWP se zonificó toda la red hidrográfica de la cuenca del río Paute de acuerdo a la calidad de agua por el índice biótico. En los mapas que se realizaron para ambas estaciones se puede observar la representación de 5 clases de calidad de agua en 5 colores distintos, de este modo se puede distinguir que calidad de agua tiene cada estación de acuerdo a su simbología.

Figura 9: Zonificación de calidad de agua basada en el índice BMWP-col/ABI para la CRP en invierno



En la campaña de muestreo realizada en invierno se encontraron 4 estaciones correspondientes a calidad de agua aceptable, P1 en el río Púlpito, COL 1 en el río Collay y las estaciones PIN 1 y PIN 5 en el río Pindilig. Las estaciones SB4 y SB11 ubicadas en el río Santa Bárbara, MAZ 1 y MAZ4 del río Mazar, MAG 1 en el río Magdalena y N1 en el río Negro corresponden a calidad de agua contaminadas de calidad dudosa. Las estaciones correspondientes a PIN 4 en el río Pindilig, COL3 en el río Collay; MAG 2 en el río Magdalena; y B13, B2 y B8 ubicadas al Río Burgay corresponden a calidad de agua muy contaminada o en estado crítico. La estación PB2 ubicada en la parte baja del río Paute corresponde a aguas muy contaminadas o en estado muy crítico.

Figura 10: Zonificación de calidad de agua basada en el índice BMWP-col/ABI para la CRP en invierno



En la figura 9 se pueden observar los resultados obtenidos en el muestreo realizado en verano. La estación PIN 5 fue la única estación que corresponde a calidad de agua aceptable. Las estaciones de agua contaminada correspondientes a calidad dudosa son P1, MAZ3, SB11, PIN4, COL1, SB4, N2, MAZ4, PB3, MAG2 y MAZ1. Las estaciones con agua muy contaminada que corresponden a calidad de agua crítica son COL3, PIN1, N1, MAG1, PB2, B13, B2 y N3. La única estación con estado muy crítico de contaminación correspondió a la estación B8.

CAPITULO 3:

DISCUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de todas las variables utilizadas nos enseñan que la calidad de agua cambia y se influenciada por varios factores que pueden estar asociados a variaciones temporales.

Como se observaron en los análisis estadísticos univariados con la media como tendencia central; en la época de invierno se registró una mayor cantidad de individuos correspondiente a una mayor cantidad de taxas, el puntaje del índice biótico fue mayor, a l igual que el puntaje basado en el protocolo EPA.

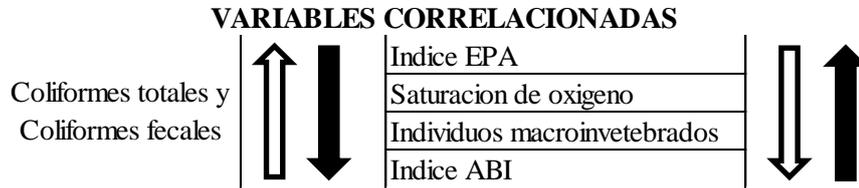
En cuanto a las variables microbiológicas se pudo observar que existió una mayor cantidad de colonias de coliformes fecales y totales estos organismos favorecen la descomposición de la materia vegetal muerta que llega al medio fluvial desde el medio terrestre adyacente (e.g. madera u hojarasca) o que se origina en el propio cauce del río (e.g. algas o macrófitos), facilitando su particulado y posterior mineralización. Los coliformes están asociados a la materia orgánica en descomposición.

Un elemento de desechos de materia orgánica como el fósforo, se encontró en mayor concentración en invierno; este elemento en la correlación de análisis multivariado aumenta propocionalmente con las colonias de coliformes totales y fecales. El fósforo sirve como nutriente para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. Si el crecimiento es moderado este puede constituir una base alimenticia para los organismos acuáticos, pero también pueden estimular la proliferación de algas y cuando estas se descomponen existe un descenso de oxígeno disuelto (US-EPA 1995).

El nivel de oxigeno registrado en invierno fue ligeramente menor al registrado en verano; al igual que la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). Como se observa en las métricas de las correlaciones del componente principal 1 aplicado para todos los muestreos, se mostraron menores

niveles de saturación de oxígeno al aumentar los coliformes fecales y totales esta a su vez se asocia a una disminución en el número de los individuos y las taxas.

Tabla 9: Correlaciones observadas en el CP1



Al haber encontrado un mayor número de individuos y familias en los muestreos realizados en invierno, se puede asociar a la integridad de la comunidad a la mayor disponibilidad de materia orgánica para las comunidades de macroinvertebrados compuestas por grupos con requerimientos tróficos muy heterogéneos. Las comunidades de macroinvertebrados están compuestas por descomponedores, herbívoros y predadores, por lo que constituyen un vínculo fundamental entre las diversas fuentes de energía que aparecen en los ecosistemas fluviales y los predadores superiores (Allan, 1995).

En la época de verano se registró un menor número de individuos y de taxas. Los puntajes de índice biótico son más bajos al igual que el puntaje de caracterización física EPA. Los coliformes fecales y totales disminuyeron; mientras que el nivel de oxígeno, DBO y DQO tuvo concentraciones más altas que en la época de invierno.

La caracterización EPA se vio relacionada a los cambios que existieron en las riberas; por ejemplo en el punto PIN1 a lo largo de los muestreos de verano se observó una modificación en el cauce por la construcción de una carretera lo que disminuyó considerablemente el puntaje medido durante estos muestreos.

La dinámica fluvial en verano presenta un caudal menor, obviamente porque existen menores precipitaciones. Estas variaciones de las condiciones hidráulicas en el medio fluvial afectan a la distribución de los macroinvertebrados de forma directa, seleccionando taxones con diferentes requerimientos hidráulicos, y de forma indirecta, alterando otras características del hábitat físico que a su vez también influyen en la distribución de los macroinvertebrados. Algunos taxones están asociados a la depredación y ocupación de nichos disponibles, observándose una disminución de sus posibles presas dentro de la comunidad, siendo menor la

diversidad (Armitage, 1977; Armitage et al., 1987; Ward & Stanford, 1979; Ward, 1984).

Para justificar este comportamiento en la comunidad se utilizó la hipótesis “The Dynamic Equilibrium Hypothesis” (Hipótesis de equilibrio dinámico) (Huston, 1994). Esta hipótesis tiene en cuenta tanto los niveles de perturbación como los niveles de recursos tróficos disponibles en el medio. Así, The Dynamic Equilibrium Hypothesis propone que la máxima diversidad biológica se da cuando el medio presenta niveles intermedios tanto de perturbaciones como de recursos tróficos. En invierno se pudo observar gracias al comportamiento de la comunidad de macroinvertebrados que la perturbación en ambos fue intermedia.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los distintos parámetros medidos a lo largo de este estudio se puede concluir que las condiciones en el lecho acuático en la época de invierno y verano son diferentes.

Las estaciones mantienen una mejor calidad asociada principalmente al índice biótico medido por el comportamiento de la comunidad de macroinvertebrados comparada en invierno y verano.

RECOMENDACIONES

- Para conocer mejor y hacer un análisis más profundo de las estaciones monitoreadas, se necesita programar muestreos que respondan en función a variables que no pudieron ser medidas adecuadamente como el caudal y las precipitaciones que alimentan las diferentes subcuencas.
- Para tener una información más veraz de los datos físico químico y microbiológico se podría recomendar el uso de protocolos que hagan justicia al estado natural de la calidad de agua al momento de recogerse las muestras. Así mismo se recomendaría utilizar equipos para medir variables in situ con calibración más exacta llevada a cabo en los laboratorios de análisis físico químico.
- Por último el análisis por orden de río analizado, ya que algunas estaciones poseen características físicas muy diferentes que van desde riachuelos hasta ríos de cuarto orden como el río Paute.

BIBLIOGRAFIA

- **ALLAN J.D.** Stream ecology; Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra. 1995.
- **P. D. ARMITAGE, R. J. M. GUNN, M. T. FURSE, J. F. WRIGHT, D. MOSS.** The use of prediction to assess macroinvertebrate response to river regulation. Hydrobiologia. 1987.
- **BARBOUR**, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers. USEPA, Washington, 1999.
- **BONADA N., PRAT N., RESH V. H. Y STATZNER B.** Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. Annual Review of Entomology. 2006.
- **CARRERA, C. y FIERRO, K.** Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia. 2008.
- **CORDERO D, I.** Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del Río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas. 2013.
- **DALL P.C.** Commonly used methods for assessment of water quality. En: Toman, M.J. y F. Steinman (eds.) Biological Assessment of stream water quality. Special Issue TEMPUS S_JEP 4724. University of Ljubljana. 1995
- **DYNESIUS, M. & C. NILSSON.** Fragmentation and flow regulation of river systems in the Northern Third of the world. Scierzce. 1994
- **DOMÍNGUEZ E,** Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología .Tucumán: Fund. Miguel Lillo. 2009.
- EPA. Western river basin district project: small streams risk score, Environmental Protection Agency, Irlanda. 2005.
- **FURSE M. T., MOSS D., WRIGHT J. F. Y ARMITAGE P. D.** The Influence of seasonal and taxonomic Factors on the Ordination and Classification of Running-

Water Sites in Great-Britain and on the Prediction of their Macroinvertebrate Communities. *Freshwater Biology*. 1984.

- **HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. 2001.

- **HUSTON M. A.** Biological Diversity. The coexistence of species on changing landscapes. Press syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, Inglaterra. 1994.

- **HYNES H. B. N.** The Ecology of Running Waters. University of Toronto Press, Toronto, Canada. 1975.

-**IMBRIE, J. & N.G. KIPP.** A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a late Pleistocene Caribbean core. In: *The Late Cenozoic Glacial Ages*, edited by K.K. Turekian, pp. 71-181, Yale Univ. Press, New Haven, CT. 1971

- **JACOBSEN, D; ENCALADA, A.** The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. *Archiv für Hydrobiologie*, 1998.

- **JÁIMEZ-CUÉLLAR, Pablo, et al.** Protocolo GUADALMED (prece). *Limnetica*, 2002.

- **KLOVAN, J.E. & J. IMBRIE.** An algorithm and FORTRAN-IV program for large scale Q-mode factor analysis and calculation of factor scores. *Mathematical Geology* 3:61-77. 1971.

- **MANDAVILLE, S.M.** Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. 2002.

- **PARSONS, J. K. & R. A. MATHEWS.** Analysis Of the associations between macroinvertebrates and macrophytes in a freshwater pond. *Northwest Science*. 1995

- **POURRUT, P et al.** Factores condicionantes de los regímenes climáticos e hidrológicos. 1995.

- **PRAT N, ACOSTA R, RIERADEVALL M.** Guía para el reconocimiento de las larvas de chironomidae (diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú; departamento de ecología de la universidad de Barcelona; Barcelona-España.2000.
- **PRAT, N., RÍOS B., ACOSTA R, RIERADEVALL M.** Un protocolo para determinar el estado ecológico de los ríos Andinos, Universidad de Barcelona. 2009.
- **RESH, V. H.** Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. Environmental Monitoring and Assessment. 2008.
- **ROLDÁN G,** Guía para el estudio de macroinvertebrados en el departamento de Antioquia. Edit. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 1988, 1996, 2008.
- **ROSERO, D., RÍOS.** Comparación entre los índices bióticos para conocer la calidad de agua de los páramos de Papallacta. FONAG. Instituto para el Desarrollo y la Investigación. Quito. Ecuador. 2009.
- **ROSENBERG, D M.; MCCULLY, P; PRINGLE, C M.** Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. BioScience, 2000.
- **ROMERO, E.** et al. Characterisation and thermo-hydro-mechanical behaviour of unsaturated Boom clay: an experimental study. 1999.
- **TORO M,** et al; Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico químicas; Asociación española de Limnología; Madrid- España. 2002.
- UDA, Caracterización territorial de las subcuencas de los ríos: Collay, Cuenca, Jadán, Juval, Magdalena, Mazar, Paute, Pindilig y Santa Bárbara perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Paute mediante imágenes satélite, Universidad del Azuay, Instituto de Estudio de Régimen Seccional IERSE, 2007.
- VILLA-NAVARRO F. A., L. GARCÍA-MELO, N. BRIÑEZ-VASQUEZ y P. WARD, J. V. & J. A. STANFORD.** Ecoiological factors controlling stream zoobentos with emphasis on thermal modification of regulated streams. In: The Ecology of Regulated Streams (J. V. WARD & J. A. STANFORD, ed) . Plenum Publishing. New York. 1979.

- **WUNDERLIN, D** et al. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A Case Study:: Suquía River Basin (Córdoba–Argentina). Water research, 2001.
- **ZUÑIGA-UPEGUI**. Biodiversidad de la cuenca del río Coello – Biodiversidad Regional Fase I. Tomo II. Informe presentado a Cortolima. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 2003.

ANEXOS

Anexo 1: Modelo de ficha de caracterización física de ecosistema de río para análisis EPA: Valoración de la calidad del hábitat en arroyos

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 esta 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 regimenes 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 prevalectientes.					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 dragando ausentes o mínimos; arroyo con una forma normal.					Presenta algunos canalizaciones, normalmente en áreas de los estribos de los puentes; evidencia					Canalización tal vez extensa; terraplenes o estructuras presentes en ambas orillas; y del					Las orillas apuntaladas con gaviones o cemento; más del 80% del arroyo					

		una canalización pasada, es decir, dragado (hace más 20 años) tal vez presente, pero reciente no está presente la canalización.	40 al 80% del arroyo canalizado e interrumpido en un tramo.	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; muchos 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.
Nota: Determine el lado izquierda o derecho enfrentando río abajo.				
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 macrofitas; 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 representada; 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 centímetros 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 metros; 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 metros; las actividades humanas sólo han impactado la zona mínimamente.	Ancho de la zona ribereña 6 - 12 metros; las actividades humanas han impactado un gran parte a la zona.	Ancho de la zona de ribereña < 6 metros: 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

Anexo 2: Resultados de análisis microbiológicos en verano e invierno

		Coliformes totales	Coliformes fecales			Coliformes totales	Coliformes fecales
MAZ1.3.2	invierno	1300	1300	PIN5.2.3	verano	1300	350
COL1.3.2	invierno	1700	170	PIN5.4.3	verano	240	170
PIN1.5.2	invierno	1700	1700	PIN5.3.3	verano	170	26
P1.4.2	invierno	80	40	PIN4.1.3	verano	3000	280
PIN1.3.2	invierno	9000	9000	SB11.4.3	verano	240	14
MAZ4.3.2	invierno	16000	16000	N2.4.3	verano	1600	14
MAZ4.5.2	invierno	3500	3500	COL3.4.3	verano	1600	7
COL1.6.2	invierno	210	210	MAZ3.1.3	verano	300	21
MAZ1.4.2	invierno	1300	1300	P1.1.3	verano	17	11
MAZ4.4.2	invierno	16000	16000	COL1.2.3	verano	17	7
PIN1.4.2	invierno	3000	2400	N1.4.3	verano	900	26
P1.3.2	invierno	230	230	PB2.4.3	verano	1600	7
SB4.1.2	invierno	110	110	PB3.4.3	verano	34	27
MAG1.2.2	invierno	1300	140	PIN4.3.3	verano	500	170
PIN5.3.2	invierno	16000	16000	SB11.1.3	verano	2800	40
N1.3.2	invierno	800	230	PB3.3.3	verano	900	50
COL1.5.2	invierno	700	170	PIN1.4.3	verano	5000	14
COL1.7.2	invierno	900	200	SB4.2.3	verano	60	21
PIN5.5.2	invierno	16000	1300	P1.2.3	verano	1100	800
SB4.6.2	invierno	110	110	MAZ4.3.3	verano	34	70
PIN5.1.2	invierno	16000	16000	SB11.3.3	verano	900	9
PIN1.7.2	invierno	2800	2800	N2.3.3	verano	5000	14
PIN5.4.2	invierno	16000	16000	P1.3.3	verano	90	4
PIN1.1.2	invierno	16000	16000	SB4.3.3	verano	50	4
MAZ4.2.2	invierno	16000	16000	MAZ1.2.3	verano	260	220
COL1.2.2	invierno	1700	170	MAZ4.2.3	verano	350	330
SB4.5.2	invierno	20	20	MAG2.4.3	verano	16000	3000
B13.2.2	invierno	16000	16000	COL1.3.3	verano	350	14
PIN5.2.2	invierno	16000	16000	COL3.3.3	verano	3000	4
COL3.4.2	invierno	16000	16000	MAZ3.2.3	verano	2400	280
SB11.4.2	invierno	1300	1300	COL1.1.3	verano	632,428571	208,1428571
SB4.3.2	invierno	70	40	PIN5.1.3	verano	16000	5000
PIN5.7.2	invierno	16000	3500	MAG2.2.3	verano	5000	3000
MAG1.5.2	invierno	2400	2400	N3.4.3	verano	16000	480
PIN1.2.2	invierno	16000	16000	MAZ1.4.3	verano	300	22
COL3.2.2	invierno	16000	16000	MAG1.2.3	verano	16000	9000
B13.3.2	invierno	16000	16000	MAZ3.3.3	verano	350	22
MAZ1.5.2	invierno	5600	340	PIN4.2.3	verano	350	330
MAZ1.2.2	invierno	2400	2400	N2.1.3	verano	1600	40
SB11.6.2	invierno	3000	300	MAZ3.4.3	verano	280	140

MAG2.2.2	invierno	9000	5600	MAZ1.3.3	verano	220	22
SB4.4.2	invierno	90	90	SB4.4.3	verano	90	50
SB11.3.2	invierno	16000	16000	PB2.3.3	verano	9000	7
MAG1.1.2	invierno	1700	1700	N2.2.3	verano	50	21
MAG2.4.2	invierno	16000	16000	MAG2.3.3	verano	16000	280
B2.3.2	invierno	16000	16000	MAZ4.1.3	verano	170	21
P1.1.2	invierno	170	110	SB11.2.3	verano	1700	1400
B8.2.2	invierno	16000	16000	MAG1.3.3	verano	16000	3500
SB6.2.2	invierno	2400	2400	MAZ4.4.3	verano	220	11
SB11.2.2	invierno	1700	1300	PIN4.4.3	verano	350	60
PIN4.1.2	invierno	900	900	N1.3.3	verano	1600	33
COL3.3.2	invierno	16000	16000	MAG1.1.3	verano	1700	140
B8.1.2	invierno	16000	16000	B8.4.3	verano	16000	1400
MAZ4.1.2	invierno	16000	16000	B2.4.3	verano	3000	330
MAG2.3.2	invierno	16000	16000	PB2.2.3	verano	1700	1100
MAG1.3.2	invierno	1300	140	B2.2.3	verano	16000	3500
MAZ1.1.2	invierno	1700	1100	B2.3.3	verano	16000	330
B2.1.2	invierno	16000	16000	MAG1.4.3	verano	16000	330
B8.4.2	invierno	16000	16000	PIN1.2.3	verano	16000	16000
N1.1.2	invierno	1100	900	B8.3.3	verano	16000	170
B13.1.2	invierno	16000	16000	MAG2.1.3	verano	16000	16000
MAG1.6.2	invierno	1300	140	MAZ1.1.3	verano	300	70
B13.4.2	invierno	3500	1700	N1.2.3	verano	220	140
COL3.1.2	invierno	16000	16000	N1.1.3	verano	1100	900
B13.6.2	invierno	16000	16000	B2.1.3	verano	10667,75	8125,479167
COL3.7.2	invierno	16000	9000	COL3.2.3	verano	3000	340
MAZ1.7.2	invierno	700	700	PB3.2.3	verano	260	170
SB11.1.2	invierno	16000	16000	COL3.1.3	verano	16000	12500
B8.3.2	invierno	16000	16000	B8.1.3	verano	15500	12021,42857
B2.2.2	invierno	16000	16000	B8.2.3	verano	16000	4000
B8.6.2	invierno	16000	16000	PB3.1.3	verano	900	70
B8.7.2	invierno	16000	5600	PIN1.3.3	verano	2200	260
MAG1.4.2	invierno	5600	3000	PB2.1.3	verano	1600	90
B2.5.2	invierno	16000	3000	N3.2.3	verano	14	11
SB11.5.2	invierno	1300					
PB2.3.2	invierno	3500					
PB2.4.2	invierno	1600					
MAG2.6.2	invierno	16000					
PB2.1.2	invierno	3500					
B8.5.2	invierno	16000					
B13.5.2	invierno	3500					
B13.7.2	invierno	16000					
MAG2.1.2	invierno	16000					

Anexo 3: Macroinvertebrados encontrados en invierno

ORDEN	FAMILIA	# INDIVIDUOS
Amphipoda	Hyalellidae	281
	Elmidae	134
	Psephenidae	11
	Hidrophilidae	2
Coleoptera	Gyrinidae	4
	Dytiscidae	3
	Ptilodactylidae	2
	Lampyridae	1
	Scirtidae	65
	Blephariceridae	250
	Ceratopogonidae	1
	Chironomidae	256
	Muscidae	11
	Díptera	Psychodidae
Simuliidae		251
Empididae		6
Tabanidae		2
Tipulidae		48
Baetidae		4796
Ephemeroptera	Leptohyphidae	445
	Leptophlebiidae	183
Bivalvia	Sphaeriidae	1
Gasteropoda	Physidae	88
Heteroptera	Veliidae	7
Hirudinea	Glossiphonidae	7
Acariformes	Limnocharidae	4
Acariformes	Mideopsidae	4
Megaloptera	Corydalidae	6
Odonata	Aeschnidae	5
Annelida	Oligochaeta	1150
Plecoptera	Gripopterygidae	3
	Perlidae	54
	Calamoceratidae	104
	Helicopsychidae	261
	Hydrobiosidae	86
Trichoptera	Polycentropodidae	2
	Hydropsychidae	55
	Xiphocentronidae	4
	Leptoceridae	105
	Tasimiidae	0
Turbellaria	Dugesidae	102
Lepidoptera	Crambidae	1

Anexo 4: Macroinvertebrados encontrados en verano

ORDEN	FAMILIA	# INDIVIDUOS
Amphipoda	Hyalellidae	107
	Elmidae	154
	Psephenidae	15
Coleoptera	Gyrinidae	3
	Ptilodactylidae	2
	Georicidae	3
	Scirtidae	10
	Blephariceridae	41
	Bibionidae	1
	Ceratopogonidae	18
	Chironomidae	227
	Muscidae	12
	Díptera	Psychodidae
Simuliidae		270
Empididae		2
Tabanidae		6
Tipulidae		57
Syrphidae		1
Baetidae		1587
Leptohyphidae		204
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	87
	Oligoneuridae	8
Bivalvia	Sphaeriidae	3
Gasteropoda	Physidae	207
	Naucoridae	1
Heteroptera	Veliidae	1
	Hirudinea	Glossiphonidae
Megaloptera	Corydalidae	12
Odonata	Aeschnidae	1
Annelida	Oligochaeta	318
Plecoptera	Gripopterygidae	18
	Perlidae	61
	Calamoceratidae	41
	Helicopsychidae	21
	Hydrobiosidae	87
Trichoptera	Hydropsychidae	90
	Xiphocentronidae	1
	Leptoceridae	181
Turbellaria	DugesIIDae	20
	Crambidae	1

Anexo 5: Puntajes índice biótico para invierno y verano

ESTACIONES: INVIERNO	PUNTAJE	CLASE BMWPCOL/ABI	Número de estaciones		SIGNIFICADO/ CALIDAD
COL1	73		2	4	ACEPTABLE
PIN1	70		2		
P1	64		2		
PIN5	62		2		
SB4	57		3	6	DUDOSA
SB11	54		3		
MAZ1	51		3		
MAZ4	48		3		
MAG1	42		3		
N1	39		3		
PIN4	37		4	6	CRITICA
COL3	35		4		
MAG2	25		4		
B13	23		4		
B2	21		4		
B8	19		4		
PB2	7		5	1	MUY CRITICA

ESTACIONES: VERANO	PUNTAJE	CLASE BMWP/ABI	Número de estaciones		SIGNIFICADO/ CALIDAD
PIN5	73		2	1	ACEPTABLE
P1	56		3	12	DUDOSA
MAZ3	51		3		
SB11	51		3		
PIN4	51		3		
COL1	50		3		
SB4	48		3		
N2	46		3		
MAZ4	45		3		
PB3	39		3		
MAG2	38		3		
MAZ1	38		3		
COL3	35		4		
PIN1	33		4		
N1	32		4		
MAG1	31		4		
PB2	26		4		
B13	26		4		
B2	21		4		
N3	20		4		
B8	14		5	1	MUY CRITICA

Anexo 6: Resultado de análisis de datos faltantes

Tabla 10: Ecuación aplicada para obtener alcalinidad

Análisis de Regresión Múltiple		
Variable dependiente: Alkalinity		
Parámetro	Estimación	Error estándar
CONSTANTE	0.134698	0.058412
Ca	-0.00123027	0.000644712
EC	0.0000794415	0.0000308219
Mg	0.00699016	0.00127511
pH	-0.0166355	0.00811884

Análisis de Varianza			
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado
Modelo	0.0787918	4	0.0196979
Residuo	0.141547	95	0.00149053
Total (Corr.)	0.220339	99	

Tabla 11: Ecuación aplicada para obtener DQO

Análisis de Regresión - Modelo Lineal $Y = a + b \cdot X$			
Variable dependiente: DQO			
Variable independiente: DBO			
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico
Ordenada	4,86666	1,38595	3
Pendiente	1,92172	0,0937929	

Análisis de la Varianza			
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado
Modelo	53874,4	1	53874,4
Residuo	16298,4	127	128,333
Total (Corr.)	70172,8	128	

Tabla 12: Ecuación aplicada para obtener oxígeno

Análisis de Regresión Múltiple		
Variable dependiente: O ₂		
Parámetro	Estimación	Error estándar
CONSTANTE	9,21616	2,67562
DBO	-0,0635254	0,0334815
DQO	-0,0117121	0,0106467
EC	-0,00833821	0,00560164
EPA I	-0,0330213	0,00861184
pH	0,388016	0,243559
T °C	-0,0200131	0,0949696
Coli Fec	-0,000245873	0,000541953
Coli Tot	-0,000114129	0,000527493

Análisis de Varianza			
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado
Modelo	30,0336	8	3
Residuo	38,1165	35	1,
Total (Corr.)	68,1501	43	

Anexo 7: Test de Normalidad Shapiro- Wilk

Tabla 13: Test de normalidad aplicado a parámetros microbiológicos

Test	Coli_Tot	Coli_Fec
Shapiro-Wilk W	0,7173	0,6623
p (normal)	4,99E-16	1,71E-17
Anderson-Darling A	19,81	23,89
p (normal)	2,51E-46	4,96E-55

Tabla 14: Test aplicado a parámetros físico- químicos

Test	Ca	NH4+	CaCO3	Alkalinity	UNT	DBO	DQO	TS	Na	F-	P	T°C	EC	O2	%_SAT_O2
Shapiro-Wilk W	0,8135	0,671	0,8682	0,737	0,4687	0,9304	0,9212	0,2841	0,6834	0,2602	0,7801	0,9153	0,5299	0,9522	0,8508
p (normal)	7,09E-13	2,84E-17	1,56E-10	1,87E-15	1,52E-21	6,37E-07	1,48E-07	1,86E-24	5,91E-17	8,7E-25	4,4E-14	6,17E-08	2,10E-20	3,35E-05	2,43E-11
Anderson-Darling A	9,832	14,43	4,606	15	26,86	3,611	3,309	41,58	12,65	43,83	13,75	4,988	20,37	2,333	8,69
p (normal)	7,17E-24	2,06E-34	1,82E-11	1,04E-35	3,33E-61	4,69E-09	2,56E-08	1,18E-89	2,22E-30	1,1E-93	7,2E-33	2,17E-12	1,59E-47	6,21E-06	3,36E-21

Tabla 15: Test aplicado a metales pesados

Test	Fe	Cu	Al
Shapiro-Wilk W	0,2642	0,2574	0,3774
p (normal)	9,81E-25	7,92E-25	4,55E-23
Anderson-Darling A	42,54	47,52	40,3
p (normal)	2,14E-91	3,84E-100	2,48E-87

Tabla 16: Test aplicado a nitratos, cadmio, magnesio, potasio, plomo, cloruros e individuos que demostró que los datos no se extraen de una población normal.

Test	NO3-	Cd	Mg	K	Pb	CL-	Individuos
Shapiro-Wilk W	<u>No normality</u>						
p (normal)							
Anderson-Darling A							
p (normal)							

Tabla 17: Test aplicado al ph, el único parámetro que mostró un comportamiento normal para todos los muestreos.

Test	pH
Shapiro-Wilk W	0,9895
p (normal)	0,2947
Anderson-Darling A	0,3408
p (normal)	0,4918

Anexo 8: Cargas de rotación varimax

Biotic_Index_Class	Sample_Points	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
1	PIN5.2.3	0,57464	-0,26268	-0,77181	0,023138
2	MAZ1.3.2	0,87099	-0,28055	-0,36359	-0,048687
2	COL1.3.2	0,444	-0,23236	-0,86306	0,012474
2	PIN1.5.2	0,89795	-0,2241	-0,37458	-0,024827
2	P1.4.2	0,13464	-0,94945	-0,17786	-0,14502
2	PIN1.3.2	0,91344	-0,14361	-0,38062	-0,0098242
2	MAZ4.3.2	0,91442	-0,13668	-0,38087	-0,0074076
2	MAZ4.5.2	0,90892	-0,17191	-0,37891	-0,014801
2	COL1.6.2	0,60725	-0,70277	-0,25733	-0,1593
2	MAZ1.4.2	0,89429	-0,24065	-0,37388	-0,039429

2	MAZ4.4.2	0,91445	-0,13636	-0,38093	-0,0074577
2	PIN1.4.2	0,85928	-0,18182	-0,47763	-0,011622
2	P1.3.2	0,6451	-0,69199	-0,27562	-0,14872
2	SB4.1.2	0,44741	-0,85073	-0,1918	0,053219
2	MAG1.2.2	0,43725	-0,25124	-0,84264	-0,14533
2	PIN5.3.2	0,91442	-0,13649	-0,38093	-0,0074613
2	N1.3.2	0,56965	-0,33481	-0,74876	-0,029389
2	COL1.5.2	0,51795	-0,39489	-0,75278	0,029257
2	COL1.7.2	0,52572	-0,32084	-0,78675	0,017648
2	PIN5.5.2	0,44781	-0,10529	-0,8878	0,0010487
2	SB4.6.2	0,46232	-0,85253	-0,19844	-0,073376
2	PIN5.1.2	0,91447	-0,13616	-0,38094	-0,0066599
2	PIN1.7.2	0,90741	-0,18123	-0,37839	-0,017947
2	PIN5.4.2	0,91447	-0,13606	-0,38095	-0,0071713
2	PIN1.1.2	0,91448	-0,13601	-0,38096	-0,0071118
2	MAZ4.2.2	0,91459	-0,13514	-0,38099	-0,0077836
2	PIN5.4.3	0,60199	-0,67359	-0,4016	-0,086075
2	PIN5.3.3	0,18988	-0,79528	-0,44053	-0,27413
2	PIN4.1.3	0,45227	-0,15136	-0,87863	0,013772
2	SB11.4.3	0,28169	-0,63722	-0,70875	-0,011905
2	N2.4.3	0,36124	-0,21566	-0,90043	-0,10855
2	COL3.4.3	0,36546	-0,18965	-0,91089	0,0039237
2	MAZ3.1.3	0,31622	-0,57964	-0,74352	0,078082
2	P1.1.3	-0,039703	-0,99515	-0,012448	0,0047052
3	COL1.2.2	0,44644	-0,2213	-0,86582	0,025754
3	SB4.5.2	0,0081104	-0,98225	-0,0093282	0,071706
3	B13.2.2	0,91414	-0,13679	-0,38105	-0,017013
3	PIN5.2.2	0,91447	-0,13601	-0,38097	-0,0075679
3	COL3.4.2	0,91482	-0,13343	-0,38107	-0,0067172
3	SB11.4.2	0,86013	-0,25434	-0,36337	-0,25043
3	SB4.3.2	0,16559	-0,93714	-0,17325	0,075791
3	PIN5.7.2	0,56243	-0,11491	-0,81872	0,00088065
3	MAG1.5.2	0,90674	-0,17613	-0,37892	-0,055445
3	PIN1.2.2	0,91453	-0,13555	-0,38099	-0,0076028
3	COL3.2.2	0,91486	-0,13304	-0,38111	-0,0067339
3	B13.3.2	0,9142	-0,13665	-0,38103	-0,018981
3	MAZ1.5.2	0,42669	-0,12434	-0,89566	-0,01129
3	MAZ1.2.2	0,90599	-0,18535	-0,37848	-0,035495
3	SB11.6.2	0,45685	-0,15643	-0,87512	-0,024709
3	MAG2.2.2	0,80149	-0,14148	-0,57995	-0,034941
3	SB4.4.2	0,41093	-0,87989	-0,17637	0,086474
3	SB11.3.2	0,91458	-0,13501	-0,38103	-0,0086266
3	MAG1.1.2	0,90099	-0,19391	-0,37735	-0,088853
3	MAG2.4.2	0,91436	-0,13552	-0,38109	-0,017428
3	B2.3.2	0,91312	-0,14366	-0,38019	-0,0069182

3	P1.1.2	0,47064	-0,7788	-0,35657	0,075417
3	COL1.2.3	-0,054158	-0,89434	-0,0070649	0,1387
3	N1.4.3	0,37067	-0,28009	-0,88354	0,019328
3	PB2.4.3	0,36283	-0,20118	-0,90888	-0,033208
3	PB3.4.3	0,093188	-0,91438	-0,07845	-0,25715
3	PIN4.3.3	0,57646	-0,42666	-0,69447	-0,0046361
3	SB11.1.3	0,38214	-0,14061	-0,91313	0,010023
3	PB3.3.3	0,28428	-0,29834	-0,67017	-0,61441
3	PIN1.4.3	0,37519	-0,11367	-0,91979	-0,0011557
3	SB4.2.3	0,075678	-0,97556	-0,1747	-0,016038
3	P1.2.3	0,8182	-0,26672	-0,50855	0,020235
3	MAZ4.3.3	0,29475	-0,92125	0,014191	0,064727
3	SB11.3.3	0,35695	-0,26384	-0,89563	-0,015512
3	N2.3.3	0,37318	-0,12595	-0,91881	-0,021158
3	P1.3.3	0,055585	-0,90237	-0,32109	-0,14348
3	SB4.3.3	-0,026209	-0,73923	-0,11306	-0,65247
3	MAZ1.2.3	0,72737	-0,56102	-0,38666	0,028743
3	MAZ4.2.3	0,82107	-0,4259	-0,37471	0,027216
3	MAG2.4.3	0,53678	-0,11593	-0,83528	-0,024203
3	COL1.3.3	0,29727	-0,56651	-0,76293	0,0075179
3	COL3.3.3	0,36861	-0,14598	-0,91724	-0,035602
3	MAZ3.2.3	0,47016	-0,16794	-0,8662	0,015618
3	COL1.1.3	0,57782	-0,39793	-0,70883	-0,050377
3	PIN5.1.3	0,63195	-0,11916	-0,76569	0,0039322
3	MAG2.2.3	0,7915	-0,15052	-0,59225	0,0032729
3	N3.4.3	0,40257	-0,096695	-0,91012	0,0069053
3	MAZ1.4.3	0,31343	-0,56211	-0,7324	0,033399
3	MAG1.2.3	0,77675	-0,13161	-0,61572	-0,013788
3	MAZ3.3.3	0,31999	-0,55179	-0,75732	0,050341
3	PIN4.2.3	0,81371	-0,4409	-0,37133	0,045798
3	N2.1.3	0,38269	-0,19674	-0,90115	0,023793
3	MAZ3.4.3	0,5812	-0,60208	-0,53906	0,042061
3	MAZ1.3.3	0,26224	-0,69095	-0,61962	-0,25343
3	SB4.4.3	0,25064	-0,9086	-0,2464	0,071725
3	PB2.3.3	0,37378	-0,10688	-0,92096	-0,022922
3	N2.2.3	0,089009	-0,95552	-0,16639	-0,09953
4	B8.2.2	0,91125	-0,15061	-0,37981	-0,032615
4	SB6.2.2	0,90868	-0,17482	-0,37896	-0,0078418
4	SB11.2.2	0,84375	-0,20626	-0,49511	-0,01646
4	PIN4.1.2	0,88847	-0,26565	-0,37194	-0,018931
4	COL3.3.2	0,91483	-0,13329	-0,3811	-0,0070582
4	B8.1.2	0,91446	-0,13557	-0,38104	-0,012871
4	MAZ4.1.2	0,91465	-0,13468	-0,38101	-0,0073187
4	MAG2.3.2	0,91423	-0,13589	-0,38109	-0,020857
4	MAG1.3.2	0,4466	-0,20956	-0,85508	-0,15575

4	MAZ1.1.2	0,79899	-0,21507	-0,5599	-0,029073
4	B2.1.2	0,90932	-0,15582	-0,37845	-0,010206
4	B8.4.2	0,91469	-0,13434	-0,38104	-0,0073276
4	N1.1.2	0,84932	-0,24918	-0,46239	-0,030517
4	B13.1.2	0,9147	-0,13436	-0,38104	-0,006821
4	MAG1.6.2	0,45686	-0,19723	-0,86628	0,0071466
4	B13.4.2	0,73166	-0,16304	-0,65935	-0,05627
4	COL3.1.2	0,91489	-0,13287	-0,38112	-0,005782
4	B13.6.2	0,914	-0,13687	-0,38107	-0,024961
4	COL3.7.2	0,77751	-0,12692	-0,61587	-0,0011139
4	MAZ1.7.2	0,87534	-0,30303	-0,36731	-0,071689
4	SB11.1.2	0,91461	-0,135	-0,38101	-0,007138
4	MAG2.3.3	0,38543	-0,11362	-0,90988	-0,1021
4	MAZ4.1.3	0,28242	-0,70788	-0,61742	0,099021
4	SB11.2.3	0,8636	-0,19495	-0,46456	-0,0012702
4	MAG1.3.3	0,56223	-0,1159	-0,81867	-0,003774
4	MAZ4.4.3	0,26341	-0,65561	-0,68736	0,052821
4	PIN4.4.3	0,42007	-0,5091	-0,73842	0,023348
4	N1.3.3	0,354	-0,23221	-0,86464	-0,26795
4	MAG1.1.3	0,42693	-0,18058	-0,86241	-0,00038708
4	B8.4.3	0,45386	-0,10157	-0,88515	0,0051937
4	B2.4.3	0,45477	-0,1765	-0,85866	-0,14295
4	PB2.2.3	0,80289	-0,19882	-0,56151	-0,0033381
4	B2.2.3	0,56226	-0,11583	-0,81859	-0,0053247
4	B2.3.3	0,39391	-0,09721	-0,91383	0,0046427
4	MAG1.4.3	0,38893	-0,11209	-0,90945	-0,093951
4	PIN1.2.3	0,91468	-0,13454	-0,381	-0,004468
4	B8.3.3	0,38445	-0,097796	-0,91781	-0,0059079
4	MAG2.1.3	0,91482	-0,13356	-0,38104	-0,0038652
4	MAZ1.1.3	0,44546	-0,55684	-0,68846	0,082248
4	N1.2.3	0,58849	-0,65143	-0,44285	-0,067859
4	N1.1.3	0,85145	-0,24295	-0,46259	0,016412
4	B2.1.3	0,85487	-0,13359	-0,50128	-0,0018814
4	COL3.2.3	0,47054	-0,14461	-0,8703	0,0029834
4	PB3.2.3	0,68614	-0,5174	-0,49088	-0,0048918
5	B8.3.2	0,91276	-0,14081	-0,38089	-0,043986
5	B2.2.2	0,91471	-0,13394	-0,3811	-0,0095391
5	B8.6.2	0,91488	-0,13311	-0,38106	-0,004147
5	B8.7.2	0,6575	-0,12011	-0,74374	-0,0023243
5	MAG1.4.2	0,76168	-0,14289	-0,63119	-0,030916
5	B2.5.2	0,53648	-0,11572	-0,83514	-0,035047
5	SB11.5.2	0,89885	-0,21759	-0,37623	-0,042186
5	PB2.3.2	0,9105	-0,16063	-0,37992	-0,024916
5	PB2.4.2	0,48009	-0,20089	-0,85104	-0,058034
5	MAG2.6.2	0,91455	-0,13452	-0,38112	-0,014358

5	PB2.1.2	0,91018	-0,16168	-0,37988	-0,028727
5	B8.5.2	0,49679	-0,1057	-0,8613	0,00029896
5	B13.5.2	0,66415	-0,15865	-0,72789	-0,059498
5	B13.7.2	0,6571	-0,12211	-0,74371	-0,011414
5	MAG2.1.2	0,91488	-0,1329	-0,38111	-0,0044181
5	COL3.1.3	0,86121	-0,13201	-0,49071	-0,0017049
5	B8.1.3	0,85925	-0,134	-0,49363	-0,0013457
5	B8.2.3	0,58684	-0,11356	-0,80163	0,0027446
5	PB3.1.3	0,42011	-0,24277	-0,86963	0,024826
5	PIN1.3.3	0,47082	-0,16276	-0,86518	-0,045917
5	PB2.1.3	0,41418	-0,17943	-0,89153	0,020777
5	N3.2.3	-0,013963	-0,91817	-0,019535	0,084988