



Experiencias en el manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo, Ecuador

EDITORES:

Víctor Hugo Barrera • Jeffrey Alwang • Elena Cruz

Quito-Ecuador

Noviembre, 2010





GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Econ. Rafael Correa Delgado
PRESIDENTE CONSTITUCIONAL

Dr. Ramón Espinel
MINISTRO DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA

Dr. Julio César Delgado Arce
DIRECTOR GENERAL DEL INIAP



Es una institución ecuatoriana encargada de generar, validar y transferir tecnologías apropiadas, orientadas al incremento de la producción y la productividad de los sistemas de pequeños, medianos y grandes productores. Propicia el uso adecuado de los recursos naturales: suelos, agua y biodiversidad, así como la preservación del ambiente, a fin de contribuir al desarrollo sostenible del sector agropecuario.



Es un Programa de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos, responsable de apoyar la investigación científica en el manejo integrado de los recursos naturales a nivel mundial, en zonas que están en serios procesos de degradación ambiental.

El SANREM CRSP en Ecuador -Associate (LWA) Cooperative Agreement Number EPP-A-00-04-00013-00- contribuye al manejo de los recursos naturales de la subcuenca del río Chimbo.



Es una institución responsable de fortalecer el sistema nacional de ciencia y tecnología del Ecuador, mediante la creación, conservación y manejo del conocimiento, técnicas y tecnologías para el desarrollo de capacidades y competencias humanas.

Revisión de Texto

Comité de Publicaciones Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

PRIMERA EDICION

Documento Técnico No. 2

Fotografías

Técnicos del INIAP

**Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
Estación Experimental Santa Catalina**

Panamericana Sur km. 1

Casilla: 17-10-340

Quito-Ecuador

Tel: 593-2-300-6140

E-mail: vbarrera70@hotmail.com

Web: www.iniap-ecuador.gov.ec

SANREM CRSP**Virginia Polytechnic Institute and State University**

Office of International Research and Education

526 Prices Fork Road (0378)

Blacksburg, VA 24061

Tel: 1-540-231-6338

Fax: 1-540-231-2439

E-mail: sanrem@vt.edu

Esta obra debe citarse así:

Barrera, V.; Alwang, J. y Cruz, E. 2010 (Eds.). *Experiencias en el manejo integrado de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo, Ecuador*. INIAP-SANREM CRSP-SENACYT. Editorial ABYA-YALA. Quito, Ecuador. 316 pp.

Diseño, diagramación e impresión

Editorial Abya Yala, Telfs: 2 506-251/2 506-267

Noviembre, 2010

Quito-Ecuador

El contenido de este documento técnico es de responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de las instituciones o personalidades que han colaborado en su formulación y edición.

© Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2010

Primera edición, noviembre 2010

Número de derecho de autor: 034676

ISBN: 978-9978-92-943-8

Índice

- 7 ••••• Presentación
- 9 ••••• Agradecimientos
- 11 ••••• Introduccion
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz*)
- 15 ••••• Caracterización de la subcuenca del río Chimbo-Ecuador:
microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(*V. Barrera, M. González, L. Escudero, C. Monar*)
- 25 ••••• Introduccion
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz*)
- 39 ••••• Caracterización de la subcuenca del río Chimbo-Ecuador:
microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(*V. Barrera, M. González, L. Escudero, C. Monar*)
- 69 ••••• Enfoques y Modelo en la Gestión de la Subcuenca del río
Chimbo: microcuencas de los ríos Alumbre e Illangama
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz*)
- 89 ••••• Estrategias de medios de vida que diferencian a los grupos
de hogares de la subcuenca del río Chimbo, Ecuador
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Núñez*)
- 113 ••••• Relaciones de género en las estrategias de vida y toma de
decisiones en la microcuenca del río Illangama
(*E. Cruz, F.M. Cárdenas, M. González*)
- 133 ••••• Viabilidad socio-económica y ambiental del sistema papa-
leche en la microcuenca del río Illangama-Ecuador
(*V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz*)

- 173 • Análisis de la cadena de valor de la leche y sus derivados en la microcuenca del río Illangama
(E. Cruz, M. Céleri, V. Barrera)
- 203 • Cambios en políticas y su impacto en el nivel de bienestar de los hogares rurales de la subcuenca del río Chimbo
(R. Andrade, J. Alwang, V. Barrera)
- 225 • Análisis de la institucionalidad para el uso y manejo del agua en la subcuenca del río Chimbo
(V. Barrera, R. Anderson, E. Cruz, L. Escudero, J. del Pozo, H. Borja)
- 241 • Calidad del agua de los ríos Illangama y Alumbre establecida a través de bioindicadores acuáticos e indicadores físico-químicos
(J. Calles, W. Flowers, E. Cruz, L. Escudero, C. Monar)
- 269 • Biodiversidad arbórea y arbustiva en la subcuenca del río Chimbo: microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre
(E. Cruz, F. Chamorro, L. Escudero, C. Monar)
- 287 • Zonificación agroecológica de las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre: contexto sectores dispersos
(A. Cárdenas, C. Montúfar)
- 303 • Evaluación de la pérdida productiva y económica por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar-Ecuador
(F. Valverde, E. Cruz, Y. Cartagena, E. Chela, C. Monar)
- 309 • Experiencias de la implementación de las mejores prácticas de manejo de recursos naturales en la subcuenca del río Chimbo
(V. Barrera, E. Cruz, J. Alwang, L. Escudero, C. Monar, H. Fierro, N. Monar)
- 317 • Lecciones aprendidas y recomendaciones
(V. Barrera, J. Alwang, E. Cruz)



ESTUDIOS
BIO-FÍSICOS

Calidad del agua de los ríos Illangama y Alumbre establecida a través de bioindicadores acuáticos e indicadores físico-químicos

RESUMEN

De acuerdo a la Nueva Constituyente Ecuatoriana, el agua se constituye en un patrimonio nacional estratégico de uso público y un derecho fundamental para todos los ciudadanos para disponerla en forma segura y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas. Sin embargo, como producto de su uso para las diversas actividades humanas y el aumento de la población, cada día existe una mayor presión sobre este recurso y un incremento de la contaminación de las fuentes de agua. En los Andes ecuatorianos estas presiones se reflejan en el aumento cada día de conflictos por su uso y contaminación. En las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre las actividades humanas, tanto agrícolas como ganaderas, han provocado el deterioro de los páramos y la deforestación de los bosques cuya consecuencia se refleja en la cantidad y calidad del agua. A partir del año 2006 se ha efectuado un monitoreo de los cuerpos de agua utilizando principalmente macroinvertebrados como una herramienta para la evaluación de la calidad del agua. Los resultados obtenidos demuestran que las condiciones biológicas en algunos sectores de los ríos aún se mantienen en buen estado a pesar de las diversas presiones que se han identificado. Los índices BMWP/Col y ABI y los parámetros físico-químicos señalan que la calidad del agua es buena. En cambio, los análisis microbiológicos evidencian altos niveles de contaminación con heces fecales y/o animales, que sobrepasan los valores máximos permisibles. Los resultados alcanzados conducen a la necesidad de implementar alternativas amigables con el ambiente que promuevan el uso sostenible, la conservación y el manejo del recurso agua a nivel de las microcuencas.

Palabras clave: coliformes fecales; coliformes totales; concentración de fosfatos y nitratos; sólidos totales; índices BMWP/Col y ABI y macroinvertebrados.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Nueva Constituyente Ecuatoriana, el agua se constituye en un patrimonio nacional estratégico de uso público y un derecho fundamental para todos los ciudadanos para disponerla en forma segura y en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas (Constitución de la República del Ecuador, 2008). Sin embargo, como producto de su uso para las diversas actividades humanas y el aumento de la población, cada día existe una mayor presión sobre este recurso y un incremento de la contaminación de las fuentes de agua (Jacobsen, 1998). En los Andes ecuatorianos estas presiones se reflejan en el aumento cada día de conflictos por su uso y por la contaminación del agua. En las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre las actividades humanas, tanto agrícolas como ganaderas, han provocado el deterioro de los páramos y la deforestación de los bosques cuya consecuencia se refleja en la disminución de la cantidad y calidad del agua (Calles, 2007).

La calidad del agua es un tema de importancia en la gestión de los recursos hídricos. Cada día, los niveles de contaminación de los cuerpos de agua superficiales son mayores y se necesita contar con información que sirva para establecer medidas de protección o recuperación de las zonas abastecedoras de agua y de las cuencas donde se desarrollan las actividades agrícolas y ganaderas. Tradicionalmente, la evaluación de la calidad del agua se ha efectuado considerando únicamente parámetros físico-químicos pero en los últimos años se está incluyendo en esta evaluación el uso de indicadores biológicos (Roldán, 2003).

Los indicadores biológicos o bioindicadores se denominan a aquellos grupos biológicos tanto de plantas como de animales, presentes en ecosistemas terrestres o acuáticos, cuyas poblaciones pueden ser afectadas por cambios en la estructura del hábitat o que son susceptibles a contaminantes o cambios en las poblaciones de su fuente de alimentación (Armitage *et al.*, 1983). Su uso como bioindicadores se basa en la susceptibilidad de éstas especies para responder a diferentes cambios ambientales. Los indicadores pueden ser plantas, animales vertebrados, invertebrados, hongos o bacterias; es decir, cualquier grupo biológico potencialmente puede ser utilizado como bioindicador. Sin embargo, los grupos más comúnmente utilizados

son las plantas, vertebrados e insectos (Roldán, 2003). De estos grupos se puede estimar su diversidad y se puede obtener información confiable sobre el estado de conservación de un hábitat.

En el caso de los ecosistemas acuáticos como son ríos, lagos, estuarios y humedales, tradicionalmente se ha usado a las plantas acuáticas, peces, macroinvertebrados y algas como indicadores de la calidad del agua de estos ambientes (Carrera y Fierro, 2001). El uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua ha sido extendido en varios lugares del mundo. Su utilización se basa en la capacidad de estos organismos de responder a cambios en su hábitat, lo cual se reflejará en las estructuras de las comunidades de estos organismos (Roldán, 1999).

Basados en estudios sobre biodiversidad (Calles y Salvador, 2006) y de la propuesta de bioindicadores acuáticos (Calles, 2007) para las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, se inició un monitoreo de la calidad del agua considerando bioindicadores acuáticos (macroinvertebrados), indicadores físico-químicos y microbiológicos de estas microcuencas. El monitoreo de la calidad del agua se realizó partiendo del hecho que en las microcuencas existen problemas de contaminación del agua, debido a cambios en el uso del suelo, la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería y los asentamientos humanos.

El objetivo general de este estudio es *contribuir al mejoramiento y conservación del capital natural de las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre*, que se sustenta en el cumplimiento de tres objetivos específicos: 1) realizar un análisis multitemporal de la calidad de agua en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre; 2) determinar la calidad del agua en las microcuencas utilizando índices de calidad de agua basados en bioindicadores; y 3) establecer la interrelación existente entre el uso del suelo, sistemas de producción y su influencia en la calidad de agua en las microcuencas.

La hipótesis planteada en este estudio es que la calidad de agua dentro de las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, de acuerdo a la presencia de especies de macroinvertebrados, indicadores físico-químicos y microbiológicos, es apta para las actividades productivas y de consumo humano.

tes de la microcuenca, ya que al juntarse aguas abajo con el río Culebrillas darán origen al río Illangama que proporciona el nombre a esta microcuenca. En la microcuenca del Alumbre los sitios de muestreo se ubican entre los 2 441 y 1 942 m de altitud: *Tiquibuzo* (2 441 m); *Pacay* (2 267 m) y *Quebrada Panecillo* (1 942 m). Desde mediados del año 2006 se han efectuado visitas periódicas para realizar el monitoreo de los cuerpos de agua utilizando principalmente macroinvertebrados como una herramienta para la evaluación de la calidad del agua.

2.2. MÉTODOS

Para la identificación de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores se efectuaron un total de seis visitas de campo en cada microcuenca de estudio entre noviembre de 2006 y julio de 2008. Para la selección de los sitios de muestreo se ubicaron sitios de referencia en los cuales los impactos de las actividades antrópicas fueran menores y sitios ubicados en zonas de producción agrícola y ganadera, además se consideró la accesibilidad a los puntos de monitoreo. En la microcuenca del río Illangama, el acceso a los diferentes puntos fue más fácil, mientras que en la microcuenca del río Alumbre no se pudo acceder a todos los sitios deseables, por esta razón el número de sitios muestreados en ambas microcuencas es diferente. En el caso de la evaluación de los indicadores físico-químicos y microbiológicos (coliformes fecales y totales) se realizaron en cuatro sitios en la microcuenca del río Illangama y tres en la microcuenca del río Alumbre. Para la caracterización físico-química, el muestreo se viene desarrollando desde inicios del año 2008.

2.2.1. Macroinvertebrados

Para este estudio se realizó la colección de las muestras de macroinvertebrados utilizando una red tipo D-net. En cada sitio se efectuó un muestreo cualitativo multi-hábitat para cubrir las diferentes zonas de los ríos estudiados considerando los rápidos y lentos que se forman al interior de los mismos. Los especímenes colectados fueron almacenados en frascos plásticos en alcohol al 75% y en el laboratorio fueron contados e identificados utilizando las guías de Roldán (1996). Los especímenes fueron identificados a nivel de familia en la mayoría de los casos y de géneros cuando fue posible. El trabajo de identificación y colección en algunas fechas se realizó en

coordinación con el Dr. Wills Flowers de la Universidad de Florida A&M, colaborador del SANREM CRSP.

Para la evaluación de la calidad de agua utilizando los macroinvertebrados se aplicaron los índices BMWP/Col *Biological Monitoring Working Party* (Roldán, 2003) y el *Andean Biotic Index* (2007) desarrollado para ríos andinos sobre los 2 000 m por la Universidad de Barcelona. Ambos índices consideran el grado de sensibilidad de los organismos a los contaminantes. Estos índices utilizan una escala entre 1 y 10, donde las familias de macroinvertebrados más sensibles a la contaminación reciben valores de 10 y los más resistentes valores de 1 (Anexo 1). Cada familia de macroinvertebrados recibe un valor y posteriormente se suma el valor total de cada sitio y se determina la calidad del agua. Los índices se aplicaron considerando el total de familias encontradas en cada sitio. Los valores de referencia para el índice ABI se calcularon de acuerdo a lo propuesto por los autores (Anexo 2).

2.2.2 Parámetros físico-químicos

En los siete sitios de muestreo identificados en las microcuencas, se evaluaron el nivel de fosfatos, nitratos, sólidos totales, temperatura, potencial de Hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE). El muestreo se realizó cada 15 días tomándose de la parte media del cuerpo de agua una muestra de un galón de agua y enviándose inmediatamente, en condiciones de refrigeración, al laboratorio de Aguas y Microbiología de la Escuela Politécnica Nacional. Indicadores como temperatura, pH y CE fueron evaluados en el sitio de muestreo.

2.2.3. Microbiología

La presencia y cuantificación de las unidades formadoras de colonias de *Escherichia coli* y otras coliformes en 100 cc de agua, son buenos indicadores de calidad de agua, especialmente cuando la misma va a ser utilizada para consumo humano o animal. El grupo de bacterias coliformes indica la presencia de heces fecales humanas y animales en los cuerpos de agua y su presencia indica indirectamente la presencia de otros microorganismos patógenos, muchos de los cuales son los causantes de enfermedades diarreicas en las zonas rurales. Para evaluar la cantidad de coliformes totales y fecales presentes en el agua de los ríos en los sitios de muestreo se utilizaron placas

Petrifilms 3M. En cada sitio se tomaron dos muestras y se colocó 1 cc de agua en las placas, al cabo de 72 horas de promedio a temperatura ambiente de 25°C se obtuvieron los resultados. Las colonias de coliformes fecales (*E. coli*) toman una coloración azul, mientras que el resto de coliformes toman una coloración rosada intensa o púrpura. Se contabilizaron el número de puntos (colonias) y se multiplicó por 100 para obtener el valor de UFC/100 ml que es el valor de referencia utilizado en la normativa ambiental ecuatoriana.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MICROCUENCA DEL RÍO ILLANGAMA

La microcuenca del río Illangama en los sitios estudiados presenta condiciones variables que se reflejan en los valores obtenidos para los diferentes parámetros examinados sobre macroinvertebrados, físico-química y microbiología.

3.1.1. Macroinvertebrados

En los seis sitios de monitoreo se colectó un total de 5 353 individuos correspondientes a 26 familias de macroinvertebrados diferentes. El grupo más abundante fue los Amphipoda (1 853 individuos), seguido por los Díptera (1 345), luego los Ephemeroptera (1 256) y Trichoptera (467).

La abundancia de los macroinvertebrados varió entre los diferentes sitios, siendo el sitio río Culebrillas 1 donde se encontró un mayor número de individuos y el sitio Quebrada Arrayacu un menor número de individuos. Es importante resaltar la presencia a esta altura de la familia Gripopterygidae (Plecoptera) que es un indicador de aguas de muy buena calidad y que se encuentra en estas zonas andinas.

3.1.2. Índices de calidad del agua

Una vez identificadas las familias de macroinvertebrados colectados se aplicaron dos índices de calidad del agua, el BMWP/Col y el ABI. Los resultados de ambos índices indican que la calidad del agua en la zona varía entre “Dudosa” y “Buena” en el caso del índice BMWP/Col y de “Buena” y “Muy buena” en el caso del índice ABI (Cuadro 1). Estas diferencias al apli-

car ambos índices se deben a que el índice BMWP/Col no considera en sus tablas de valoración a familias como Gripopterygidae y Limnephilidae que son propias de las zonas andinas, mientras que el índice ABI por haber sido desarrollado para zonas andinas se ajusta mejor a las condiciones presentes en los ríos estudiados. En el Anexo 2 se muestran los valores de referencia para la interpretación de la calidad del agua según estos índices.

Cuadro 1.

Calidad del agua en la microcuenca del río Illangama utilizando los índices BMWP/Col y ABI. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitio	BMPW/Col*	Calidad	ABI*	Calidad
Culebrillas 1	86	Aceptable	78	Muy Buena
Culebrillas 2	98	Aceptable	100	Muy Buena
Páramo Arenales 1	44	Dudosa	54	Bueno
Páramo Arenales 2	58	Dudosa	65	Bueno
Puente Quindigua	101	Buena	89	Muy Buena
Quebrada Arrayacu	77	Aceptable	77	Muy Buena

Fuente: Calles, 2008.

* Valores de referencia en el Anexo 2.

Basados en los índices de calidad de agua aplicados (BMWP/Col y ABI) se puede observar que la calidad del agua en los diferentes ríos es aún buena en términos generales. Esto es un buen indicador de que a pesar de los cambios en el uso del suelo, la contaminación orgánica y el aumento de sólidos disueltos, los procesos biológicos aún se mantienen en buen estado que permiten el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos. El uso de estos organismos en el monitoreo de la calidad del agua demuestra un buen potencial para su uso en zonas como las estudiadas. Adicionalmente, en el sitio Culebrillas 1, se observó la presencia de truchas (*Oncorhynchus mykiss*), una especie introducida que se encuentra adaptada a las condiciones de este río y que necesita aguas de buena calidad para su desarrollo. Este es un indicador más de las buenas condiciones en las que se encuentra el agua en este sitio.

3.1.3. Parámetros físico-químicos

Como se puede observar en el Cuadro 2, las mediciones en campo de los parámetros físico-químicos alcanzan valores que se encuentran en los límites permisibles de acuerdo a la legislación ecuatoriana. La cantidad de sólidos totales se incrementa desde el sitio de Culebrillas (3 495 m) hasta Quindigua (2 886 m) y Paltabamba (2 723 m), esto posiblemente se deba a los procesos de erosión eólica que ocurren en las zonas altas en el páramo de arenales y también porque los ríos recorren zonas de pastizales y cultivos de diversos tipos (Calles, 2008). En relación a los niveles de conductividad eléctrica encontrados (Cuadro 2), que se reportan como similares en los sitios evaluados, estos pueden deberse a las formaciones geológicas naturales del suelo presente en la microcuenca del río Illangama.

Cuadro 2.
Indicadores físico-químicos de calidad de agua en la microcuenca del río Illangama. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitios de muestreo	Fosfatos (mg PO ₄ ³ /l)	Nitratos (mg NO ₃ ³ /l)	Sólidos totales (mg /l)	Temperatura del agua (°C)	pH	CE
Culebrillas (3 495 m)	0,33	4,51	157,38 b	9,72 c	8,39	165,27
Quindigua (2 930 m)	0,28	4,46	154,81 b	12,86 a	8,12	190,19
Quindigua (2 886 m)	0,34	4,13	307,69 a	11,13 b	8,22	168,00
Paltabamba (2 723 m)	0,41	4,21	307,50 a	13,18 a	8,13	177,27
\bar{X}_g	0,34	4,32	231,84	11,73	8,21	175,31
p	0,6689ns	0,7814ns	0,0060**	0,0001**	0,8206ns	0,9462ns

Fuente: Cruz, 2009; Calles, 2008.

Significación estadística: ns=no significativa, **=altamente significativa

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

Al comparar los parámetros físico-químicos entre épocas no existen diferencias estadísticas, es decir los niveles de contaminación son similares en las dos épocas.

Con relación a la concentración de sólidos totales, los niveles de sedimentación son similares en las dos épocas, lo que significa que el proceso de erosión es permanente tanto en la época seca (erosión eólica) como en la época lluviosa (erosión hídrica).

3.1.4. Indicadores microbiológicos

Los resultados de las muestras colectadas en los diferentes sitios de la microcuenca permiten señalar que la presencia de coliformes fecales es un problema para la calidad del agua de los ríos de la zona. En el 100% de las muestras se detectó presencia de coliformes fecales (*E. coli*) y otro tipo de coliformes. El valor más alto de coliformes fecales se detectó en Paltabamba (1 244 UFC/100 cc.) y está relacionado principalmente con la presencia de las aguas servidas de las poblaciones de la zona que se vierten en esta quebrada. En múltiples ocasiones el equipo de investigación del programa pudo observar que los pobladores de la zona utilizan el agua de esta quebrada para cocinar o la beben directamente.

Cuadro 3.
Indicadores microbiológicos de calidad de agua en la microcuenca del río Illangama. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitios de muestreo	UFC <i>E. coli</i> /100cc	UFC colif. totales/ 100cc	Para potabilización ¹		Para uso pecuario	
			Coliformes fecales máx. permisible	Coliformes totales máx. permisible	Coliformes fecales máx. permisible	Coliformes totales máx. permisible
Culebrillas (3 495m)	550 c	4 243 b	600	3 000	1 000	<5 000
Quindigua (2 930m)	1 075 ab	6 793 a	600	3 000	1 000	<5 000
Quindigua (2 886m)	600 bc	4 462 b	600	3 000	1 000	<5 000
Paltabamba (2 723m)	1 244 a	6 512 a	600	3 000	1 000	<5 000
\bar{X}_t	867	5 503				
p	0,0136*	0,0146*				

Fuente: Cruz, 2009; Calles, 2008.

¹ De acuerdo a la Ley Secundaria de Ambiente, Ministerio de Ambiente de la República del Ecuador.

Significación estadística: * = significativa

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

Realizando una comparación de los datos del estudio con los que reporta la legislación ecuatoriana, en relación a los indicadores microbiológicos para evaluar calidad de agua, se puede señalar que solamente los sitios de Culebrillas (3 495 m) y Quindigua (2 886 m), son considerados aptos para uso pecuario. Estos mismos sitios, a su vez, reportan que el agua es apta para consumo humano luego de un proceso de potabilización (Cuadro 3). La presencia de coliformes fécales en los ríos de la zona es una señal de contaminación de los cuerpos hídricos por malas prácticas agropecuarias y por ausencia de sistemas de saneamiento de aguas servidas. Afortunadamente, los valores registrados no alcanzan valores muy altos y los ríos pueden aún absorber el nivel de contaminación que se presenta. Es importante recalcar que la contaminación de los ríos con coliformes en las zonas de origen de los mismos pone en riesgo los sistemas de abastecimiento de agua de los pobladores ya que en la mayoría de los casos las comunidades toman el agua directamente de estas fuentes para su consumo en los hogares, tal como lo demuestra el estudio de Calles (2008).

En cuanto a la presencia de coliformes fécales, los resultados señalan que existen diferencias estadísticas entre épocas, registrándose mayor presencia en la época seca y esto se relaciona con la disminución de los caudales en esta época. Considerando el número de UFC de coliformes totales no existen diferencias estadísticas entre las dos épocas.

3.2. MICROCUENCA DEL RÍO ALUMBRE

Como acontece para la microcuenca del río Illangama, en la microcuenca del río Alumbre los sitios estudiados presentan condiciones variables que se reflejan en los valores obtenidos para los diferentes parámetros evaluados.

3.2.1. Macroinvertebrados

En los tres sitios de monitoreo se colectó un total de 1 454 individuos correspondientes a 34 familias de macroinvertebrados diferentes. El grupo más abundante fue los Ephemeroptera (483 individuos), seguido por los Trichoptera (349), luego los Amphipoda (168) y Diptera (113). La abundancia de los macroinvertebrados varió entre los diferentes sitios, siendo el

sitio Tiquibuzo donde se encontró un mayor número de individuos (610) y el sitio Panecillo el de menor número de individuos (392). Es importante resaltar que la diversidad de organismos en esta zona es muy alta por la presencia de zonas de bosque y de remanentes de bosque que permiten el desarrollo de especies adaptadas a la presencia de vegetación en las zonas de ribera de los ríos como las familias Calamoceratidae y Ptilodactylidae. En estos ríos se encontraron familias muy sensibles a la contaminación cuya presencia indica una muy buena calidad del agua como son la familia Perlidae, Oligoneuriidae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Calamoceratidae, Odontoceridae y Blepharoceridae.

3.2.2. Índices de calidad del agua

Al aplicar los índices de calidad del agua BMWP/Col y ABI, se detectó que las condiciones biológicas de los sitios de monitoreo fueron buenas y muy buenas con ambos índices (Cuadro 4). En este caso hay una mayor concordancia entre ambos índices, lo que indica que el índice BMWP/Col se adapta mejor en zonas de menor altitud como el caso de la microcuenca del río Alumbre y el índice ABI también se lo pudo aplicar aunque nos encontramos en el límite de 2 000 m de altitud, para el cual este índice fue desarrollado.

Otro elemento que sirve para corroborar la buena calidad del agua de los sitios estudiados es que durante la colección de macroinvertebrados, en los tres sitios, se detectó la presencia de peces de la familia Astroblepidae de género *Astroblepus* sp. Este género es característico de los ríos de bosques montanos y se conoce muy poco sobre su biología y distribución en el Ecuador. Estos registros son muy importantes pues sirven como un elemento para considerar en futuros estudios y como un bioindicador de la buena calidad del agua de la zona.

Cuadro 4.

Calidad del agua en la microcuenca del río Alumbre utilizando los índices BMPW/Col y ABI. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitio	BMPW/Col*	Calidad	ABI*	Calidad
Tiquibuzo	213	Buena	161	Muy buena
Panecillo	140	Buena	140	Muy buena
Pacay	101	Buena	84	Buena

Fuente: Calles, 2008.

*valores de referencia en el Anexo 2.

3.2.3. Parámetros físico-químicos

La información recopilada en los sitios de muestreo para evaluar los parámetros físico-químicos señala que éstos presentan valores que se encuentran en los límites permisibles de acuerdo a la legislación ecuatoriana. La cantidad de sólidos totales medidos en cada uno de los períodos de evaluación reportan diferencias estadísticas entre los sitios de muestreo, siendo mayor el reportado por el sitio evaluado en Chillanes. Debido a que en la microcuenca del río Alumbre, los hogares se dedican a la siembra de cultivos de ciclo corto como maíz y fréjol, se depositan importantes cantidades de sólidos en los cuerpos de agua de esta microcuenca. En general, se puede señalar que los parámetros físico químicos medidos (Cuadro 5), indican que las condiciones del agua de los ríos de la zona son aceptables.

Cuadro 5.

Indicadores físico químicos de calidad de agua en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitios de muestreo	Fosfatos (mg PO ₄ ³⁻ /l)	Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /l)	Sólidos totales (mg/l)	Temperatura del agua (°C)	pH	CE
Chillanes (2 274 m)	0,75	5,22	156,93 a	17,01	7,55	115,77 a
Pacay (2 240 m)	0,28	4,49	104,40 b	17,50	7,77	77,50 b
Guayabal (2 193 m)	0,31	4,63	106,73 c	16,69	7,40	62,79 b
\bar{X}_g	0,45	4,78	122,69	17,07	7,58	84,61
p	0,0958ns	0,2300ns	0,0067**	0,2177ns	0,2339ns	0,0001**

Fuente: Cruz, 2009; Calles, 2008.

Significación estadística: ns=no significativa, **=altamente significativa

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al comparar la concentración de fosfatos entre épocas, se registra mayor concentración en la época seca; para la concentración de nitratos, no existen diferencias estadísticas entre épocas al igual que para la concentración de sólidos totales, temperatura y pH. Para la conductividad eléctrica existen diferencias alcanzándose mayores niveles en la época seca.

3.2.4. Indicadores microbiológicos

De los análisis de los datos recolectados en los sitios de muestreo en la microcuenca del río Alumbre, se desprende que la presencia de coliformes fecales es un grave problema para la calidad del agua de los ríos de la zona. En el 100% de las muestras se detectó presencia de coliformes fecales (*E. coli*) y coliformes de otro tipo. El valor más alto de coliformes fecales se detectó en Chillanes (2 240 UFC/100 cc), el cual se debe fundamentalmente a que el sitio de muestreo corresponde a un punto de confluencia de las aguas servidas de la ciudad con el agua procedente de cuerpos de agua. En segundo lugar se encuentra Pacay y Guayabal con alta presencia de *E. coli*, debido principalmente a la presencia de ganado vacuno y cerdos en las ori-

llas de este río, y a las aguas servidas de las poblaciones aledañas a la zona que se vierten en esta quebrada.

Considerando los límites máximos permisibles por la legislación ecuatoriana sobre calidad del agua, en todos los sitios se superan los máximos permisibles tanto para uso pecuario como para potabilización en el caso de los coliformes totales, y en el caso de los coliformes fecales solo en San José de Guayabal el nivel es inferior a la normativa ecuatoriana (Cuadro 6). La presencia de coliformes fecales en los ríos de la zona es una señal de contaminación de los cuerpos hídricos por malas prácticas agropecuarias y falta de sistemas de saneamiento de las aguas servidas. Actualmente, debido a los altos niveles de contaminación microbiológica del agua, en algunos sectores los ríos no pueden absorber el nivel de contaminación que se presenta en los mismos. La presencia de la ciudad de Chillanes, en el centro de esta microcuenca, es un problema de contaminación del río Alumbre en la zona baja, pues las aguas servidas de esta ciudad se vierten sin ningún tratamiento. De observaciones realizadas en esta zona, se determinó la presencia de ganado vacuno en las orillas del río que recibe las aguas servidas de esta población. Los pobladores que viven en las orillas de este río manifiestan que sus animales se enferman pues en ocasiones consumen el agua de este río con gran carga de aguas servidas.

Los resultados de los análisis de los indicadores microbiológicos por épocas evidencian la mayor presencia de coliformes fecales en la época seca, esto debido fundamentalmente a la disminución de los caudales. No se registran diferencias para coliformes fecales totales entre las épocas seca y lluviosa.

Cuadro 6.
Indicadores microbiológicos de calidad de agua en la microcuenca del río Alumbre. Subcuenca del río Chimbo-Ecuador, 2008.

Sitios de muestreo	UFC E. coli /100cc	UFC colif. totales/ 100cc	Para potabilización ¹		Para uso pecuario	
			Coliformes fecales máx. permisible	Coliformes totales máx. permisible	Coliformes fecales máx. permisible	Coliformes totales máx. permisible
Chillanes (2 274 m)	2 240 a	14 926 a	600	3 000	1 000	5 000
Pacay (2 240 m)	840 b	5 746 b	600	3 000	1 000	5 000
Guayabal (2 193 m)	487 b	4 346 b	600	3 000	1 000	5 000
\bar{X}_g	1 189	8 340				
p	0,0004**	0,0001**				

Fuente: Cruz, 2009; Calles, 2008.

¹ De acuerdo a la Ley Secundaria de Ambiente, Ministerio de Ambiente de la República del Ecuador.

Significación estadística:*= significativa

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

De los resultados mostrados para evaluar la calidad de agua se puede señalar que las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre presentan condiciones ambientales diferentes que se refleja en el origen de las fuentes de agua y el uso en las diferentes actividades humanas.

En Illangama, el páramo de arenales y de pajonales junto con los deshielos del glaciar del Chimborazo son los que proveen el agua a los riachuelos, quebradas y ríos de la zona. En esta microcuenca, uno de los principales problemas en la zona alta es la alta tasa de erosión eólica en la época seca y la erosión hídrica en la época lluviosa, proceso que se ve acelerado por el pastoreo intensivo de ovejas. Estas dos causas han provocado el deterioro de la cobertura vegetal natural de la zona y por ende permite el incremento de sedimentos en los ríos de la zona, lo cual se convierte en un problema para estos ríos. En cuanto a la calidad del agua, además de los sedimentos,

el pastoreo con ovejas provoca la contaminación con coliformes en las vertientes mismas de estos ríos. Esta contaminación pudo ser detectada por la medición de coliformes realizada en los ríos. Para solucionar este problema, se debe llegar a acuerdos con los pobladores de la zona para establecer zonas de pastoreo y la construcción de abrevaderos para los animales, para evitar su ingreso en los riachuelos y así reducir la contaminación por coliformes. Adicionalmente, establecer zonas de protección de riberas y de protección de vertientes mediante el cercado de estas áreas que a esta altitud resultan más eficientes que programas de reforestación como los que se llevan a cabo a esta altitud (4 100 m).

En la zona media de la microcuenca las fuentes de contaminación de los ríos son la presencia de asentamientos humanos que vierten sus aguas servidas a los ríos sin previo tratamiento, la ganadería de bovinos, las piscinas de truchas y la agricultura. Estas actividades no se realizan de una manera adecuada pues los contaminantes llegan a través de los canales de riego o de la escorrentía desde los pastizales y áreas de cultivo a los cuerpos de agua. Es preocupante que en algunos sitios como la quebrada Arrayacu, los niños y las familias de la zona utilizan el agua de esta quebrada para su consumo, tanto para beber como para preparar sus alimentos. Afortunadamente, de acuerdo a los datos obtenidos en este estudio se pudo determinar que a pesar de la presencia de coliformes fecales en algunos sitios, las condiciones físico-químicas y la calidad del agua reflejada con el uso de bioindicadores acuáticos, aun se mantienen en buen estado. En esta zona se necesita desarrollar herramientas para la implementación de buenas prácticas de manejo de la agricultura y la ganadería como una manera de reducir la contaminación de los cuerpos de agua.

En el caso de la microcuenca del río Alumbre, la presencia de bosques remanentes permite el abastecimiento de agua en épocas de sequía a los pobladores de la zona. Estos remanentes ayudan a la regulación de la cantidad de agua y al mantenimiento de la calidad del agua de los ríos. En esta zona, la biodiversidad de organismos acuáticos indica que la calidad del agua aun se mantiene en buen estado a pesar que las condiciones en las zonas de ribera se encuentran muy alteradas. El sitio Pacay presenta un alto índice de coliformes totales como resultado del desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas en esta zona. La presencia de peces nativos (*Astroblepus sp.*) es una

buena señal que la calidad del agua es aun buena y su presencia puede ser usada junto con los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en esta zona. A pesar de la buena calidad del agua registrada durante las visitas realizadas, en la zona se puede observar que la deforestación es un problema que puede llegar a afectar la calidad del agua ya que permite el ingreso de sedimentos en los ríos. Sin duda, el problema más serio de calidad del agua que enfrenta esta microcuenca es la falta de tratamiento de las aguas servidas de la población de Chillanes ya que estas aguas se vierten sin tratamiento en la quebrada San Juanpamba. Las aguas de esta quebrada fluyen hacia el río Alumbre en la zona baja que finalmente se une con el río Chimbo. Desafortunadamente, no se pudo acceder a tomar muestras en el río Alumbre ya que no existen medios de acceso a este sitio. En esta microcuenca, es necesario, al igual que en Illangama, iniciar procesos de protección de los remanentes de bosques y de establecimiento de zonas de protección de riberas y el cercado de las zonas de un alto interés para la provisión de agua. Los datos recolectados sobre macroinvertebrados acuáticos de la zona son los primeros obtenidos y servirán de referencia para futuros estudios y para el desarrollo y aplicación de índices de calidad del agua para las zonas andinas del Ecuador.

En el Ecuador se ha determinado previamente que uno de los factores que más afecta a los ríos andinos son la expansión de la frontera agrícola, el aumento de la población y la contaminación orgánica (Jacobsen, 1998; Roldán, 1999). Estos problemas son los que se han identificado en ambas microcuencas y se necesita iniciar procesos que permitan mejorar las prácticas agrícolas y ganaderas en coordinación con las comunidades y las organizaciones locales. Estos procesos permitirán reducir la presión sobre los cuerpos de agua y los niveles de contaminación orgánicos que afectan a la calidad del agua de estas microcuencas.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La calidad del agua en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre se encuentra aun en buen estado en la mayoría de los sitios estudiados; sin embargo, es preocupante el nivel que alcanza las coliformes fecales a lo largo de las dos microcuencas en estudio.

- El monitoreo hidrobiológico mediante la combinación de parámetros físico-químicos, macroinvertebrados acuáticos y microbiología ha demostrado ser una herramienta muy útil y de gran importancia para la gestión de los recursos hídricos y que se presenta como una alternativa probada para la evaluación de la calidad de agua.
- Utilizar la medición de coliformes fecales y totales como una herramienta para la detección de contaminación de los cuerpos de agua y de las fuentes de abastecimiento de agua de las comunidades.
- Iniciar un proceso de concientización con las comunidades sobre la importancia de determinar espacios adecuados para la realización del pastoreo en especial en la zona del páramo de arenas en la microcuenca del río Illangama.
- Desarrollar e implementar buenas prácticas agrícolas y ganaderas como una herramienta para reducir la contaminación de los cuerpos de agua.
- Establecer medidas de protección de los remanentes de bosque en la microcuenca del río Alumbre pues son muy importantes en la regulación de la calidad y cantidad del agua de la zona.
- Establecer zonas de protección de riberas y de vertientes mediante cercados y establecimiento de abrevaderos para animales.

V. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradeval, M. y Prat, N. 2008. *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (C.E.R.A) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. Enviado a Limnetica.

Armitage, P.; Moss, D.; Wright, J. y Furse, M. 1983. The performance of a new biological water quality score based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17:333-347.

Barrera, V.; Alwang, J. y Cruz, E. 2008. *Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo – Ecuador: aprendizajes y enseñanzas*. INIAP–SANREMCRRSP–SENACYT. Boletín Divulgativo No. 339. Quito, Ecuador. 87 pp.

Calles, J. 2008. *Estado de la calidad del agua utilizando bioindicadores acuáticos (macroinvertebrados) en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, provincia Bolívar, Ecuador*. EcoCiencia. Quito-Ecuador. 31 pp.

Calles, J. 2007. *Bioindicadores terrestres y acuáticos para las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre, provincia Bolívar*. EcoCiencia. Quito-Ecuador. 30 pp.

Calles, J. y Salvador, D. 2006. *Diagnóstico preliminar de la biodiversidad en las microcuencas del río Alumbre e Illangama, afluentes del río Chimbo, provincia de Bolívar*. EcoCiencia. Quito-Ecuador. 63 pp.

Carrera, C. y Fierro, K. 2001. *Manual de monitoreo. Los Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores de la Calidad del Agua*. EcoCiencia. Quito.

Constitución de la República del Ecuador. 2008. Nueva Constitución de la República del Ecuador. Artículo 12 título 2, derechos –Capítulo Segundo: Derechos del buen vivir, sección primera: agua y alimentación. 217 pp.

INIAP. 2008. *Sistema de Información Geográfica de la Subcuenca del río Chimbo, Bolívar-Ecuador*. Red de Monitoreo Climático. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

Jacobsen, D. 1998. *The Effect of Organic Pollution on the Macroinvertebrate Fauna of Ecuadorian Highland Streams*. Arch. Hydrobiol., 143(2): 179-195.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.

Roldán, G. 1999. *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 23(88):375-387.

Roldán, G. 1996. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. 2ª ed. Editorial Presencia. Bogotá, Colombia.

ANEXOS

Anexo 1.

Valores de referencia de los índices BMWP/Col y ABI para las familias de macroinvertebrados.

Orden	Familia	ABI	BMWP/Col
Plecoptera	Periidae	10	10
Plecoptera	Gripopterygidae	10	Sv
Ephemeroptera	Baetidae	4	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	7	7
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10	9
Ephemeroptera	Oligoneuriidae	10	10
Odonata	Aeschnidae	6	6
Odonata	Libellulidae	6	6
Odonata	Polythoridae	10	10
Hemiptera	Velidae	5	8
Hemiptera	Gerridae	0	8
Coleoptera	Elmidae	5	6
Coleoptera	Hydrophilidae	3	3
Coleoptera	Psephenidae	10	10
Coleoptera	Ptilodactylidae	5	10
Coleoptera	Scirtidae	5	7
Trichoptera	Calamoceratidae	10	10
Trichoptera	Glossosomatidae	7	7
Trichoptera	Helicopsychidae	10	8
Trichoptera	Hydrobiosidae	8	9
Trichoptera	Hydropsychidae	5	8
Trichoptera	Leptoceridae	8	8
Trichoptera	Odontoceridae	10	10
Diptera	Blepharoceridae	10	10
Diptera	Chironomidae	2	2
Diptera	Psychodidae	3	7
Diptera	Simuliidae	5	8
Diptera	Tabanidae	4	4
Diptera	Tipulidae	5	3
Acarina		4	sv
Hydrudinae		sv	3
Amphipoda		6	7
Planariidae		5	7
Oligochaeta		1	1
Gordioidea		Sv	10
Bivalvia		2	sv

Sv: sin valor

Anexo 2.

Valores de referencia para la interpretación de la calidad del agua con los índices BMWP/Col y ABI.

Calidad	BMWP/Col	Significado
Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias
Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas
Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas
Critica	16-35	Aguas muy contaminadas
Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas

Valores de referencia para el Illangama	
Calidad	ABI
Muy bueno	>68
Bueno	42-68
Regular	25-41
Malo	11-24
Muy malo	<10

Valores de referencia para el Alumbre	
Muy bueno	ABI
Muy bueno	>112
Bueno	69-112
Regular	41-68
Malo	18-40
Muy malo	<17